

Entramados de bambú en sistemas complejos

Estudios de Caso: "Centro de capacitación en artesanía del bambú (Oita-Japón)" y Sistema Estructural: "Nayra Uno"

José Luis F. Reque Campero

Universidad Mayor de San Simón • Bolivia
bolbambu2000@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-0723-5484>

Resumen

El uso adecuado de secciones mínimas obtenidas del bambú a partir de establecer cortes longitudinales de su culmo para diversos entrelazados originados en el diseño geométrico; otorgan gran versatilidad, variedad y uso en la cestería como en ciertos ítems de la construcción. El bambú como un Sistema Complejo es analizado desde el propio saber cognitivo sobre las propiedades mecánicas de superficies entramadas continuas y bajo ciertas geometrías que dependen de las particularidades de la especie, su grado de madurez vegetal, el tipo de corte y patrones de entrelazado. Tales entramados son susceptibles de resolverse, tanto para cestería como para la construcción, obteniendo en ambos casos soluciones con elevados niveles de resistencia y gran capacidad de definición formal a través de la configuración de superficies estructurales ligeras y resueltas con tejidos auto portantes y patrones establecidos en el diseño geométrico del: "Centro de capacitación en artesanía del bambú, Prefectura de Oita, Japón" (donde brevemente se muestra el tránsito entre la cestería y la construcción en un contexto global), como en la experiencia boliviana desarrollada con el inédito "Sistema Estructural: Nayra Uno" Se presenta al bambú como un recurso con alto potencial en términos de diseño y adaptabilidad, proponiendo un análisis entre sus propiedades y aplicaciones en la creación de productos y estructuras de alta resistencia y diseño innovador, lo que conecta con el interés del Proyecto BOLBAMBÚ para próximas investigaciones en diseño y construcción de base tecnológica verde y en el afán de crear una cultura de uso para este material en Bolivia.

Palabras clave: *Bambú, entramados, cestería, construcción*

Abstract

The appropriate use of minimum sections obtained from bamboo by longitudinally cutting its culm for various interlacing patterns resulting from geometric design provides great versatility, variety, and application in basketry and certain construction items. Bamboo as a Complex System is analyzed from the cognitive understanding of the mechanical properties of continuous woven surfaces and under certain geometries that depend on the specific characteristics of the species, its degree of plant maturity, the type of cut, and the interlacing patterns. Such frameworks are suitable for both basketry and construction, achieving in both cases solutions with high levels of resistance and great capacity for formal definition through the configuration of lightweight structural surfaces resolved with self-supporting weaves and patterns established in the geometric design of the "Bamboo Craftsmanship Training Center, Oita Prefecture, Japan" (which briefly demonstrates the transition between basketry and construction in a global context), as in the Bolivian experience developed with the unprecedented "Structural System: Nayra Uno." Bamboo is presented as a resource with high potential in terms of design and adaptability, proposing an analysis of its properties and applications in the creation of highly resistant products and structures with innovative designs. This connects with the interest of the BOLBAMBÚ Project in future research in green technology-based design and construction and in the desire to create a culture of use for this material in Bolivia.

Keywords: *Bamboo, frameworks, basketry, construction*

Investigación y proyecto

Pese a la abundante disposición del recurso bambú en Bolivia y en particular en el área tropical de Cochabamba y su inicial como óptimo desarrollo en Cercado, se verifica el desconocimiento y la poca asimilación de las posibilidades constructivo-tecnológicas que presenta. Así, gran parte de las viviendas en el trópico son técnicamente precarias, inicialmente con patrones culturales propios que sufren un gradual proceso de cambios negativos en la ejecución constructiva y morfológica como producto de una inadecuada apropiación de la tecnología promocionada por la movilidad social entre el altiplano y los valles con el trópico (Reque, 2005). Es posible que en el medio local esto se deba a que nuestra cerrada percepción de los materiales no nos permita ver al bambú como un recurso tecnológico, porque su flexibilidad como recurso orgánico no encaja en nuestra visión mecánica de los materiales estructurados y fabricados como materiales rígidos y técnicamente estables, aunque en términos de complejidad y adaptabilidad el bambú es un material más avanzado que cualquier otro material convencional por sus peculiares cualidades físico-mecánicas y una diversidad de prestaciones, de manera que resulta incomprensible que un material como este, de características físico-mecánicas sobresalientes, carezca todavía en Bolivia de tradición de uso, pues sencillamente no se termina de descubrirlo. A pesar de ello, el Proyecto BOLBAMBÚ está consiguiendo seguir un camino directo entre academia y praxis social, apoyando la destreza profesional reflexiva a partir de los usuales problemas encontrados en la experiencia del quehacer social (Schon, 1998), que nos llevan a desarrollar innovativas estrategias, como metodologías, atendiendo debidamente una epistemología de la práctica y la aplicación de nuevos conocimientos¹ para la producción y transformación de materiales del medio, en este caso, el bambú y sus diversos Géneros y especies en entramados para la cestería, como para ciertos ítems de construcción en arquitectura orgánica. En este sentido, el trabajo asume como objetivo principal el analizar el potencial estructural, artesanal y cultural del bambú en la arquitectura contemporánea, comparando experiencias desarrolladas en Japón, (China-México-Indonesia) y Bolivia, para proponer en un contexto local su aplicación en entramados para cestería y su potencial aplicación en la construcción sostenible. Metodológicamente realiza una revisión documental y comparativa de estudios de caso sobre estructuras y artesanías en bambú en distintos países, analizando fuentes institucionales, artículos sobre cestería y arquitectura, como antecedentes históricos. Debido a que el lenguaje del arquitecto es eminentemente gráfico, por sobre todo, sobresalta el conocimiento por esta condición epistemológica.

¹ BOLBAMBÚ viene implementando interesantes como prometedores contactos de trabajo transdisciplinar con la Carrera de Ingeniería Química de la UMSS y la Carrera de Electromecánica Industrial-INFOCAL.

² Elizabeth Jane Wayland es una científica estadounidense, experta en arqueología, lingüística, danzas folclóricas, tejidos y entramados. Cuestiona que los diversos periodos históricos de la humanidad deberían haber tomado en cuenta el trabajo de las mujeres y los objetos que inventaron, en lugar de solo centrar la atención en las invenciones más duraderas establecidas en la Edad de Hierro o en la Edad del Bronce. La invención de la cuerda o de los tejidos y entramados por parte de las mujeres nunca se ha tomado en cuenta en la historia de la humanidad, por lo que debido a su importancia, reivindica el asunto como "La revolución de las cuerdas".

El imaginar las tecnologías del pasado nos lleva inevitablemente al recuerdo del uso de la piedra o la madera rudimentariamente labradas, pero con suficiencia en sus propiedades físicas para perdurar en el tiempo (para el caso de la madera si se encuentra en arcillas húmedas o sumergida en agua); contrariamente, la tejeduría orgánica no soporta su permanencia, quedando solo vestigios del carácter perecedero de sus fibras de un extendido y prolongado uso, la arqueología reivindica ello. Por otra parte, la investigadora Elizabeth Wayland Barber², arqueóloga y experta en historia de la tejeduría, sostiene que la ignorancia generalizada en torno a este aspecto fundamental de la historia de la tecnología deriva sobre todo del carácter perecedero de las fibras textiles, cuyo rastro físico se pierde fácilmente por el transcurrir de los milenios (Wayland, 1994). Cuando imaginamos las tecnologías del pasado pensamos en materiales de alta densidad y resistentes como la piedra y los metales, mientras que los tejidos y entramados, como materiales blandos y orgánicos -por lo tanto perecederos-, terminan prácticamente olvidados por lo que no se reconoce su importancia

que seguramente tuvieron en las edades históricas de la humanidad, tanto en la vestimenta como en el eventual resguardo y cobijo que ofrecieron ciertos materiales en precarias viviendas (Postrel, 2018). Las tecnologías perecederas que de hecho caracterizaron la vida humana desde el paleolítico y de las cuales quedan solamente unos pocos vestigios que han sido rebautizadas por la arqueóloga Linda Hurcombe³ como “la mayoría ausente” y que según ella es muy probable que la Edad de Piedra no fuese verdaderamente tal y que la mayor parte de las tecnologías utilizadas por la humanidad en tiempos antiguos estuvieron caracterizadas por el empleo de materiales orgánicos que se han perdido casi por completo. Sostiene además que este conocimiento tecnológico faltante no solo constituye un problema de competencia arqueológica sino que además influye de un modo incalculable en nuestra visión de las sociedades del pasado. El olvido selectivo del pasado, que se manifiesta de una manera tan evidente en el caso de los materiales perecederos utilizados en la antigüedad, tiene mucho que enseñarnos sobre el modo en que pensamos las tecnologías del presente e imaginamos las tecnologías del futuro (Tripaldi, 2023). Según la misma autora, esto se debe a que los materiales que utilizamos no son objetos pasivos, sino que están determinados por nuestra vida socio-cultural a la vez que determinan nuestra relación con el mundo, y configuran, así, lo que usualmente se denomina cultura material: una cultura que se articula en torno a la invención, la producción y el empleo de los materiales que nos circundan. Hoy, el antiquísimo arte de los entramados en pleno siglo XXI está siendo incluido inéditamente en la ciencias de los materiales, sobre todo en el grupo de los materiales compuestos con especial incidencia en la denominada: “madera ingenierizada de bambú”, donde diversas secciones longitudinales del bambú son sometidas a altas presiones hasta obtener madera de alta densidad, con valores y estándares técnicos que como material de origen no pose por sí solo y aunque en su estado natural sus propiedades mecánicas son altas, cuenta con limitaciones anisotrópicas propias del material, sin embargo, es posible sobrepasar estos límites como material compuesto, en este procedimiento donde el prensado es muy importante, las fibras del bambú se entremezclan de manera programada o de forma natural cuando están sometidas a altos esfuerzos de presión, logrando que el nuevo material deje de ser anisotrópico, como lo es en su estado nativo.

Es posible encontrar ejemplos aún más representativos de entramados en bambú, tanto en artesanía como en componentes estructurales de muros portantes y no portantes y donde la trama de las fibras (en el caso de la artesanía) y la trama de las secciones longitudinales (en el caso de la construcción); aporta propiedades específicas en uno u otro caso, en el primer caso con finas fibras más elásticas y en el segundo con gruesas secciones resistentes a diversos tipos de esfuerzos. Estos principios físicos de estructura y trama encontrando la convergencia entre materia y técnica, son también aplicados a otros materiales de construcción, tal el caso de la fibra de vidrio y otros conformados por matrices poliméricas para ciertos tipos de revestimientos altamente procesados, lo cual nos indica que dentro el indiscutible valor de los materiales ecológicos como el bambú, su verdadera fuerza reside en su naturaleza mancomunada para distribuir esfuerzos por la sinergia correlacional de sus elementos. Esto nos lleva a reflexionar aún más sobre la intrínseca relación entre técnica y material, donde las ocultas propiedades físico-mecánicas del material no están disponibles para el “arquitecto profano”, aquel que se rinde o solo ve el potencial de los materiales convencionales, pero están abiertas para aquel otro “arquitecto avisado”, convencido que otras técnicas son posibles y que esa información oculta puede ser develada por su inicial evidencia empírica, aquella que promociona la “alta tecnología verde” en los Sistemas Complejos, pues ha quedado demostrados los muchos modos que se tiene en la técnica y sus capacidades de relacionarse con los diversos materiales, en especial aquello que nos ofrece la biodiversidad. Finalmente, en arquitectura las tecnologías tienen que ser más plurales, más verdes, o como dijo el

3 Linda Hurcombe tiene un amplio interés en los estudios de artefactos y como estos se orientan hacia una cultura material, este interés sobre los mundos sensoriales de las sociedades prehistóricas y la manera en que aborda los estudios de artefactos, le proporciona una comprensión práctica y detallada de cómo los materiales pueden transformarse en una cultura material que trascienda en el tiempo como “estructuras efímeras” que merecen atención y estudio. Según ella, es necesario desarrollar una comprensión completa de cómo las plantas, los animales y los minerales se transforman en cultura material.

gran maestro Vélez⁴: "más vegetarianas" y capaces de interactuar con el entorno natural desde la sostenibilidad de sus elementos y componentes constructivos. Ya practicamos y difundimos un largo encuentro con la vetusta formación que tuvimos, ahora queda esperar que se actualice con la capacidad que tenemos todos de repensar lo establecido, de repensar la actual relación con la técnica y los materiales de construcción, solo así estaremos en la capacidad de dar el salto hacia un presente y futuro sostenibles, equitativo y más humano, siendo estos los modos como los diversos materiales obtenidos del bambú interactúan. ¿Qué tan listos estamos para afrontar el desafío?

El rol del bambú como material en los denominados "Sistemas Complejos"

Lo establecido por naturaleza para un material de origen orgánico es contar con múltiples particularidades interconectadas entre sí e interactuando de manera no lineal, capaces de originar patrones de comportamientos emergentes, la mayoría de las veces no establecidos pero predecibles a partir de la caracterización de sus importantes propiedades, entonces estaremos hablando de Sistemas Complejos. Para nosotros, los arquitectos que trabajamos con materiales de la biodiversidad, percibir un sistema complejo nos lleva a profundizar otros conocimientos, como la química, la física y la biología en los procesos de biomimesis y en el afán de comprender como la naturaleza resuelve diversos problemas desde la complejidad. En esta perspectiva, que gran lección el de ciertos organismos como el bambú, con abrumadoras capacidades para accionar en la naturaleza prestando reconocidos servicios ambientales. Los enormes desafíos que plantea el cambio climático, han influido en diversas áreas de la arquitectura y la construcción que buscan sensibilizarse reduciendo su huella en el medioambiente, por eso mismo China basa la producción y manufactura del bambú en 28 Normas y más de 80 estándares industriales (INBAR, 2019). Uno de los increíbles factores de crecimiento del bambú viene establecido por todos sus entrenudos que en un estadio de desarrollo inicial se encuentran comprimidos próximos a extenderse y a modo de una antena telescópica (Fig. 1-A) alcanzar su máximo desarrollo en tan solo tres meses. Hoy la investigación sobre el bambú se fundamenta en encontrar nuevos materiales -sobre todo compuestos- no contaminantes, con bajo consumo energético en todas sus cadenas productivas y recuperables al final de su ciclo de vida. Cuando un bosque de bambú sufre un incendio de magnitud (Fig. 1-B), por su elevada resiliencia, los culmos retoman su ciclo natural de reproducción a través de nuevos rizomas, aunque esto significara una baja en su rendimiento con tallos de menor diámetro, esa disminución entrópica⁵, que comenzará a reponerse en la medida que se reestablezca por el benéfico accionar de factores como la energía del sol (Fig. 1-C), estimulando e impulsando el desarrollo de nuevos rizomas que en la línea del tiempo, significara el resurgimiento de la vida. Desde una propia perspectiva cognitiva vislumbramos lo que acontecerá con el bambú y su desarrollo cuando ello suceda:

"... el sol a través de su energía lumínica, le entrega calor -trabajo- al bambú para que, a través de la fotosíntesis, transforme la energía química aprovechándola en su metabolismo que se manifestará en su rápido desarrollo, absorbiendo CO₂ y liberando oxígeno. Al haber intercambio permanente de energía -calor- y materia entre el bambú y el medioambiente, estos resultaran esenciales para mantener su estabilidad como sistema abierto..." (Reque, 2022).

El título de esta investigación alude a la palabra: Entramado, lo cual nos induce a prepararnos para develar su contenido que partiendo de una estructura o un conjunto

⁴ Arquitecto colombiano egresado de la Universidad de los Andes de Bogotá, comenzó a desarrollar proyectos de tipo modernista cuyos principales referentes fueron Le Corbusier y la Bauhaus, merced a ello comenzó a explorar la arquitectura indígena y los materiales tradicionales de Colombia, posibilitando el redescubrimiento del bambú Guadua y las inéditas uniones de mortero que creo para diversos componentes estructurales, lo que promocio su permanencia durante cuatro años impartiendo talleres sobre técnicas constructivas del bambú en el Museo de Diseño Vitra y el Centro George Pompidou. Ha diseñado y construido con bambú en más de diez países del mundo. <https://www.gatopardo.com/articulos/archivo-el-arquitecto-del-acero-vegetal>

⁵ Si entendemos que la entropía es una magnitud física que mide el desorden de un sistema en cuanto a la disponibilidad de energía, su aumento supone una disminución de la energía para producir trabajo, es decir y en el caso del bambú; una menor producción en cantidad de tallos, diámetros y espesores de pared.



Figura 01
Energía y entropía en el bambú Guadua
IIACH, Reporte anual de investigación, 2022

organizado de elementos, tiene también relación con la palabra: Entrelazado, denotando ambas palabras: Complejidad, y lo complejo deriva del latín cum-plexus que literalmente significa entrelazado o entretejido. Entonces, el pretender abordar la temática sobre Enramados de Bambú (entiéndase, el bambú como cultura material); definirá que el estudio tendrá una relación directa con los Sistemas Complejos, por cuanto la comprensión de sus propiedades va más allá de lo conocido o establecido por la experticia o el simple como profundizado conocimiento de la caracterización de sus propiedades, pues el actual avance cognitivo nos incita a pensar que existen bambúes duros y resistentes como el acero, o blandos y elásticos, e incluso translúcidos (Fig. 2) considerando su deslignificación (para obtener un tipo de vidrio), o como materia prima para la obtención de biocombustibles, o bio carbón para mejorar las propiedades de ciertos suelos destinados a la agricultura. Aparece, entonces, la idea de trans-yecto, que desplaza el objetivo de lanzar hacia adelante (pro-yectar) por el de atravesar.

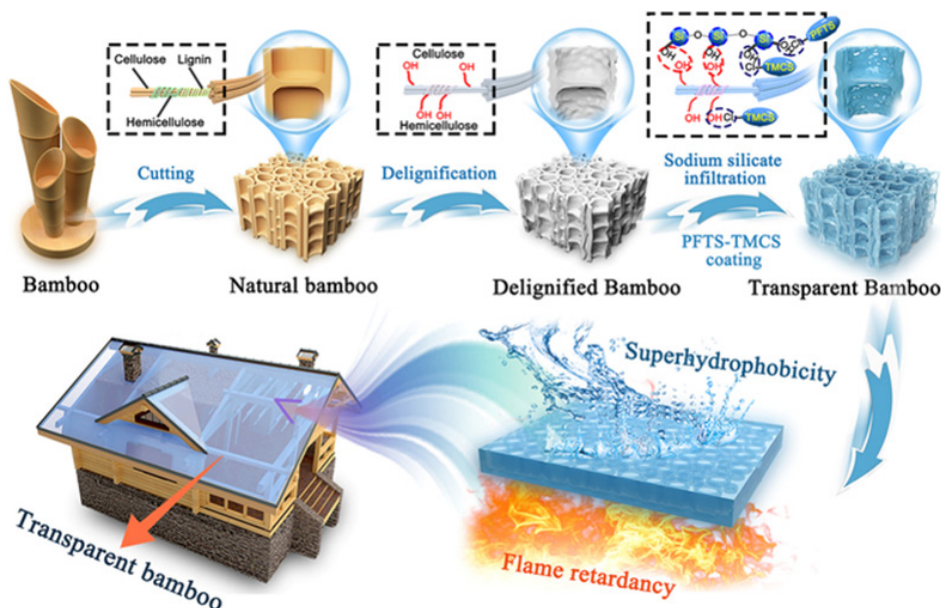


Figura 02
Bambú, decoloración de la lignina para transparentarlo
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024052759>

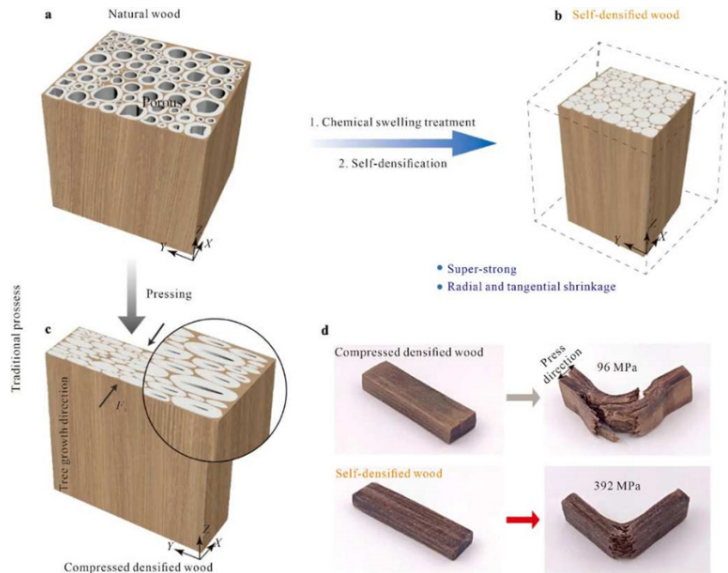


Figura 03

Madera con ultra alta resistencia

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969825000167>

De igual manera y dado que el bambú en relación con la madera consta de una estructura interna compuesta por haces vasculares (Lumen), por los que a lo largo de su tallos circulan principalmente celulosa y lignina como aglutinantes y que al ser estos huecos, debilitan las propiedades físico-mecánicas del material al bajar su densidad; debido a avanzados procedimientos químicos de auto-densificación desarrollados para la madera (Fig. 3) por investigadores chinos⁶, son también susceptible de ser aplicados para el bambú, habida cuenta que estamos hablando de un material leñoso con las mismas propiedades químicas que la madera. Bajo estos procedimientos, la contracción tridimensional de los vasos vasculares mantendrá la forma, pero aumentará la densidad y resistencia del material, al igual de lo experimentado con la madera, se obtendrá materia prima como insumo para mobiliario y equipamiento de alta gama, elementos estructurales de comprobada resistencia y el incentivo para el desarrollo de eco-diseños industriales, como una forma de obtener una diversidad de productos. Será cuestión de tiempo para obtener estos resultados en el bambú.

Esta lógica de análisis sobre el desarrollo de los Sistemas Complejos de entramados de bambú nos lleva a ver que fue el físico japonés Sumio Lijima, experto en nanotecnología aplicada a materiales avanzados, quien descubrió los nanotubos de carbono y que posterior y hábilmente los popularizó el Arquitecto Buckminster Fuller⁶ en el diseño y construcción de cúpulas geodésicas, principio estructural regido por poliedros de cinco y seis caras aplicados también en ciertos entramados de la cestería tradicional japonesa y asiática (Fig. 4).

Como vemos, el concepto de Sistemas Complejos se aplica al bambú, dada su capacidad para interaccionar de manera no lineal en su composición.

6 Laboratorio Nacional de Microestructuras de Estado Sólido, Laboratorio Clave de Materiales Funcionales Artificiales de Jiangsu y Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Nanjing, China.

7 El Arquitecto Buckminster Fuller contó con amplios como diversos conocimientos, aunque a nivel profesional nunca completo estos, ni en la Academia Milton, ni en la Universidad de Harvard a las que asistió, sin embargo; esto no fue obstáculo para desarrollar carrera como inventor, diseñador, arquitecto y escritor, explorando una amplia gama de temas. Fuller durante toda su vida buscó respuesta a un cuestionamiento que lo mortificaba: ¿"Tiene la humanidad una posibilidad de sobrevivir final y exitosamente en el planeta Tierra y, si es así, como"? Dedico su vida esta cuestión, intentando descubrir si un individuo podía mejorar la condición humana de una forma que no podían hacer los gobiernos, las grandes organizaciones o las empresas privadas. Debido a este experimento termino escribiendo veintiocho libros, en cuyo legado, uno de los más importante está referido a la invención de la cúpula geodésica en una diversidad de formas y patrones geométricos. https://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller



Figura 04

Nanotubos y Fullerenos también en entramados de bambú

Mundo Nano, 10(19), 93-108, julio-diciembre 2017

Este enfoque proporciona una nueva comprensión sobre cómo los patrones de comportamiento emergentes del bambú pueden ser utilizados para crear estructuras resilientes, adaptables y de bajo impacto ambiental, pues el bambú al ser un material anisotrópico, sus propiedades en dirección longitudinal son plenamente diferenciadas de sus propiedades en dirección transversal, esto debido a que en dirección longitudinal se extiende la celulosa, que es fuerte y resistente, mientras que en dirección transversal se encuentra la lignina, blanda y quebradiza, por lo tanto; el bambú es un material compuesto reforzado unidireccionalmente con capacidad de resistencia frente a esfuerzos paralelos a sus fibras (Reque, 2006). Según estudios de laboratorio (Liese, 2015) la densidad del bambú depende del contenido de sus fibras, del diámetro de estas y del grueso de la pared de sus células, esto conlleva a que sus propiedades mecánicas varíen significativamente dentro de un mismo tallo y más aún, entre especies. La densidad se altera aproximadamente entre 0,5 y 0,9 g/cm³, siendo la parte exterior del tallo la que cuenta con una distribución más densa que la sección interna, lo cual se correlaciona con su resistencia. La parte basal es la más dura y resistente, y la resistencia a la flexión es de dos a tres veces mayor en las partes externas que en las partes internas. Los tallos más viejos tienen mayor densidad que los tallos jóvenes, por lo tanto, son menos flexibles, importantes consideraciones a tomar en cuenta para el desarrollo de entramados. Por lo general, el uso del bambú en la construcción es muy marginal e informal, y casi siempre en manos de los más pobres, por lo que despectivamente se lo asocia con la pobreza. Por el rápido deterioro que presenta en su resistencia debido a la falta de protección por diseño o agentes químicos, es inevitable que sea remplazado por otros materiales convencionales de construcción que muchas veces no responden a las características del entorno. Si optamos por apoyar los requerimientos del medio ambiente y si somos conscientes de este desafío lo enfrentaremos desde nuevas técnicas constructivas, blandas y flexibles, y ahora en una época donde más que nunca debemos reflexionar sobre el impacto -de amplitud geológica- de nuestras actividades en el planeta, las tecnologías constructivas que debemos implementar serán justamente aquellas cuya huella sea mínima.

Todos los bambúes en su apariencia general tienden a parecer iguales, la similitud física de tallo y follaje puede resultar ser algo normal;

sin embargo, iniciales y sutiles contrastes se ven acrecentados si vemos el asunto con cierto rigor desde la propia experiencia del saber técnico-cognitivo estudiado y desarrollado a lo largo de una veintena de años. En la gran familia de las gramíneas, los bambúes tienen una diversidad de Géneros y Especies que hacen la diferencia, por ejemplo: *Phyllostachis edulis* (Moso Bamboo) es normalmente el bambú usado en gran parte del Asia, en cambio en Latinoamérica el bambú del Género *Guadua* -que crece también en Bolivia- es el que tiene primacía, ambos disponen las mejores propiedades físico mecánicas en el mundo de los bambúes pero, la *Guadua* supera a Moso, lo que dificulta su trabajabilidad si se trata de usarlo en cestería, aunque es posible superar este inicial problema si se utiliza para tal fin bambúes que todavía no alcanzaron madurez, lo que se refiere al segundo o tercer año de su desarrollo. Hay otros factores que considerar como la densidad y humedad de los culmos -tallos- que tienen directa relación con las secciones del tallo a ser usadas, siendo estas: basal, media y apical (en el tallo, la sección en contacto con la raíz, la porción media e inmediatamente superior, respectivamente). Por otra parte, la geometría natural rolliza y hueca de los bambúes permite la obtención de una serie de cortes longitudinales que son realizados de acuerdo al uso que se determinó previamente: si es para laminados, estos deben tener una sección igual o mayor a un centímetro (B), si el corte tendrá aptitud para la cestería, la sección no debe pasar los tres milímetros y mínimo espesor de pared (A), con el añadido que las secciones a obtener varíaran en sus propiedades si estas son obtenidas de las formas que se indica en la (Fig. 5), donde las fibras son obtenidas de la sección correspondiente a la periferia del tallo (1), de la parte media (2) y la parte interior (3) respectivamente y en todos los casos, las fibras logradas tendrán diferentes propiedades, pues la parte externa del tallo cuenta con mayor cantidad de sílice que provoca gran resistencia superficial a esfuerzos mecánicos, por lo que resulta complicada su manipulación más si se requiere que las fibras cambien de ángulo en ciertos entramados, esta labor sin embargo se ve facilitada de hacer si las fibras son obtenidas de la parte media o de la sección interior de los tallos donde los conductos vasculares no cuentan con la presencia de sílice y en cambio tienen mayor presencia de celulosa y holo celulosa, mismos compuestos químicos con los que cuenta la madera y que al igual que el bambú les confieren resistencia mecánica, con el añadido que al bambú le brindan además, gran flexibilidad (Reque, 2022).

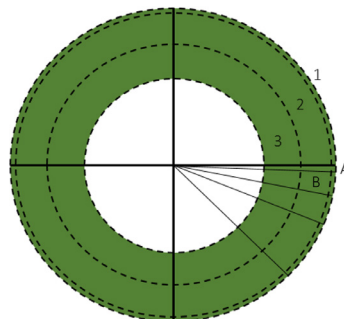
Figura 05

*Distribución de fibras en la pared de la Guadua
(Secciones: 1, 2, 3; Cortes longitudinales: A, B)*

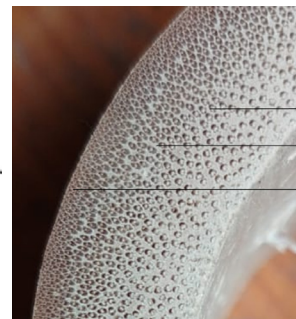
Elaboración propia



Sección Transversal



Esquema de cortes



Parénquima (2, 3)
Haces Vasculares (1, 2, 3)
Epidermis (1)

Pared del culmo

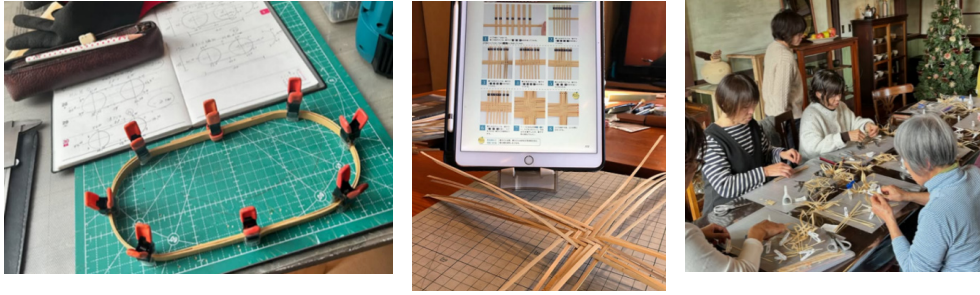


Figura 06

Enseñanzas en el Centro de capacitación en artesanía del bambú, Oita

Prefectura de Oita (2023). Centro de capacitación en artesanía del bambú
<https://www.pref.oita.jp>

Centro de capacitación en artesanía del bambú, Prefectura de Oita, Japón

En la ciudad de Oita existe un Museo de Arte que alberga una sofisticada colección de más de cinco mil piezas sobre artesanía en bambú de sobresalientes artesanos japoneses vinculados a este tipo de arte y donde se incluye, ochenta obras del maestro Ikuno Shounsai (1904-1974), primera persona en ser designada por el Estado japonés como "Tesoro Nacional Viviente por la Artesanía con Bambú", personaje muy conocido en el Japón por la alta gama de su artesanía con bambú en términos de sobrada calidad. Es una institución dependiente de la Prefectura de Oita (Japón), creada bajo la "Ley de promoción del desarrollo de capacidades ocupacionales" para el desarrollo de habilidades vocacionales y artesanía tradicional del Japón (Fig. 6). De esta manera, la Prefectura de Oita, al establecer un "Departamento de artesanía del bambú", fomenta la continuación de esta industria de artesanía obtenida de bambú, llevando a cabo capacitaciones vocacionales por el lapso de dos años, donde al término del primer año los estudiantes aprenden los conocimientos y habilidades básicas sobre la artesanía del bambú, para después, en el segundo año; continuar su formación con la aplicación de la artesanía del bambú y desarrollo de productos, adquiriendo conocimientos necesarios para emprender un negocio. Este centro se erige como un espacio educativo y cultural dedicado a la promoción y la enseñanza de las técnicas tradicionales de trabajo con bambú y tiene como objetivo preservar las artes tradicionales del bambú, adaptándose al mismo tiempo a diversas necesidades contemporáneas. La utilización del bambú va más allá de un mero material, su ligazón va de lleno con la cultura local de la región de Oita, donde el bambú tiene un fuerte legado producto de una larga tradición de hasta cinco generaciones.

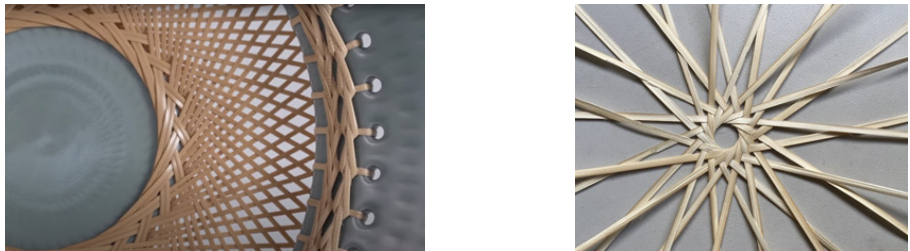
Son dos los aspectos que llaman la atención de este Centro, el primero está referido a la obligatoria necesidad de rendir un examen de admisión sobre el entendimiento de las matemáticas. Un segundo llamativo aspecto es demostrar conocimientos sobre el Símbolo de Schlafli, notación matemática utilizada para describir las propiedades de los polítopos regulares, que son figuras geométricas tridimensionales con caras poligonales regulares. Ambas solicitudes son planteadas como poderosas herramientas para el diseño y el análisis de estructuras geométricas complejas, lo que facilita la generación de patrones en diseños de entramados, resultando especialmente útil para la creación de nuevos elementos en la elaboración de cestería, como de elementos decorativos y revestimiento, siendo esenciales en la arquitectura y la construcción con entramados de bambú.

Finalmente, se promociona y enseñan varios tipos de entramados tradicionales para la cestería en bambú, cada uno con sus propias características y técnicas de elaboración. Estos algunos de los tipos de entramados más comunes:

Entramado simple (Hirakumi) y doble (Futakumi): Es el entramado más básico y consiste en entrelazar varas de bambú en una dirección. El entramado doble es similar al entrelazado simple, pero se entrelazan varas de bambú en dos direcciones, respectivamente. (En Cochabamba y siguiendo de alguna manera este principio, los artesanos suelen implementar una especie de entramado en espiral para la obtención de una variedad de canastas hechas con la especie de un bambú herbáceo, conocido localmente como "Caña Hueca", perteneciente al género: *Gynerium sagittatum* que suele crecer en suelos húmedos).



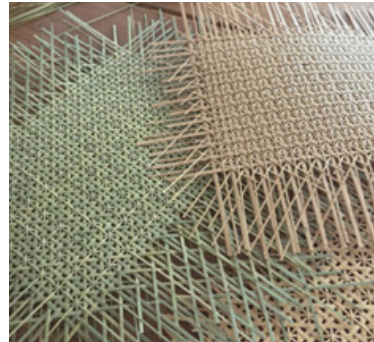
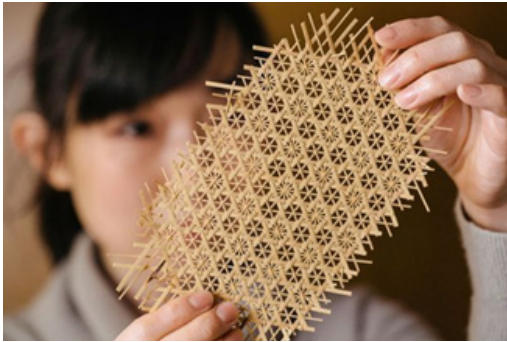
Entramado en diagonal (Nanamekumi) y en espiral (Rasenkumi): Se entrelazan varas de bambú en diagonal, creando un patrón de rombos. Se entrelazan varas de bambú en espiral, creando un patrón circular, respectivamente.



Entramado en forma de red (Amikumi) y en forma de escama (Urokumi): Se entrelazan varas de bambú en forma de red, creando un patrón de cuadrados o rombos y varas de bambú en forma de escama, creando un patrón de triángulos o rombos, respectivamente.



Entramado en forma de malla (Kagikumi): Se entrelazan varas de bambú en forma de malla, creando un patrón de cuadrados o rombos.



Cada tipo de entramado requiere habilidades y técnicas específicas que se han perfeccionado durante siglos, donde la elección del tipo depende del propósito y el diseño a crear, sea este un simple cesto o una intrincada estructura, como la que diseñó y materializó Tanabe Chikuunsai (Fig. 7), artista japonés que crea espectaculares formas orgánicas basadas en entramados libres de bambú y de enorme escala, resaltando las técnicas tradicionales para cestería y aprendidas en el Centro de Formación Artesanal de la Prefectura de Oita y siguiendo el oficio de su padre, Chikuuunsai de tercera generación en la artesanía, consolidando el legado familiar con el oficio artesanal del bambú prosiguiendo con una cuarta generación.

Otro ejemplo emblemático es el Estadio Nacional de Pekín (Fig. 8), construido entre los años 2002 al 2008 y que tuvo como inspiración la cestería tradicional china, aunque muchos lo asocian con un enorme nido por el profuso entramado de su estructura, pues su gran escala geométrica de perímetro ondulante transmite una similitud entre fachada y estructura porque ambos elementos son portantes, sustentándose unos a otros tal como sucede con un entramado donde se crean patrones de diversas figuras amorfas como las que crean artistas de la talla de Tanabe Chikuunsai, o entramados de



Figura 07
Entramados de fibras de bambúes de Tanabe Chikuunsai IV: Conexión

Asian Art Museum
<https://about.asianart.org/press/tanabe-chikuunsai-iv-connection/>

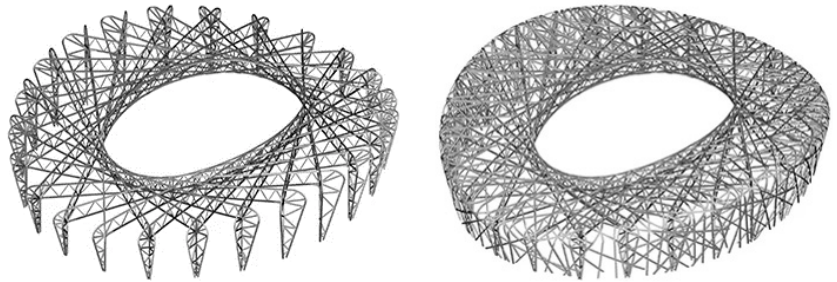


Figura 08

Enormes pórticos estructurales en modo entramado

Estadio Nacional, Pekín

<https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-nacional-en-pekin#lg=1&slide=7>



Figura 09

Entramados para cestería y su similitud geométrica con los entramados emperrados del Templo Luum

Templo Luum / Co-LAB Design Office

<https://www.archdaily.cl/cl/919123/templo-luum-co-lab-design-office>



naturaleza orgánica como los que conforman las aves con ramas entrelazadas hasta brindar soporte estructural a sus nidos.

El Templo Luum es otro valioso ejemplo a tomar en cuenta. La obra inspirada en el legado del Arq. mexicano Félix Candela⁸ tiene como gran logro haber demostrado primero, el potencial del bambú en la ingeniería estructural sofisticada con materiales orgánicos y de construcción artesanal, en una espectacular estructura basada en cinco hipérbolas. Un segundo aspecto a reflexionar consiste en el inusual desarrollo conceptual y de diseño que consideró usar secciones longitudinales de bambú en toda la concepción estructural, hasta alcanzar diámetros más cerrados para las hipérbolas, que dobladas in situ y empernadas entre sí, logran trabajar de manera conjunta y a manera de un solo elemento estructural, más o menos emulando lo que en pequeña escala sucede con cierto tipo de artesanía considerada de alta complejidad (Fig. 9), cuya hechura de su entramado es reservada solo para expertos. Erguidos los arcos (también hechos de secciones longitudinales de bambú); se tejó un entramado siguiendo un patrón triangular de cuatro capas, que teniendo continuidad estructural y estando entrelazado en direcciones opuestas, muestra capacidad de brindar gran soporte y estabilidad estructural.

El diseño pudo ser logrado con un software paramétrico que permitió a los diseñadores de "Co-lab Design Office", crear modelos hiperbólicos y modificarlos según el soporte estructural del bambú, eliminando la necesidad de redibujar constantemente un cambio de diseño cada vez que se consideró a su vez, un cambio de dimensiones en el diseño estructural, obteniendo de esta manera los recursos técnicos necesarios para una compleja red de nervaduras y nodos de conexión desarrollados en el proceso conceptual para que el diseño y la construcción sean precisos y controlados, tanto en el proyecto como en la obra que a la vez de revitalizar la arquitectura tradicional vernácula, propone nuevas y avanzadas técnicas de construcción. Aunque el bambú tiene una naturaleza estructural flexible, su eficiencia estructural en este proyecto se ve notablemente incrementada debido al aumento de su flexibilidad al ser usado como barras longitudinales arriostradas hasta alcanzar las medidas y solicitaciones del arco concebido en el diseño estructural.

De igual modo, en la (Fig. 10) correspondiente a "Green School Bali", sus múltiples rejillas anticlasticas⁹, trabajan de manera conjunta con bastos arcos de 19 metros de luz y conformados por haces de tallos de bambú capaces de dar forma a una diversidad de arcos parabólicos que conforman la forma estructural del conjunto. "Los dos sistemas juntos crean

8 Candela siempre se caracterizó por diseñar estructuras basadas en paraboloides hiperbólicos de hormigón armado, revolucionando la arquitectura mexicana por cuanto sus estructuras desafiaban a la gravedad, buscando siempre en el análisis estructural, el diseño de láminas de superficie activa, estableciendo previamente en el diseño conceptual y con precisión, sus propiedades y particularidades técnicas como geométricas. <https://www.archdaily.cl/cl/626588/feliz-cumpleanos-felix-candela>

9 Cualquier superficie entramada capaz de generar curvaturas opuestas debido a la modificación de su patrón geométrico, es definida como "anticlastica". Un excelente ejemplo de ello representan los entramados simples definidos por entrelazados de varas de bambú en una sola dirección del proyecto: "Green School Bali", cuyos arcos y superficies curvadas se dan en dos direcciones opuestas.



Figura 10

Entramados dobles de "Green School Bali", conformados por arcos y superficies curvadas en dos direcciones opuestas sometidas a cargas para su deformación controlada, generando un entramado anticlastico.

Arquitectura: El arco in The Green School. Bali, Indonesia
<https://museemagazine.com/features/2022/8/17/architecture-the-arc-at-the-green-school-bali-indonesia>

una estructura única y altamente eficiente, capaz de flexionarse bajo carga permitiendo que el peso se redistribuya, aliviando las fuerzas localizadas en los arcos" (como lo explica "Atelier One", empresa que construyó la obra.)

Entramados desarrollados el año 1996 en la FACH-UMSS (Sistema Estructural: "Nayra Uno")¹⁰

El año 1996 y aun siendo estudiante, conocimientos medios y cierta comprensión sobre principios estructurales me llevo a diversificar intereses orientados hacia la morfología y forma tubular del bambú de tipo herbáceo, conocido en el medio local como "Caña Hueca". El objetivo era implementar una propuesta enmarcada en el análisis y uso de la continuidad estructural de su tallo (Fig. 11).

En principio se vio que este solo tenía cierta relación en cuanto a su superficie lineal geométrica, cuyos diámetros y espesores de pared eran mayores en la sección basal, planteándose por lo tanto como premisa de diseño su uso solo para elementos cortos y lineales que como elementos de un componente estructural fuesen capaces de transmitir esfuerzos (Fig. 12). De un inicial "Sistema estructural de forma activa" ofertado por la naturaleza, se logró revertir el sistema a otro desarrollado por el conocimiento humano, el denominado: "Sistema Estructural Activado Vectorialmente". El desafío inicial de lograr unir estos elementos triangularmente para conformar un componente constructivo capaz de ser estable, sustentarse convenientemente y soportar cargas asimétricas y variables, transmitiéndolas a sus apoyos; no fue posible implementarlo a cabalidad, si se toma en cuenta que la característica principal de los sistemas estructurales activados vectorialmente, es la triangulación de cada uno de los elementos por medio de uniones articuladas. Por ese entonces, ciertos niveles de investigación encontraban dificultad en concebir elementos nodales como elementos de vinculación y articulación entre los diferentes elementos del componente constructivo, por lo que se tuvo la necesidad de emplear alambre galvanizado como forma de unir y vincular los mismos. El método consistió en generar módulos constructivos en un sencillo molde hecho de cartón prensado. Cada módulo se compuso de ocho barras (Fig. 11: A, B, C), cuatro de ellas previstas como elementos lineales rectos (A-B) y fijos en su posición, conformado un emparrillado con la adición de otros módulos, estos cuatro elementos determinaban ejes y dimensiones: medida longitudinal, altura y medida transversal, aspectos que definían espacialmente a los componentes constructivos, sean estos para cerramientos

¹⁰ Este inédito sistema estructural fue ganador en un concurso interno realizado en la Facultad de Arquitectura de la UMSS para ser presentado en la Conferencia Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Latinoamérica, CLEFA 1994, obteniendo una Mención Especial en Investigación Tecnológica. Posteriormente fue también premiado por la Fundación "Rafael Leoz" de España y presentado en la Conferencia sobre Asentamiento Humanos de NNUU: "Hábitat II" para junto a otras investigaciones representar a Bolivia en Estambul, Turquía, el año 1996. ("Nayra Uno" en honor al nacimiento de mi primera hija: Nayra).



Figura 11

El bambú como sistema estructural de Forma Activa, técnicamente estabilizado para sustentar su linealidad geométrica

El bambú en estructuras espaciales (Reque y Cholima 2001)

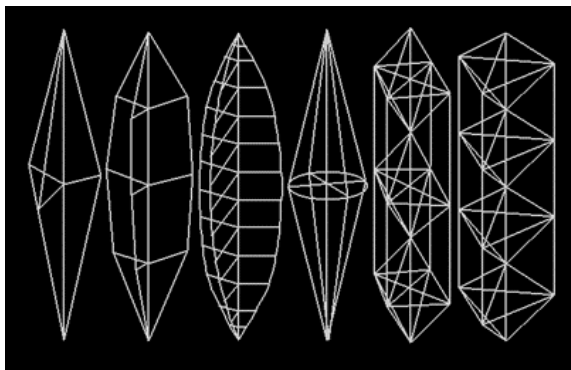




Figura 12

Elementos cortos y lineales capaces de transmitir esfuerzos para muros y cubiertas abovedadas portantes

Sistema Estructural: "Nayra Uno" (Reque, 1994)

verticales u horizontales. Cada uno de estos cuatro elementos media 0.60 cm con un diámetro estimado en 2.5 cm. Fue importante considerar un diámetro igual en los cuatro elementos (A-B), porque de esta consideración técnica dependió la verticalidad de cada uno de los componentes constructivos para cerramientos verticales. En los cerramientos horizontales (que para el caso fueron bóvedas), los dos elementos lineales superiores (B) eran de mayor diámetro respecto a los otros dos inferiores (A), así se lograba en el componente, una curvatura en directa relación con el diámetro mayor de ambos elementos, pues la descomposición de las fuerzas vectoriales puede también llevarse a cabo en superficies curvas. Las otras cuatro barras eran elementos diagonales (C) unidos en sus extremos a los elementos lineales mediante el uso de alambre galvanizado. Para asimilar una fuerza y variar su dirección, estos elementos diagonales comprendían un ángulo de 45°. Por sus características, estos además tenían cuatro cortes a 45°, por medio de los cuales se conseguían en las barras, diagonales de 45°. En ambas tipologías de componentes verticales y horizontales, se preveía la unión de los módulos a elementos lineales rígidos, que, en el caso de los componentes verticales, tenían una medida de 2.10mts y una dimensión en relación a la luz a cubrir. En el caso de los componentes horizontales, se estimaba una luz de 4mts. Los elementos lineales rígidos, conjuntamente con los que integraban los



Figura 13
Entramados para muros interiores no portantes
Sistema Estructural: "Nayra Uno" (Reque, 1994)



Figura 14
Entramados revocados en muros interiores
Proyecto Eco turístico: "Laguna Paraíso" (Reque, 2004)

módulos, establecían un entramado capaz de absorber y transmitir a sus apoyos las fuerzas que descomponían los elementos diagonales.

Para el caso de los muros interiores no portantes (Fig.13), las tipologías de cerramiento no soportaban carga de las bóvedas y estaban concebidos bajo el mismo principio estructural y constructivo que las tipologías de componente estructurales, con las siguientes consideraciones; a saber:

- El entramado no se componía por elementos lineales rígidos, fueron reemplazados por un entramado simple de caña hueca trenzada obtenida de la sección media y superior del tallo, al igual que los elementos diagonales y los lineales rígidos de cada módulo.
- Las tipologías de componentes que correspondían a los cerramientos verticales contemplaban el empleo de un mortero de tierra que se vaciaba al interior de los mismos, pero solamente en el sector que concernía al cruzamiento de las barras diagonales. El sector del entramado quedaba libre con el objetivo previsto para el tendido de la instalación eléctrica, de agua, desagüe pluvial y/o aislamiento.
- Los componentes constructivos para cerramientos horizontales, tendrían recubrimientos en el entramado superior e inferior solamente por el sector externo, lo que equivalía a alivianar el peso de la cubierta, generando un importante volumen de aire como importante y eficiente aislamiento térmico.

Conclusiones y Recomendaciones

El documento explora el uso del bambú desde la complejidad de los entramados como material estructural en el diseño geométrico y su aptitud para la cestería y la construcción. Los entramados de bambú remiten a la idea de estructuras interrelacionadas simétricamente y, por lo tanto; espacialmente ordenadas. Sin embargo, las características mecánicas de las superficies entramadas continuas y bajo geometrías complejas que se generan, implica que no solo se trate al bambú en aun ámbito de cultura material, sino que se ponga énfasis en la dependencia de sus particularidades como especie, su grado de madurez vegetal, como el corte empleado y los patrones de entrelazado sustentados por el "Centro de capacitación en artesanía del bambú (Prefectura de Oita, Japón)", sumatoria de particularidades que provoca el análisis desde los Sistemas Complejos y el interés del bambú aplicado estructuralmente, destacando su uso y relevancia en cestería, demostrando cómo lo auténtico y la innovación pueden fusionarse para crear soluciones modernas y funcionales a partir de una rigurosa enseñanza con capacidad de preservar una tradición cultural, hasta ver correlaciones y potencialidades en la arquitectura contemporánea con diversos ejemplos de un contexto mundial, teniendo énfasis en la experiencia boliviana y el inédito "Sistema Estructural: Nayra Uno", que construido en un tipo de bambú herbáceo (Caña Hueca), representa un enfoque técnico-modular innovativo que ayuda a reducir la huella ecológica, promoviendo prácticas artesanales sostenibles en la construcción.

La alta resistencia del bambú, su flexibilidad y su bajo impacto ambiental, lo convierten en una opción ideal para la cestería y la construcción en un actual contexto donde deben primar soluciones más ecológicas, destacándose su versatilidad como material en la cestería tradicional, ofreciendo grandes beneficios debido a su capacidad de adaptación a una diversidad de estructuras mediante técnicas de entramados, lo que se conecta con el interés del Proyecto BOLBAMBU con la creación y promoción de una cultura de uso, a través de investigaciones en arquitectura, diseño y construcciones de base tecnológica verde. Los estudios de caso destacan las ventajas del bambú no solo en términos de sostenibilidad, sino también como una alternativa viable a los materiales convencionales, pues, más allá de ser un material tradicional, puede desde los Sistemas Complejos, desempeñar un papel clave en la construcción, ya sea en su forma natural rolliza, como material compuesto o seccionado en varillas. Debido al actual avance del conocimiento y considerando su designificación, es posible volver al bambú translúcido para un innovador tipo de vidrio, o como materia prima para biocombustibles, o bio carbón en el mejoramiento de suelos agrícolas, y debido a la contracción tridimensional de sus vasos vasculares seguramente pronto será posible aumentar su densidad y resistencia. Desde la academia es necesario desarrollar una comprensión cabal de cómo el bambú se transforma en cultura material, solo así se garantizara que una cultura de uso en Bolivia sea sostenible y perdurera.

Por lo mencionado, los actuales y diversificados estudios sobre el bambú están posibilitando avances cualitativos de gran importancia en el mundo del diseño y la construcción, tanto que ya no es posible enumerar los logros conseguidos que hasta hace poco resultaban conocidos. Hoy, muchos de estos logros plantean un gran "salto tecnológico" de la mano de la geometría y sus sólidos platónicos, como otros recursos no siempre empleados por la arquitectura y que ahora comienzan a tener cabal relevancia, a saber: *el consumo y la eficiencia energética de los materiales* (la relación existente entre ambos parámetros es la cantidad de energía requerida para la obtención de un producto o servicio -se supone que a mayor consumo, menor eficiencia energética-); *La disposición y el manejo de los residuos de la construcción* (donde no existe una clasificación, ni mucho menos reciclaje y reutilización para la disposición final, como sucede con el bambú); *El manejo sostenible de los recursos de la biodiversidad* (de manera que se obtengan diversos beneficios, precautelando el legado natural y medioambiental); *Uso de envoltantes parametrizadas con software especializado en formas geométricas* (donde el diseño deja de ser atributo de la arquitectura, para pasar al campo físico-matemático en la obtención de adecuadas relaciones de elementos y componentes estructurales para la obtención de patrones de geometrías complejas).

Referencias



Libros

Rifkin J. Howard T. (1990). *Entropía, hacia el mundo invernadero*. Editorial Urano. Madrid <https://docplayer.es/35271957-Jeremy-rifkin-con-ted-howard-entropia-hacia-el-mundo-invernadero.html>

Tripaldi L. (2023). *Mentes paralelas. Descubrir la inteligencia de los materiales*. Caja Negra Editora. Bs. As.

Wayland E. (1994). *Women`s Work*. The first 20.000 years.

Hurcombe, L.M. (2014). *Cultura material perecedera en la prehistoria. Investigando la mayoría ausente*. (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315817729>

Revistas

Reque J. L. (2022). *Servicios ambientales del bambú*. Revista Locus. Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Ciencias del Hábitat. Año 02 N°3/Julio-Diciembre 2022. UMSS. Cochabamba-Bolivia.

Reque J.L. (2023). Del Capítulo: *Servicios ambientales del bambú*. Revista Locus 03, Territorio, ciudad, arquitectura y diseño. ISSN: 2957-7071. IIACH-UMSS. Cochabamba-Bolivia.

Reque J.L. (2022). *Vivienda, Cambio Climático y Energía. Su producción desde la academia y otros gestores*. Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Ciencias del Hábitat, IIACH. Reporte Anual 2022.

Reque J. L., Cholima S. (2001). *El bambú en estructuras espaciales*. Trabajo inédito. Maestría en Ciencias de la Construcción para países en desarrollo. Módulo 2, Comportamiento Químico de los Materiales. FACH-UMSS. Cochabamba, Bolivia.

Vélez S. (2019). *Yo soy un constructor ilegal*. Revista Arch Daily (reportaje). <https://www.archdaily.cl/cl/915696/simon-velez-yo-soy-un-constructor-ilegal>

Artículos PDF

Berglund, L. A., & Burgert, I. (2018). *Bioinspired wood nanotechnology for functional materials*. Advanced Materials, 30(19), 1704285.

Schon D. (1998). *El profesional reflexivo. Como piensan los profesionales cuando actúan*. Ediciones Paidós Ibérica S.A. Barcelona. file:///C:/Users/User/Downloads/Donald_a_schon_el_profesional_reflexivo%20(1).pdf

Dafang Huang, Jie Li, Suiyi Li, Jianbing Hu, Zhiru Cao, Yang Guo, Yu Ding, Mingwei Zhu, Yanfeng Chen, *Self-densified super-strong wood*, *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2025, ISSN 2369-9698, <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2025.03.001>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969825000167>)

INBAR. *Guía de diseño para bahareque ingenierizado*. file:///C:/Users/User/Downloads/DesignGuideforEngineeredBaharequeHousing.pdf

Artículos de prensa

Postrel V. (2018). *El tejido de la civilización. Como los textiles dieron forma al mundo*. (Dosier de prensa). https://www.siruela.com/archivos/dossieres_zip/DOSIER_El_tejido_de_la_civilizacion.pdf

Tesis o disertaciones

Reque J. L. (2011). *A propósito del cambio climático y el CO2: una hipótesis para el bambú Guadua desde la termodinámica, fundamentada en la percepción cognitiva y Gaia*. Programa de Doctorado en Energía y Desarrollo. UMSS-USP. Cochabamba-Bolivia (Trabajo inédito).

Reque J. L. (2005). *Proyecto comunitario de construcción ecoturística en la Laguna Paraíso, haciendo uso de materiales del medio*. 1er. Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico. Veracruz-México (Ponencia).

Reque J. L. (2006). *El Bambú Guadua en Bolivia, el salto tecnológico en estructuras livianas*. Brazilian Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction. NOCMAT 2006. Salvador de Bahía, Brasil (Ponencia). <http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br>

Páginas Web

Nanotubos y Fullerenos. <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/57211/61666>

Centro de capacitación en artesanía del bambú. Prefectura de Oita, Japón. <https://www.pref.oita.jp>

Tanabe Chikuunsai. <https://about.asianart.org/press/tanabe-chikuunsai-iv-connection/>

Estadio Nacional de Pekín. <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-nacional-en-pekín#lg=1&slide=7>

Templo de Luum. <https://www.archdaily.cl/cl/919123/templo-luum-co-lab-design-office>

Green School Bali. <https://museemagazine.com/features/2022/8/17/architecture-the-arc-at-the-green-school-bali-indonesia>

Buckminster Fuller. https://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller

El arquitecto del acero vegetal. <https://www.gatopardo.com/articulos/archivo-el-arquitecto-del-acero-vegetal>

Félix Candela: El arquitecto que revolucionó la construcción mexicana. <https://www.archdaily.cl/cl/626588/feliz-cumpleanos-felix-candela>