



Prácticas de proyecto a partir de cañas Tacuaras
(*Phyllostachys Bambusoides*)



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Proyecto de iniciación a la investigación del Instituto de Proyecto

Prácticas de proyecto a partir de cañas tacuaras (*Phyllostachys Bambusoides*)

Mag. Arq. Gerardo Martínez

Tutor Dr. Arq. Daniel Godoy

PCI Braulio Olivera

Índice

Capítulo 1. Antecedentes	1
1.1 Consideraciones generales sobre el bambú en la industria de la construcción.	1
1.2 El bambú en el Uruguay.....	4
1.3 Terminología básica de referencia	4
1.4 Problemática	5
- El bambú en Uruguay	5
- De los vínculos entre piezas.....	6
- La sustentabilidad como proyecto	6
- La estructura como proyecto.....	6
- De los ensayos.....	7
Capítulo 2	8
2.1 Hipótesis	8
2.2 Objetivos.....	8
- Generales.....	8
- Específicos	8
Capítulo 3 Metodología de investigación.....	9
1. Revisión bibliográfica y entrevistas calificadas	9
2. Obtención de culmos, traslado y secado.	9
3. Estudio de dispositivos de unión.....	10
4. Proceso de proyecto de una estructura de bambú.....	10
5. Construcción de un dispositivo a escala 1:1	10
Capítulo 4 Resultados	10
4.1 De la revisión bibliográfica y entrevistas	10
- Entrevistas	10
- Fisiología de la planta	11
- Corte y secado	11
- De algunas líneas latentes o incipientes de pensamiento proyectual	12
4.2 De la Obtención de culmos, traslado y secado para esta investigación.	12
4.3 Estudio de dispositivos de unión.....	16
4.4 Del proceso de proyecto.....	29
- Fichas de hipótesis de proyecto.....	30

5. Discusión.....	40
5.1 De la revisión bibliográfica y las entrevistas	40
- Conocer sobre la fisiología de la planta.	40
- Saber cortar, saber secar	40
- Pensar con sentido	41
5.2 Del corte y secado de culmos para esta investigación	42
5.3 De los dispositivos de Unión	42
5.4 Un decálogo para la construcción con bambú.....	43
5.5 Reflexión final	43
Bibliografía	45
ANEXOS	47

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Consideraciones generales sobre el bambú en la industria de la construcción.

“El bambú es una gramínea que se conoce mundialmente y adopta diferentes nombres vernáculos en cada país o región. Se puede encontrar en áreas tropicales, subtropicales y templadas-media, a altitudes que varían de 0 a 4800 metros sobre el nivel del mar. Hay más de 1500 especies distribuidas en más de 11.000.000 de hectáreas.” (Caffiero Dávalos, 2006)

En la mayoría de los países o regiones en los que se encuentra alguna especie de bambú su utilización en la industria de la construcción adopta usos dispares y, en algunos, no es tan frecuente. No obstante, pueden encontrarse interesantes usos y aplicaciones a nivel global como China, Vietnam, Tailandia, etc, y en el contexto latinoamericano, se destacan países como Colombia, Paraguay, Brasil y Argentina entre otros.

Colombia ha desarrollado y consolidado a lo largo del tiempo la investigación y la utilización del bambú en la industria de la construcción. Desde el ámbito disciplinar cabe destacar la experiencia del grupo de Investigación Madera y Guadua – Cibam, coordinado por el Arq. Jorge Lozano Peña, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia.

En el ámbito profesional se destaca la trayectoria del arquitecto Simón Vélez con obras emblemáticas que han trascendido las fronteras de Colombia hacia otros países como Estados Unidos, Alemania, México, China, etc. En la figura 1 se muestra una de sus obras emblemáticas: el Museo Nómada en el Zócalo en Ciudad de México, inaugurado en enero de 2008.



Figura 1: Museo Nómada en El Zócalo de Ciudad de México (Flickr, 2008)

Otro arquitecto colombiano destacado es Jaime Peña, actualmente radicado en México. Su trabajo se realiza desde su estudio profesional (Jaime Peña Studio), que se promociona desde su página como una oficina que vincula “geometría universal y materiales naturales.” (2025) Su obra se destaca por el uso del diseño paramétrico combinado con técnicas artesanales de construcción, que le confieren una imagen particular como se muestra en la figura 2: Toroide, una plataforma multicultural construida en Colombia en el 2020.



Figura 2: Toroide, plataforma multicultural de Guadua Angustifolia Hunth, Tenjo, Colombia. (Peña, 2020)

Cabe agregar que, en el ámbito industrial colombiano, se han desarrollado elementos de construcción de alta tecnificación a partir de fibra de guadua (bambú) laminada, tal como se muestran en la figura 3. “La guadua laminada se elabora al unir láminas o latas de guadua por sus caras, extremos y/o cantos con adhesivos para conformar elementos que funcionan como unidad”. (Takeuchi, Caori; Luna, Patricia; Lozano, Jorge Enrique, 2010, pág. 3)



Figura 3: Tablero compuesto por varias capas de guadua prensada. (Bambumex, 2011)

También pueden encontrarse otros usos del bambú en la industria de la construcción. En Brasil, se ha incorporado fibras de bambú en el hormigón en sustitución de hierro, como se muestran en la figura 4. En este sentido se destacan los aportes realizados por el Ing. Civil Khosrow Ghavami (Brasil) fundamentalmente en el área de la ingeniería.



Figura 4: Uso del bambú para armadura de repartición de cargas en hormigón (istockphoto, 2016)

La guadua, dicen Takeuchi, Caori; Luna, Patricia; Lozano, Jorge Enrique (2010) puede tener gran proyección de futuro en la industria de la construcción aportando verdaderos beneficios ambientales como regulación de caudales de agua, captura de CO₂ y la recuperación de suelos.

Para maximizar su utilización, dicen Pereira & Beraldo (2008), se torna necesario que sus características físicas y mecánicas sean más difundidas. Sumado a esto, es necesario incorporar en ámbitos académicos y profesionales prácticas de proyecto capaces de incorporar alguna forma de uso del bambú como material de construcción.

A nivel regional existen otras experiencias de interés, como las del Dr. Arq. Horacio Saleme, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de Tucuman (UNT), quién ha aportado una enorme cantidad de conocimientos para el uso del bambú en la industria de la construcción.

Su trabajo también puede encuadrarse en un novedoso uso del bambú como material didáctico para el aprendizaje del diseño y cálculo de estructuras. Su trabajo didáctico fue llevado adelante por décadas en la UNT, con construcciones de estructuras de bambú a escala 1:1, como un acercamiento temprano entre el diseño estructural, la construcción y el cálculo.

1.2 El bambú en el Uruguay

En Uruguay se pueden constatar algunos referentes en el uso del bambú como ser la Lic. en Diseño y Arq. Katia Sei Fong, cuyo interés por el este material la ha posicionado como la embajadora de la Organización Mundial del Bambú en el país.

La Lic. en Diseño Analaura Antúnez, fundadora de Plantea bambú, surge también como referente para el desarrollo del uso de esta planta en la industria y en la construcción. Ha realizado valiosos aportes en talleres, charlas y conferencias desde su actividad profesional con visiones diversificadas y novedosas a través de una mirada integral del bambú con el contexto social. Antúnez habla del bambú como herramienta potencial para la regeneración ecosocial.

En Uruguay tampoco existe un gran desarrollo de la producción del bambú. No obstante, puede tomarse como referente al Ing. Agr. Gabriel Arenares, fundador de Bambú del Este, como una empresa productora que brinda asesoramientos para la combinación del bambú con otras actividades rurales productivas. A través de su trabajo, cuenta con un gran conocimiento de las diferentes especies existentes en distintas regiones del país, y una producción incipiente, hoy vinculada al diseño paisajístico y a la actividad agropecuaria.

1.3 Terminología básica de referencia

Se realizó una revisión de la norma ISO19624: (2018) para establecer una terminología de referencia para el desarrollo de esta investigación. A los efectos del presente informe, se exponen tres conceptos fundamentales: culmo, nudo y entrenudo. No obstante, dicha revisión tuvo mayor profundidad y explora otros términos más precisos. (ver anexo – informe 2 - 20-07-2024 – TERMINOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS DE PRE-SELECCIÓN)

- Culmo:

Un solo brote de bambú.

Nota 1 a la entrada: Un culmo se compone de toda la sección transversal de bambú inalterada y suele ser un cilindro hueco, excepto en los nudos.

- **Nudo:**

Región del diafragma transversal ubicada a lo largo del culmo que separa los entrenudos adyacentes.

Nota 1 a la entrada: La separación entre nodos varía a lo largo del culmo. Cuando están vivos, los nodos son lugares de crecimiento de hojas y ramas.

- **Entrenudo**

Región generalmente hueca del culmo de bambú entre dos nodos en los que se definen el diámetro y el espesor de la pared.

1.4 Problemática

- El bambú en Uruguay

Gabriel Arenares (2025) manifestó lo siguiente en una entrevista realizada específicamente para esta investigación:

“hoy en día se reconocen más de 1700 especies. Entrando en taxonomía y clasificación, los bambúes pertenecen, como dijimos, a la gran familia de las gramíneas (Poaceae), y a la subfamilia Bambusoideae, que se divide en tres grandes tribus que son: Olyredae (bambues herbáceos), Arundinariea (bambúes leñosos), y Bambuseae (bambues leñosos).

Los leñosos son los que conocemos como cañas, justamente por sus tallos lignificados. Se trata de un universo muy grande donde hay nativos en casi todos los continentes, con una amplia distribución. La mayor parte están en Asia (casi un 70%), hay una riqueza bastante grande en América (25%), existe un porcentaje menor en África (5%). En Europa y la Antártida no se han identificado bambúes nativos. No obstante, hoy existen bambúes en todos lados ya que el hombre se ha encargado de diseminarlo. Europa por ejemplo tiene gran experiencia en el cultivo y utilización del bambú, y han adoptado técnicas asiáticas desde la colonia, al punto que muchos bambúes fueron introducidos en América en el siglo XIX con los colonos, como la conocida “caña tacuara”.

En Uruguay Existen al menos 5 especies de tacuaras, siendo la más conocida por sus grandes dimensiones la tacuruzú (*Guadua Chachoensis*) que se encuentra en el departamento de Artigas. Al sur del país, se pueden encontrar otras especies, generalmente de crecimiento espontáneo o en pequeños cultivos en zonas suburbanas o rurales, que se han usado para la construcción de dispositivos en huertas, cercos, pequeñas construcciones auxiliares, etc. La especie más conocida es la *Phyllostachys aurea*.

Su utilización vernácula no ha traspasado el límite de la resolución de problemas técnicos sencillos, dejando una serie de desafíos técnicos planteados. En efecto, dicen D'Abbisogno & García (2016) que al día de hoy casi no se le da uso a esta versátil planta e incluso es vista en muchas ocasiones como una plaga.

- De los vínculos entre piezas

Tal como dicen Pereira & Beraldo (2008) “por tratarse de tubos con baja resistencia al agrietamiento, la dificultad radica en la unión entre las partes.” (pág. 162) Teniendo en cuenta esto, sumado a las restricciones dimensionales que presentan las piezas, se pone de manifiesto la necesidad de estudiar los vínculos, identificando su comportamiento estructural y mecánico frente a determinados esfuerzos. A su vez, es trascendental establecer la época de corte (variable según cada especie), su forma de disposición para el secado, así como su tratamiento posterior, ya sea el curado con calor o el uso de productos químicos preservativos.

Visto lo expuesto anteriormente, quedan planteados los desafíos y posibles restricciones para el proyecto, a saber: el corte, el curado y las uniones. Se estima que la caña tacuara con la que contamos al sur del Uruguay puede ser utilizada como elemento de construcción si se estudia y se profundiza el conocimiento de sus características físicas y mecánicas y su forma de vinculación.

- La sustentabilidad como proyecto

La sustentabilidad es un tema confluyente que se visualizan tanto en las entrevistas como en las publicaciones consultadas.

El libro “Solución Bambú – Guía para el manejo sustentable del Género *Phyllostachys*” (Peña, y otros, 2015), se destaca por su compilación exhaustiva de técnicas para un manejo sustentable, fundamentalmente de los bambusales silvestres del delta bonaerense. Se destaca el siguiente pasaje:

“La sustentabilidad ha escalado posiciones en las agendas políticas, y el debate medioambiental -junto con el diseño de toda índole de productos supuesta o verdaderamente ecoamigables, las formas de cultivo, la alimentación y los métodos de construcción- se ha convertido en uno de los puntos fundamentales de las mismas.” (pág. 25)

- La estructura como proyecto

La estructura es una parte relevante en el proceso de proyecto. Torroja dice que “es absurdo descender a la concreción cuantitativa sin la seguridad de tener encajado el conjunto en sus acertados dominios” (2008, pág. 2). En el uso del bambú, el proceso de cálculo tiene dificultades por tratarse de un material no tradicional, natural y no estandarizado. En este sentido, en la entrevista realizada al Horacio Saleme (2024), manifestó lo siguiente:

“Pienso que diseñar la estructura es lo primero. La cuantificación es importante, pero el cálculo numérico clásico no suele ser el más apropiado, porque ningún sistema es más preciso que su dato más débil. Con el bambú las “borrosidades” de los datos son tantas, que un método puramente numérico crea la ilusión de precisión, cuando la realidad pasa por otro lado. Eduardo Torroja, un ingeniero estructuralista muy importante, decía que antes de calcular una viga hay que preguntarse si va una viga u otra cosa, él habla de colocar el conjunto en sus adecuados dominios. Esto es particularmente relevante con el bambú.

Sumado a lo anterior, como los datos son muy variables se utilizan coeficientes de seguridad importantes que hace que toda la condición de cálculo sea borrosa e hipotética. En una conferencia el año pasado escuché a un ingeniero decir “que en realidad la única estructura que sabemos exactamente su resistencia y tensiones es la que se rompe”, todo lo demás es muy incierto por los grandes coeficientes de seguridad. El peligro del número es la ilusión de precisión que nos da cuando los datos son borrosos.”

- De los ensayos

Varios de los entrevistados se expresaron sobre las dificultades que conllevan realizar estudios a un material natural, sin producción controlada donde los culmos obtenidos presentan variaciones.

La lic. en Diseño Analaura Antúnez (2024) sostiene lo siguiente:

“Pedirle a la naturaleza un comportamiento determinista es complejo. La resistencia del bambú depende de muchas variables: la especie, el manejo, el momento de la cosecha, el clima, el secado (al sol o a la sombra, en posición vertical u horizontal), entre otros. Obviamente es posible realizar estudios con una muestra considerable, pero eso cobra más sentido en plantaciones productivas con manejo técnico. En bambusales silvestres no tiene mucho sentido hacerlo.”

En sentido con lo anterior, Saleme (2024) dice:

“Respecto al bambú, al ser un material natural y que las más de las veces se usa tal cual lo encuentro en la naturaleza, los ensayos arrojan una dispersión de valores muy grande. Por eso el diseño es determinante. Es un material que tienen un gran potencial, que favorece la biodiversidad, consolida suelos, crece muy rápido, etc. y sería desatinado no aprovecharlo. Requiere tenacidad y paciencia.”

Capítulo 2

A continuación, se explicitan la hipótesis y los objetivos planteados para la presente investigación.

2.1 Hipótesis

Es posible desarrollar dispositivos constructivos con cañas tacuaras capaces de conformar pórticos que, repetidos y vinculados entre sí, determinen un espacio arquitectónico.

2.2 Objetivos.

- Generales

1. Diseñar y construir pórticos que permitan salvar una luz libre de 7m y de alto 4m a partir de barras de tacuaras vinculadas entre sí.
2. Generar estrategias de diseño para la incorporación a la práctica de proyecto del bambú (Tacuara - *Phyllostachys Bambusoides*).

- Específicos

Para alcanzar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos que se detallan a continuación.

1. Indagar en los procesos de corte, secado y tratamiento posterior para la obtención de piezas adecuadas.
2. Establecer los largos y diámetros óptimos de las piezas a utilizar.
3. Determinar los valores de resistencia, a la tracción y el módulo de elasticidad de la caña tacuara de la región sur del Uruguay
4. Estudiar 3 tipos de vínculos en los nudos de los elementos para establecer su comportamiento mecánico.
5. Elaborar una serie de estrategias de diseño para la práctica de proyecto.

Capítulo 3 Metodología de investigación

La metodología de investigación consistió en varias partes que se detallan continuación.

1. Revisión bibliográfica y entrevistas calificadas

Se profundizó la revisión bibliográfica de partida a través del abordaje de material impreso y digital.

A su vez se realizaron 4 entrevistas a personas calificadas, especialistas en diferentes temáticas, tanto del ámbito académico como profesional.

2. Obtención de culmos, traslado y secado.

De una de las márgenes de la Cañada Blanco, en la ciudad de Juan Lacaze, se cortaron aproximadamente 600 culmos y se seleccionaron para la investigación 300 (ver figura 5). Dichos culmos, fueron llevadas en camión hacia el espacio de secado. Dicho fue un galpón existente techado y con gran ventilación cruzada.



Figura 5: Mapa de Juan Lacaze. Bambusal y espacio de trabajo (2025)

Los culmos fueron posicionados de manera horizontal a 30cm del suelo y posteriormente, transcurrido un tiempo fueron posicionados en vertical a 70° respecto al suelo.

Se establecieron culmos testigos de los que se extrajeron muestras semanales para ser analizadas en laboratorio con el fin de ver la evolución del contenido de humedad.

3. Estudio de dispositivos de unión

Se estudiaron distintos dispositivos de unión que pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- Uniones con utilización únicamente de bambú
- Uniones con incorporación de otros materiales como metales, fibra de vidrio, etc.

4. Proceso de proyecto de una estructura de bambú

Se realizaron los trámites correspondientes ante el municipio de Juan Lacaze para la realización de una estructura sobre un viejo escenario octogonal de piedra ubicado en el Espacio Público Integrador (EPI).

Se llevó adelante un proceso proyectual en el que se construyeron y evaluaron distintas hipótesis de proyecto y se analizó la factibilidad constructiva en cada caso.

5. Construcción de un dispositivo a escala 1:1

Se construyó una estructura a escala real de acuerdo a lo proyectado previamente. El proceso de construcción fue utilizado como testigo para la comprobación y reconfiguración de hipótesis proyectuales.

Capítulo 4 Resultados

4.1 De la revisión bibliográfica y entrevistas

- Entrevistas

De las entrevistas realizadas a distintos actores y especialistas se pudieron reconocer algunos ejes temáticos referidos a la fisiología de las plantas, el corte y el secado de los culmos cosechados, precisiones sobre los ensayos y posibilidades y restricciones para el proyecto con bambú.

El Ing. Agr. Gabriel Arenares realizó valiosos aportes sobre la fisiología de la planta, las especies encontradas en el Uruguay y su posible utilización en el proyecto de arquitectura.

La lic. en Diseño Analaura Antúnez arrojó una mirada de gran consciencia medioambiental, la importancia del corte selectivo y la revalorización del bambusal silvestre. En este sentido, Antúnez transmitió una postura sólida y definida sobre las potencialidades del bambú como un material capaz de impulsar una regeneración ecosocial.

El dr. Arq. Horacio Saleme aportó diversas informaciones. Remarco aspectos sobre épocas de corte y formas y métodos de tratamiento de los culmos. A su vez realizó aportes para el proyecto estructural con bambú, poniendo el eje del problema en el diseño estructural por sobre el cálculo, donde las borrosidades y la dispersión de los resultados con el bambú, son enormes.

Finalmente, el Dr. Arq. Jorge Lozano realizó importantes aportes al proyecto de arquitectura con bambú desde una mirada académica y disciplinar, orientando los ensayos y estudios con base científica, repasando y comentando aspectos normativos de interés.

- Fisiología de la planta

Respecto a la fisiología de la planta, el Ing. Agr. Gabriel Arenares (2025) presentó algunos temas fundamentales.

La madurez de la caña es fundamental para su utilización en la construcción y considerarla para el proyecto de arquitectura. Arenares (2025) comentó que “al inicio la caña es 90% agua, y va cambiando con el transcurso del tiempo. Una caña adulta tiene más del 50% de materia seca.” Ello determina que una caña joven, no tenga materia seca suficiente como para ser utilizada como estructura.

No todas las especies son aptas para la construcción, pero si existen estudios o usos en arquitecturas vernáculas de especies que han dado resultado a lo largo del tiempo. En este sentido y desde un punto de vista más pragmático, Saleme (2024) manifestó que “considera dos especies de bambú: las que sirven para la construcción y las que no. Taxonómicamente no es correcto expresarse así pero prácticamente es una vía expeditiva de avanzar en las construcciones de bambú.”

- Corte y secado

En esta temática, se mencionan los siguientes aportes:

El Dr. Arq. Jorge Lozano (2024) manifestó los siguiente respecto al corte de los culmos:

“Lo recomendable es hacerlo a mitad del menguante. El culmo se debe cortar a eso de las 4 o 5 de la mañana ya que la sabia se encuentra en la parte inferior de la plata y debes dejarlo en el sitio sobre algún elemento que lo separe de la humedad del suelo. Allí lo dejas para que salga toda la sabia y cuando empiezan a caerse las hojas lo retiras (entre 10 y 20 días dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura). Este proceso se llama avinagrado. Este avinagrado lo hace más resistente al ataque de insectos.”

Arenares (2025) puntualizo que para el corte de los culmos se debería tener presente los siguientes momentos:

- 1- “El momento de la planta en su vida. La caña se debe cortar cuando es madura entre 3 y 5 años.
- 2- El momento de la planta en el año. La caña se debe cortar en los meses que no tiene brotación, es decir cortarla en un momento de relativa latencia. En el caso de las tacuaras es en invierno, pero depende de la especie.
- 3- El momento de la caña en el mes. Este momento está definido por la luna. En menguante siempre es la mejor situación. El menguante hace que los fluidos de la caña bajen. Si no es menguante, esto no sucede. “

La Lic. en Diseño Analaura Antúnez (2024) manifestó lo siguiente:

“Es fundamental entender que cada caña tiene una edad diferente, lo cual condiciona el momento del corte. Por eso es necesario aplicar un manejo adecuado para realizar cortes selectivos. No se debería hacer un corte indiscriminado, ya que eso afecta tanto la vitalidad de la planta como la calidad del producto final o su uso.

En Uruguay aún queda mucho conocimiento por desarrollar. Es clave rescatar bambusales naturales, generar conciencia y enseñar a la gente a aprovecharlos. También es necesario revertir la percepción extendida de que el bambú es una plaga.”

- De algunas líneas latentes o incipientes de pensamiento proyectual

La Lic. en Diseño Analaura Antúnez amplió la mirada sobre el bambú y los bambusales silvestres en Uruguay. Antúnez (2024) sostuvo que es clave rescatar bambusales naturales, generar conciencia, enseñar a la gente a aprovecharlos y revertir la percepción extendida de que el bambú es una plaga. Se debe considerar que el bambú representa una oportunidad para la regeneración ecosocial, que integra aspectos culturales, filosóficos, sociales y económicos.

También surgió otra visión novedosa respecto al bambú. Esta se enfocaba en el uso de Bambú con fines didácticos. En este sentido en la entrevista, Saleme (2024) reflexionó lo siguiente: “encontré en el bambú, un poderoso instrumento de enseñanza. Los estudiantes se podían trepar a la propia estructura que habían hecho lo que significaba un incentivo que los liberaba de los prejuicios y de los caprichos formales.”

Lo anterior se presenta como una oportunidad para la enseñanza de proyecto de estructura, entendiendo la estructura mucho más que el sostén de un edificio sino como la generadora de espacio arquitectónico.

En términos profesionales, en ámbitos de otras disciplinas como la agronómica o diseño de paisaje, se visualizan algunos aspectos de interés. Arenares (2025) manifestó que el bambú es utilizado como cortinas de protección para ciertos cultivos y ciertas formas de producción. Esto podría inspirar otras maneras de pensar y desarrollar el paisaje productivo rural.

4.2 De la Obtención de culmos, traslado y secado para esta investigación.

El bambú fue conseguido en una de las márgenes de la cañada Blanco de la ciudad de Juan Lacaze. Allí, el propietario del predio pretendía “limpiar” el bambusal silvestre. En conocimiento de tal situación solicitamos la posibilidad de realizar el corte de 700 culmos. (ver figura 6) La condición impuesta es que debíamos sacar todas las plantas de un área considerable, cuestión que no nos permitió realizar una primera selección in situ. La cosecha de culmos se realizó durante el mes de junio de 2024.

Los culmos fueron cargados en un camión y llevados a un espacio techado y aireado para su secado donde se dispusieron en horizontal a 30 cm del piso. (Ver figuras 7 y 8)



Figura 6 – Cosecha de culmos



Figura 7 – traslado de culmos en camión.



Figura 8 – acopio horizontal de culmos.

Con respecto al secado de los culmos se observó lo siguiente:

La disposición inicial de los culmos fue horizontal, separados 30cm del piso. De dichos culmos se seleccionaron testigos de los que se extrajeron muestras semanales. Analizadas los resultados fueron los que se expresan en el cuadro 1 que se muestra a continuación:

Cuadro 1 – porcentajes de humedad de culmos horizontales

Semana 1 - 27/6/24	1.1	1.2	1.3	1.4
Incial	25	45,9	51,1	65
Final	12,8	26,8	28,2	36,7
Porcentaje CH%	95,3	71,3	81,2	77,1
Semana 2 - 4/7/24	2.1	2.2	2.3	2.4
Incial	18,9	24	37,5	38,8
Final	9,6	17,9	25,3	25,8
Porcentaje CH%	96,9	34,1	48,2	50,4
Semana 3 - 12/7/24	3.1	3.2	3.3	3.4
Incial	16,5	31,5	44,2	54,5
Final	10	22,7	25,6	31,2
Porcentaje CH%	65,0	38,8	72,7	74,7
Semana 4 - 21/7/24	4.1	4.2	4.3	4.4
Incial	14,1	30,5	33,4	43,3
Final	7,1	18,1	19,5	27,3
Porcentaje CH%	98,6	68,5	71,3	58,6

Los estudios arrojaban resultados variables, con porcentajes de humedad no siempre descendentes.

Posteriormente se reposicionaron de manera vertical, a 70° respecto al plano horizontal del piso y se analizaron a la semana 18 arrojando los siguientes resultados que se muestran en el cuadro 2:

Cuadro 2 – porcentajes de humedad de culmos verticales

Semana 18- 31/10/24	1	2	3	4
Incial	9,5	21,2	24,4	32,9
Final	7,6	17,7	19,8	26,2
Porcentaje CH%	25,0	19,8	23,2	25,6

Se obtuvieron valores del porcentaje de humedad descendentes y estables entre 19% y 26%; con estos valores, los culmos se consideraron secos.

4.3 Estudio de dispositivos de unión

Dispositivo 1

Dispositivo con cilindro de nylon desplazable y zuncho metálico exterior. Este dispositivo está compuesto por un cilindro de nylon con un corte en diagonal y una varilla roscada de 8mm que, al ajustarla mediante una tuerca, se desplaza dicho cilindro, ejerciendo una fuerza perpendicular (rozamiento) en las paredes del culmo (Ver figuras 9 y 10).

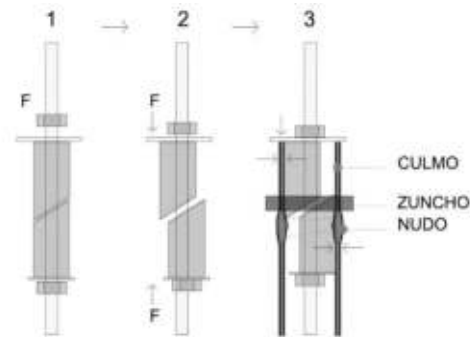


Figura 9 – Secuencia de accionamiento de dispositivo 1

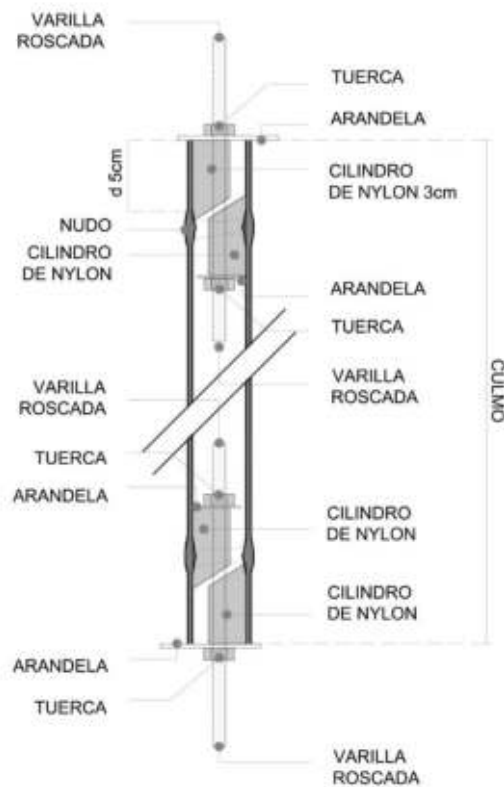


Figura 10 – Detalle

Este dispositivo soportó los siguientes esfuerzos:

- 54kg sin deformación (figura 11A)
- 55kg con deformación inferior (Figura 11B)
- 65kg con deformación superior e inferior (Figura 11C)

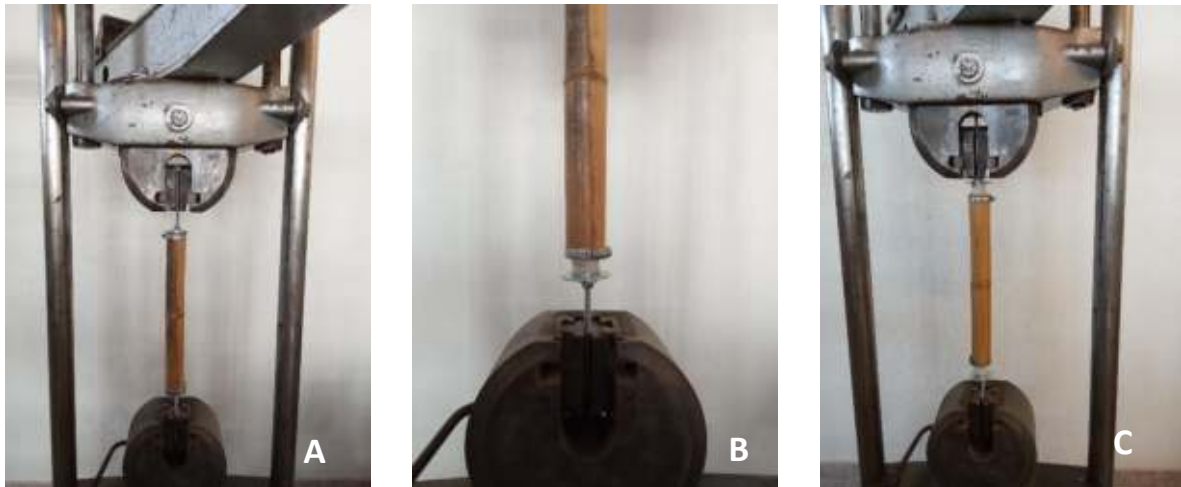


Figura 11 – Dispositivo a tracción del dispositivo 1. a) Pieza sin deformación, b) Pieza con deformación inferior, c) pieza con deformación inferior y superior.

Dispositivo 2

Dispositivo con cilindro de nylon desplazable, zuncho metálico exterior y estrías en paredes de cilindro y culmo. Este dispositivo está compuesto por un cilindro de nylon con un corte en diagonal y una varilla roscada de 8mm y estrías en las paredes del culmo y del cilindro. Al ajustarla la varilla mediante una tuerca, se desplaza dicho cilindro de manera que ejerce una fuerza perpendicular (de rozamiento) en las paredes del culmo. (Ver figuras 12 y 13)

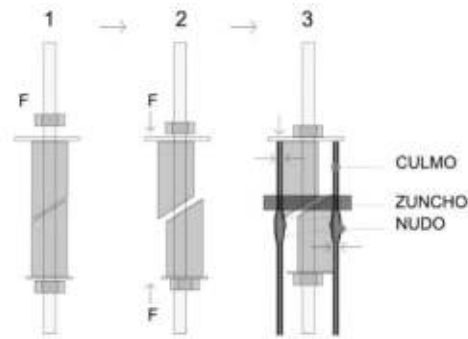


Figura 12 - Secuencia de accionamiento de dispositivo 2

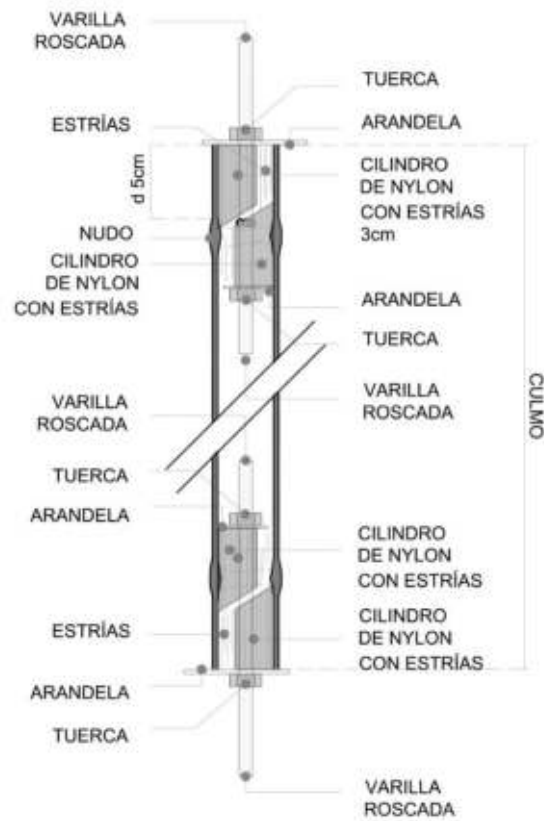


Figura 13 - Detalle

Este dispositivo soportó un esfuerzo de tracción de 375kg sin deformación (Ver figura 14)

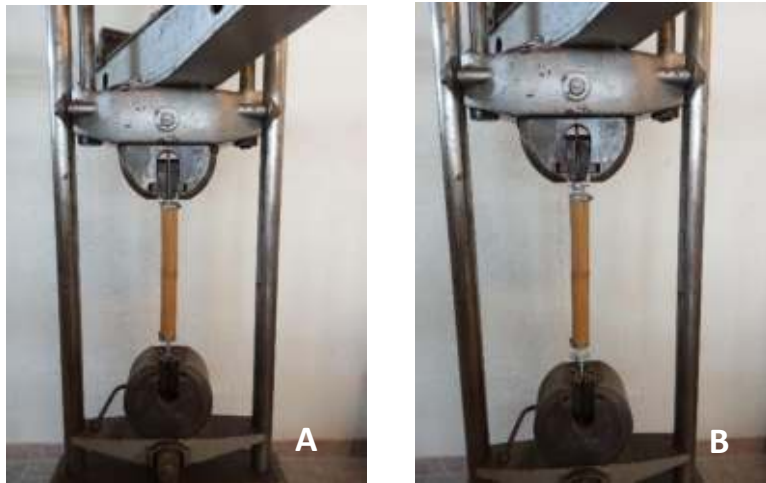


Figura 14 – Dispositivo a tracción del dispositivo 2. a) Pieza sin deformación, b) Pieza con deformación inferior y superior.

Dispositivo 3

Dispositivo con cilindro de nylon desplazable, zuncho metálico exterior y pegamento poliuretánico Würth. Este dispositivo está compuesto por un cilindro de nylon con un corte en diagonal y una varilla roscada de 8mm con pegamento poliuretánico entre el cilindro de nylon y las paredes internas del culmo. Al ajustarla la varilla mediante una tuerca, se desplaza dicho cilindro de manera que ejerce una fuerza perpendicular (de rozamiento) en las paredes del culmo presionando a su vez el pegamento. (Ver figuras 15 y 16)

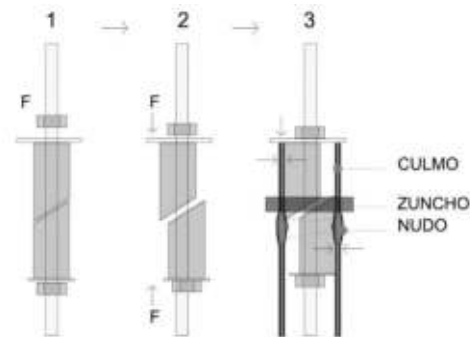


Figura 15 – Secuencia de accionamiento de dispositivo 3

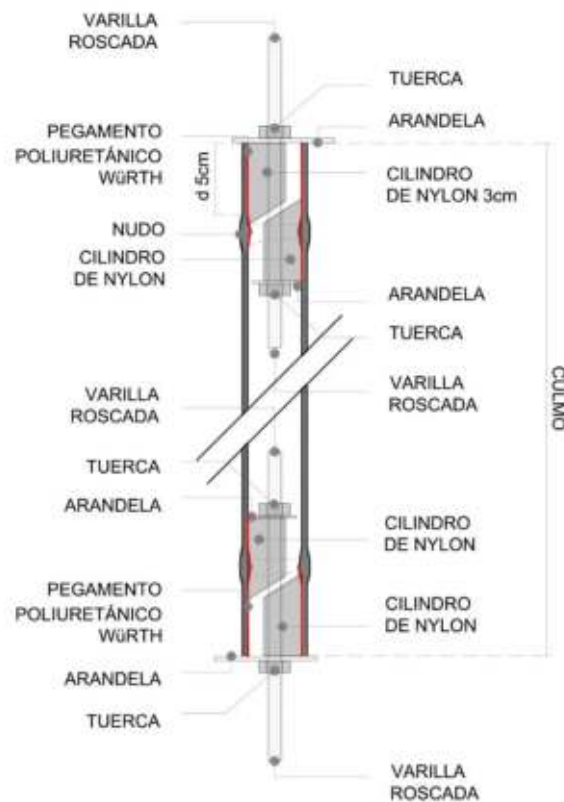


Figura 16 – Detalle

Este dispositivo soportó un esfuerzo de tracción de 425kg sin deformación (Ver figura 17)

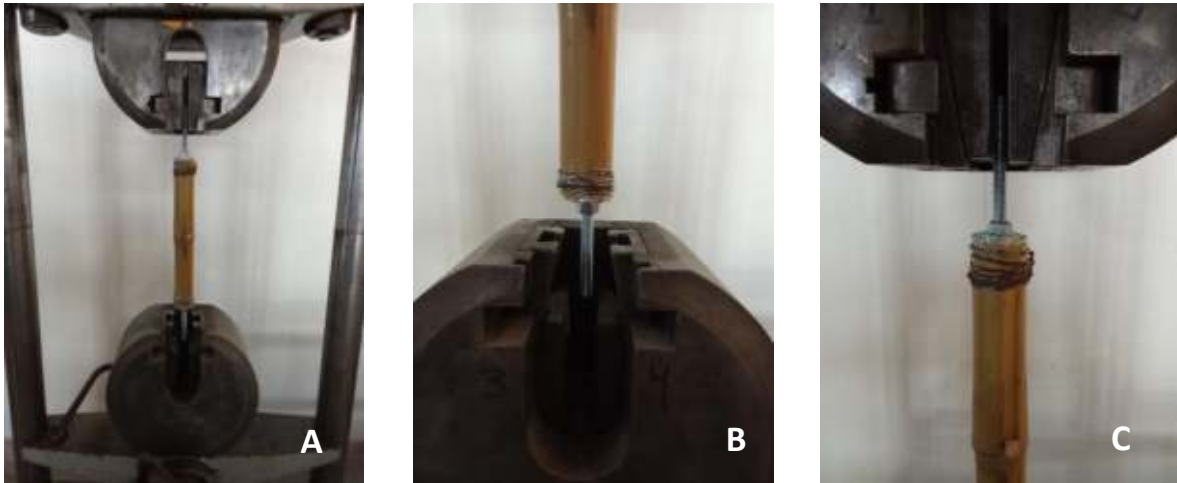


Figura 17 – Dispositivo a tracción del dispositivo 3. a) Pieza sin deformación, b) Detalle sin deformación inferior, c) Detalle sin deformación superior.

Dispositivo 4

Dispositivo con varilla roscada pasante de 8mm y cancho metálico. Se ejerce una fuerza de tracción sobre la varilla roscada que transmite los esfuerzos a la varilla pasante, que a su vez los transmite a las paredes del culmo. La varilla roscada pasante se colocó a 1cm del nudo. (Ver figura 18)

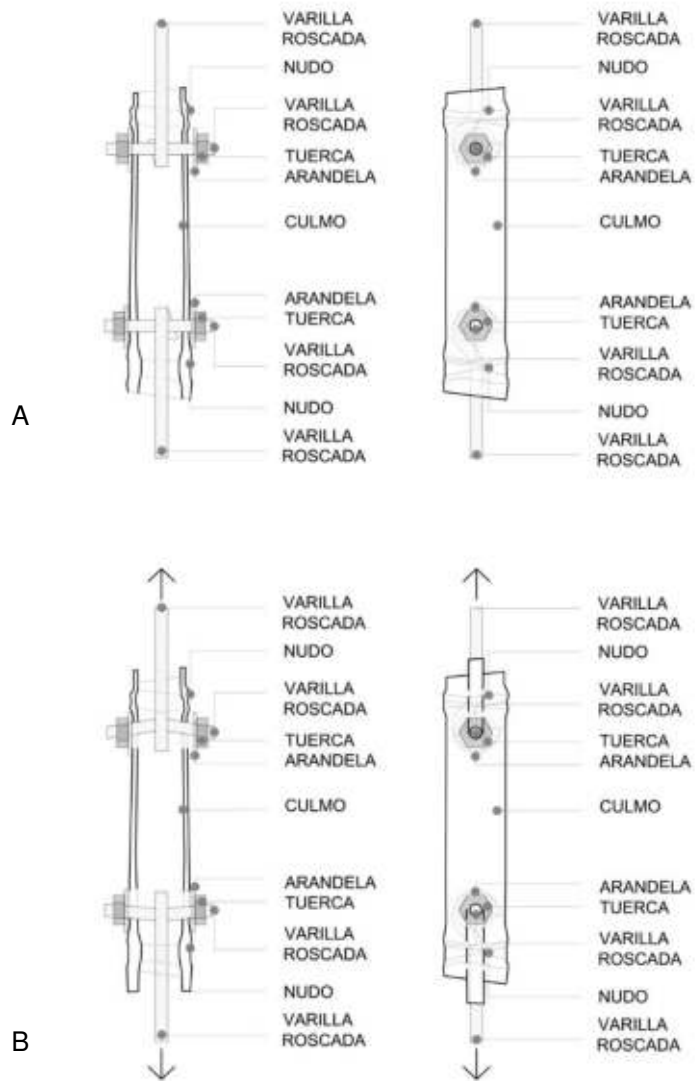


Figura 18- Detalle constructivo de dispositivo 4. a) Situación inicial de dispositivo 4, b) Situación final con varilla deformada luego de esfuerzo de tracción de 337kg.

Este dispositivo soportó un esfuerzo de tracción de 337kg sin deformación. (Ver figura 19)

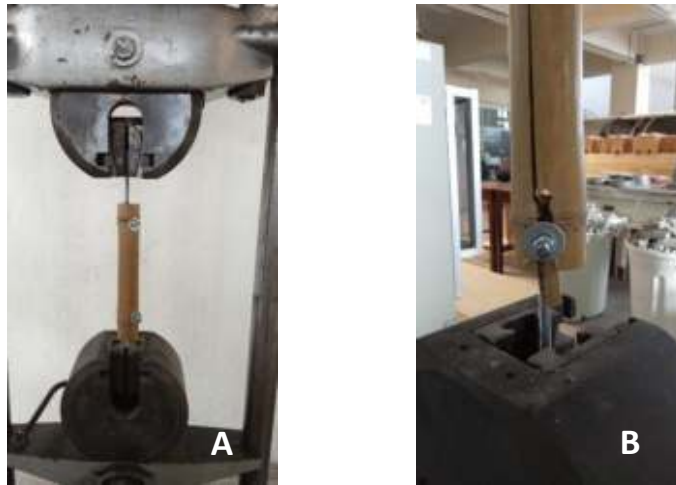


Figura 19 – Dispositivo a tracción del dispositivo 4. a) Pieza sin deformación inferior y superior, b) Detalle con deformación inferior, desplazamiento de paredes de culmo.

Dispositivo 5

Dispositivo con varilla roscada pasante de 8mm, gancho metálico y fibra de vidrio. Se ejerce una fuerza de tracción sobre el gancho de varilla roscada que transmite los esfuerzos a la varilla pasante, que a su vez los transmite a las paredes del culmo. La fibra de vidrio se aplicó sobre la pared exterior del culmo. La varilla roscada pasante se colocó a 1cm del nudo. (Ver figura 20)

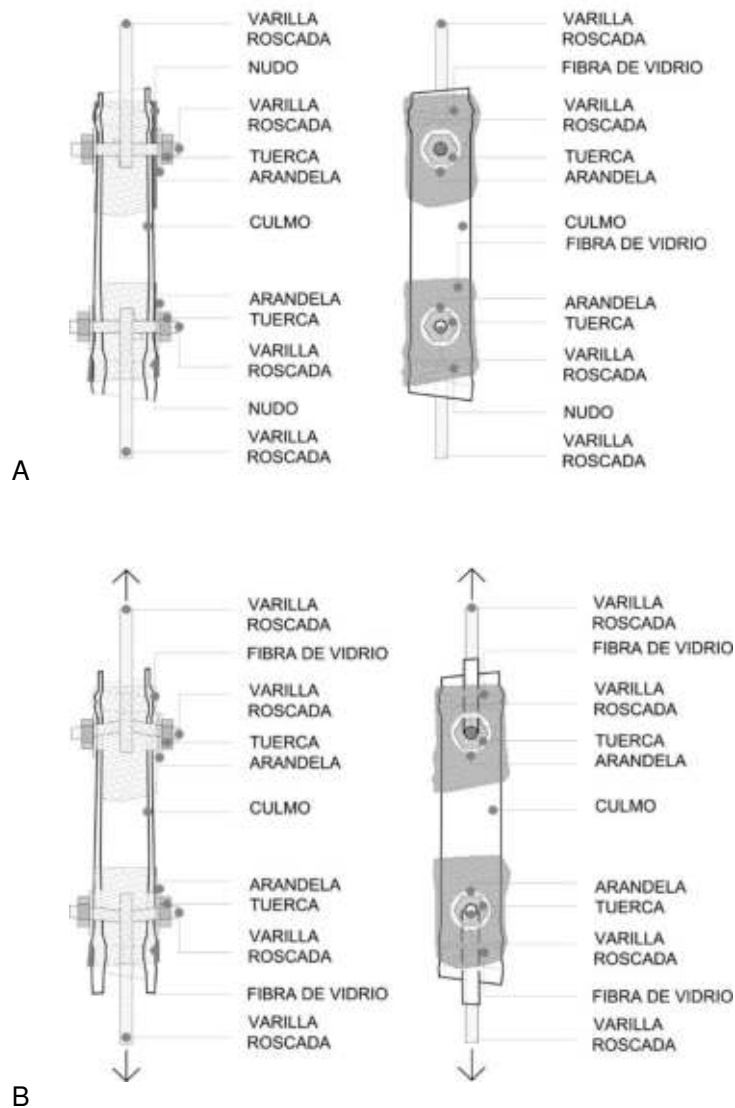


Figura 20- Detalle constructivo de dispositivo 5. a) Situación inicial de dispositivo 5, b) Situación final con varilla deformada luego de esfuerzo de tracción de 365kg.

Este dispositivo soportó un esfuerzo de tracción de 365kg sin deformación. (Ver figura 21)

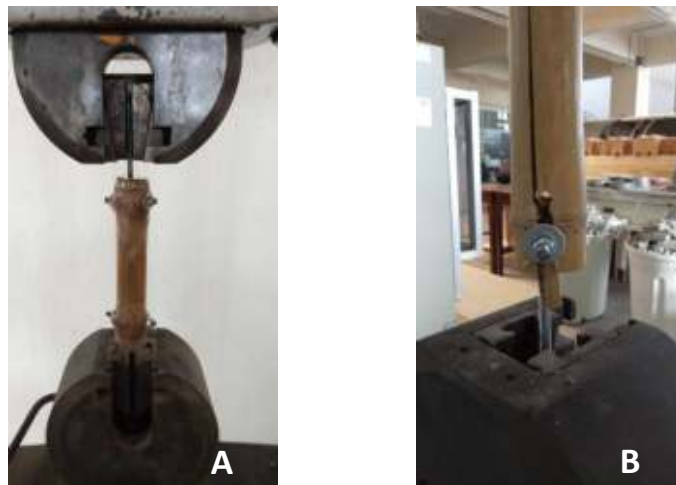


Figura 21 – Dispositivo a tracción del dispositivo 5. a) Pieza sin deformación inferior y superior, b) Detalle con deformación inferior, desplazamiento de paredes de culmo.

Dispositivo 6

Dispositivo de unión a tope entre culmos, con culmo de menor diámetro interior y varillas roscadas pasante de sujeción. (Ver figuras 22 y 23)

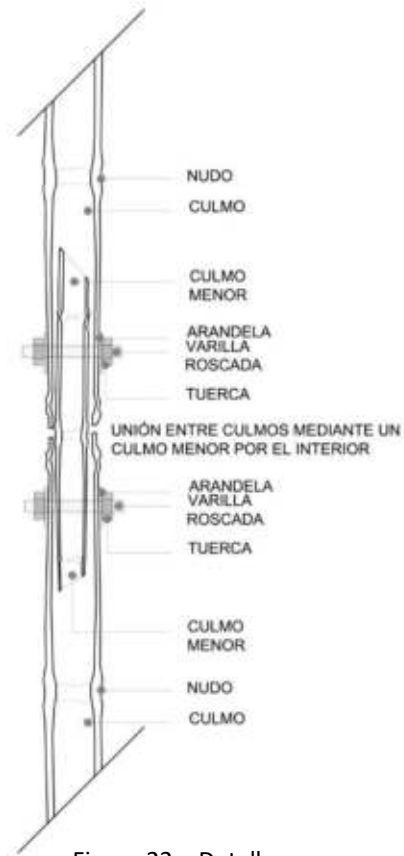


Figura 22 – Detalle



Figura 23 – Dispositivo de unión 6. a) Detalle de perforación de culmo, b) Detalle de colocación de culmo pasante de menor diámetro, c) Detalle de posicionamiento y fijación de culmos a tope.

Dispositivo 7

Dispositivo de unión a tope entre culmos, con culmo de menor diámetro interior y fibra de vidrio exterior. (Ver figura 24 y 25)

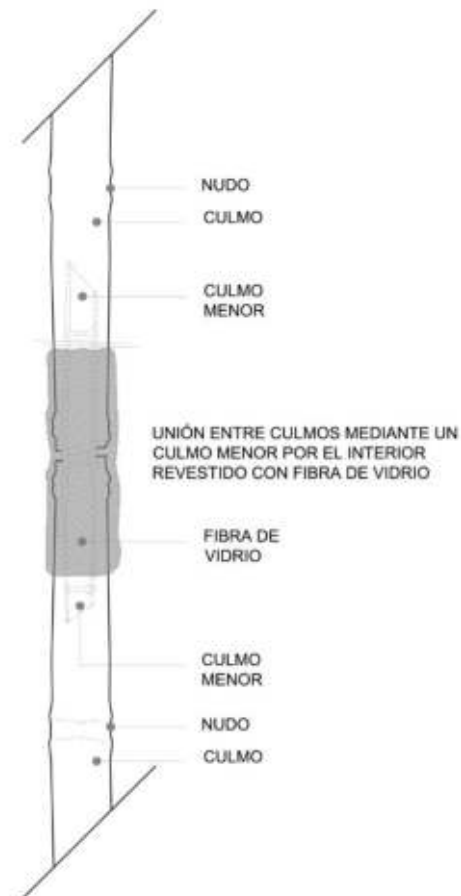


Figura 24 – Detalle

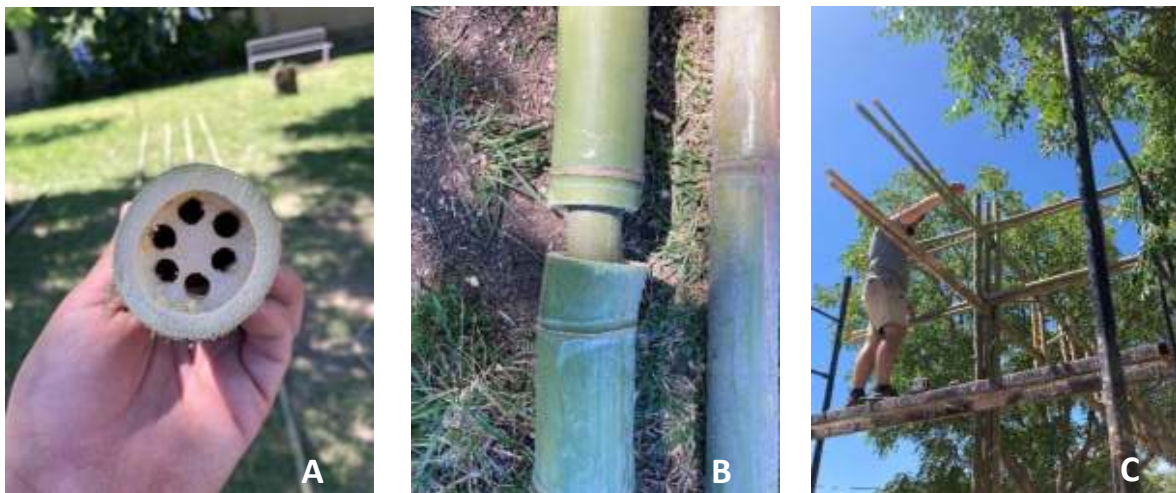


Figura 25 – Dispositivo de unión 7. a) Detalle de perforación de culmo, b) Detalle de colocación de culmo pasante de menor diámetro, c) Unión con fibra.

Dispositivo 8

Dispositivo de unión a tope entre culmos, con culmo de menor diámetro interior y fibra de vidrio exterior. (ver figuras 26 y 27)

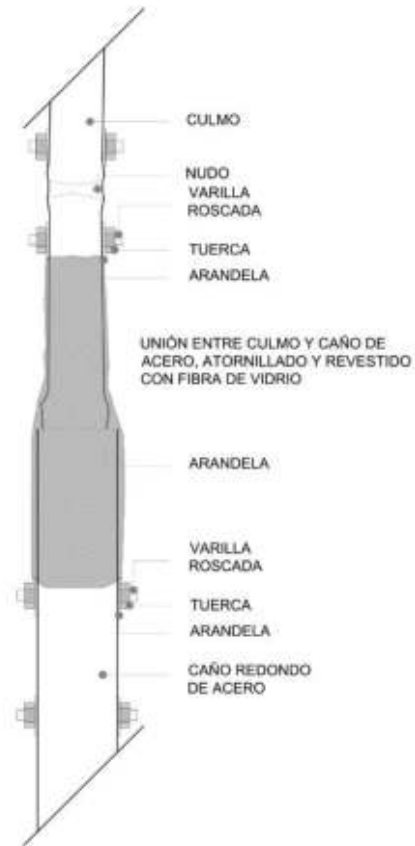


Figura 26 – Detalle



Figura 27 – Dispositivo de unión 8. a) Detalle de perforación de pieza metálica y culmo, b) Detalle de colocación de fibra de vidrio, c) Dispositivo terminado.

4.4 Del proceso de proyecto

El arquitecto Solano Benítez (2018) manifestó que “una cosa es proyectar ensamblando componentes del catálogo de materiales y otra es pensar la idea de materia – por ejemplo, sus propiedades mecánicas o químicas – antes o al mismo tiempo que se despliega nuestro proceso proyectual.”

Campo Baeza (2017) escribió que “proyectar es investigar. ¿Cómo podría ser de otro modo? Buscar, tantear, explorar, encontrar.” En efecto, esta investigación transcurrió por una búsqueda constante, un tanteo incesante dentro de un marco de exploraciones, generalmente intuitivas, que permitieron encontrar algunas certezas.

Durante el proceso de proyecto del dispositivo final, se detectaron 9 hipótesis que fueron graficadas y sistematizadas en fichas. Cada hipótesis fue analizada de acuerdo a sus vínculos, sus capacidades de activación del espacio ocupado y sus dificultades/posibilidades de construcción.

Finalmente se seleccionó una de las hipótesis de acuerdo a los siguientes parámetros:

- 1- Factibilidad constructiva
- 2- Potencia formal con capacidad reactivadora

Este proceso estuvo signado por aspectos vinculados a la praxis de la construcción, pensando y evaluando todo el sistema estructural en su conjunto y cada una de sus partes, abordando aspectos de la imagen, la escala, la materia y la belleza.

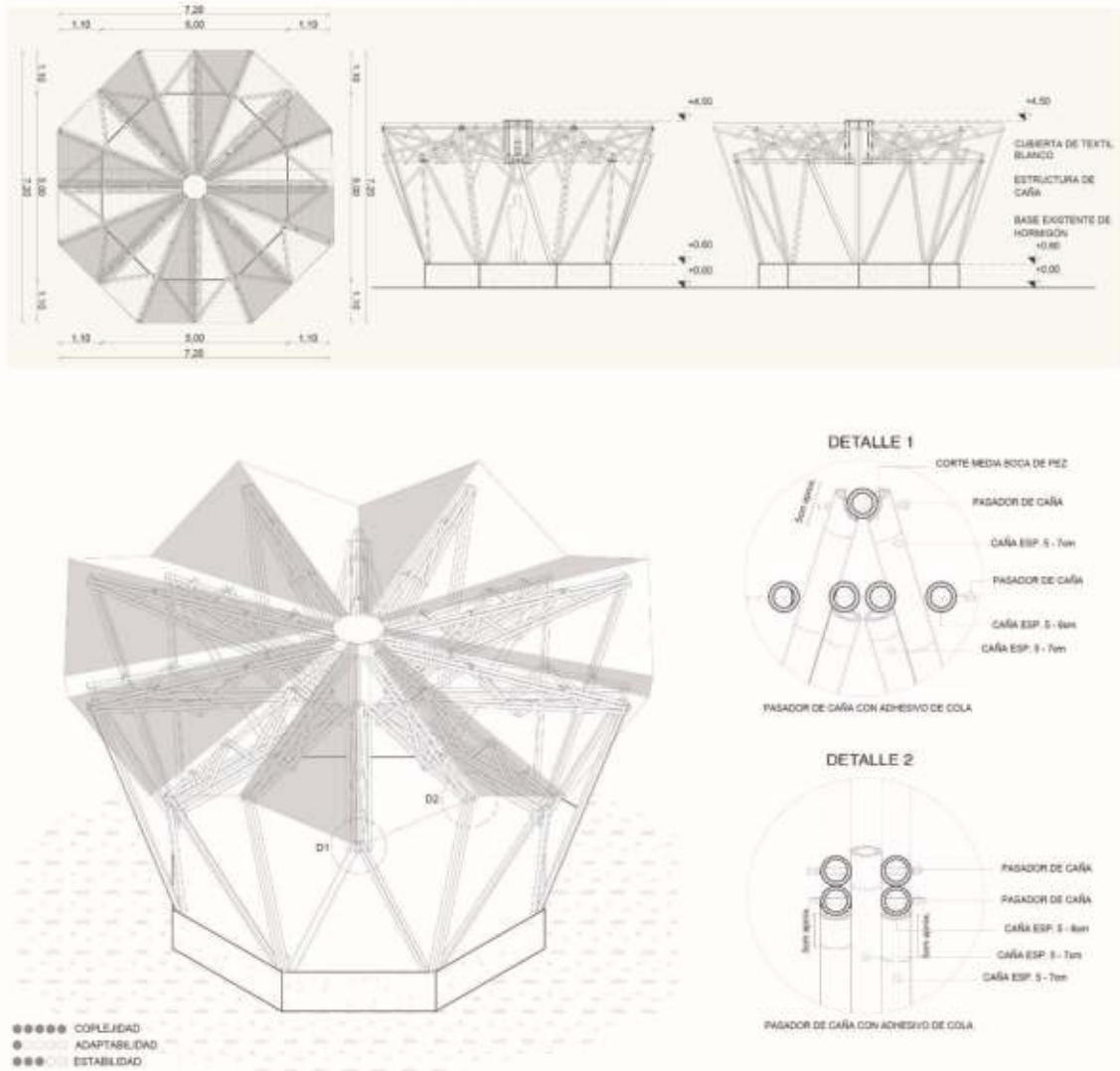


Figura 28. Vista del dispositivo final construido

- Fichas de hipótesis de proyecto

A continuación, se presenta la información sistematizada de dichas hipótesis.

PROTOTIPO 1

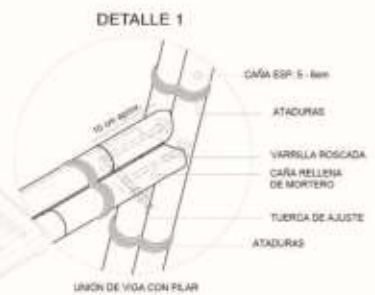
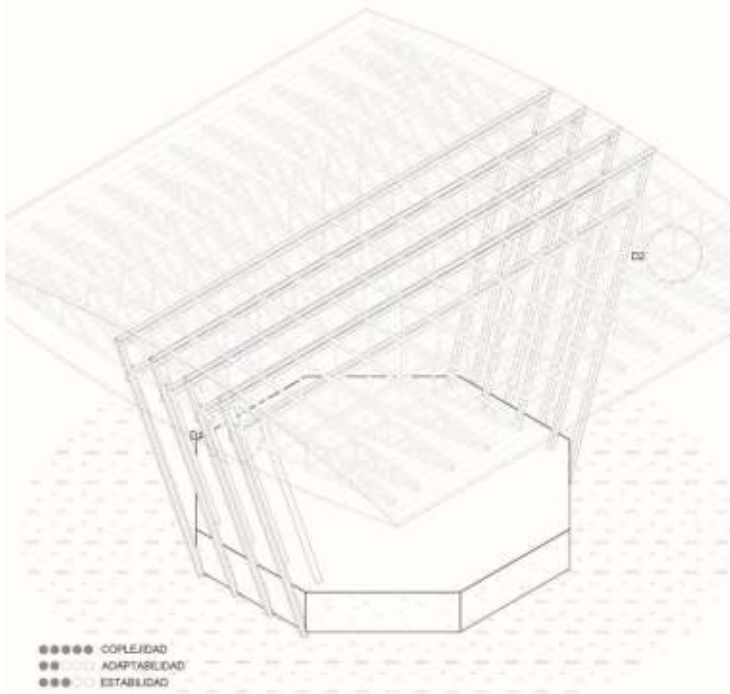
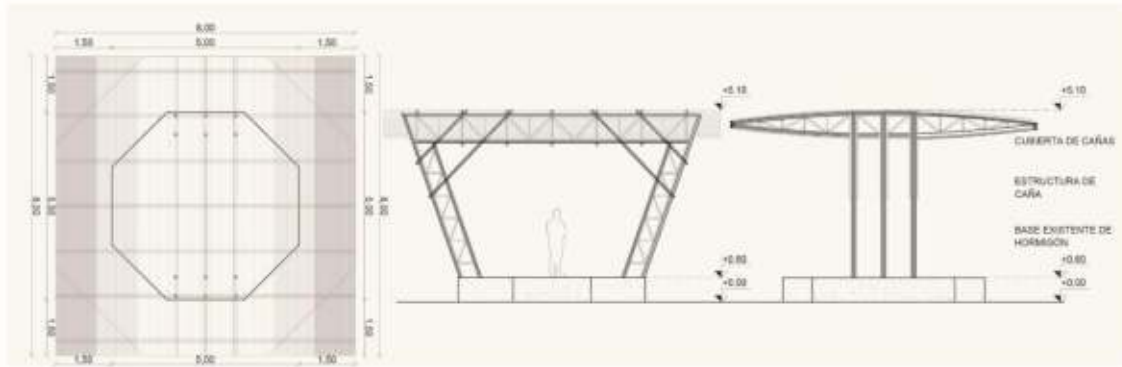


El sistema busca la adaptabilidad a la forma de la base existente, permitiendo generar una estructura octagonal agradable a la vista pero compleja, que funciona logrando cubrir el material de la lluvia y consigue salvar la luz de 7 m.

En un sistema complejo de ejecutar, se observan diferentes tipos de uniones en las que se busca resolver mediante el uso del mismo material como ejecutante, traspasándolo a través del mismo.

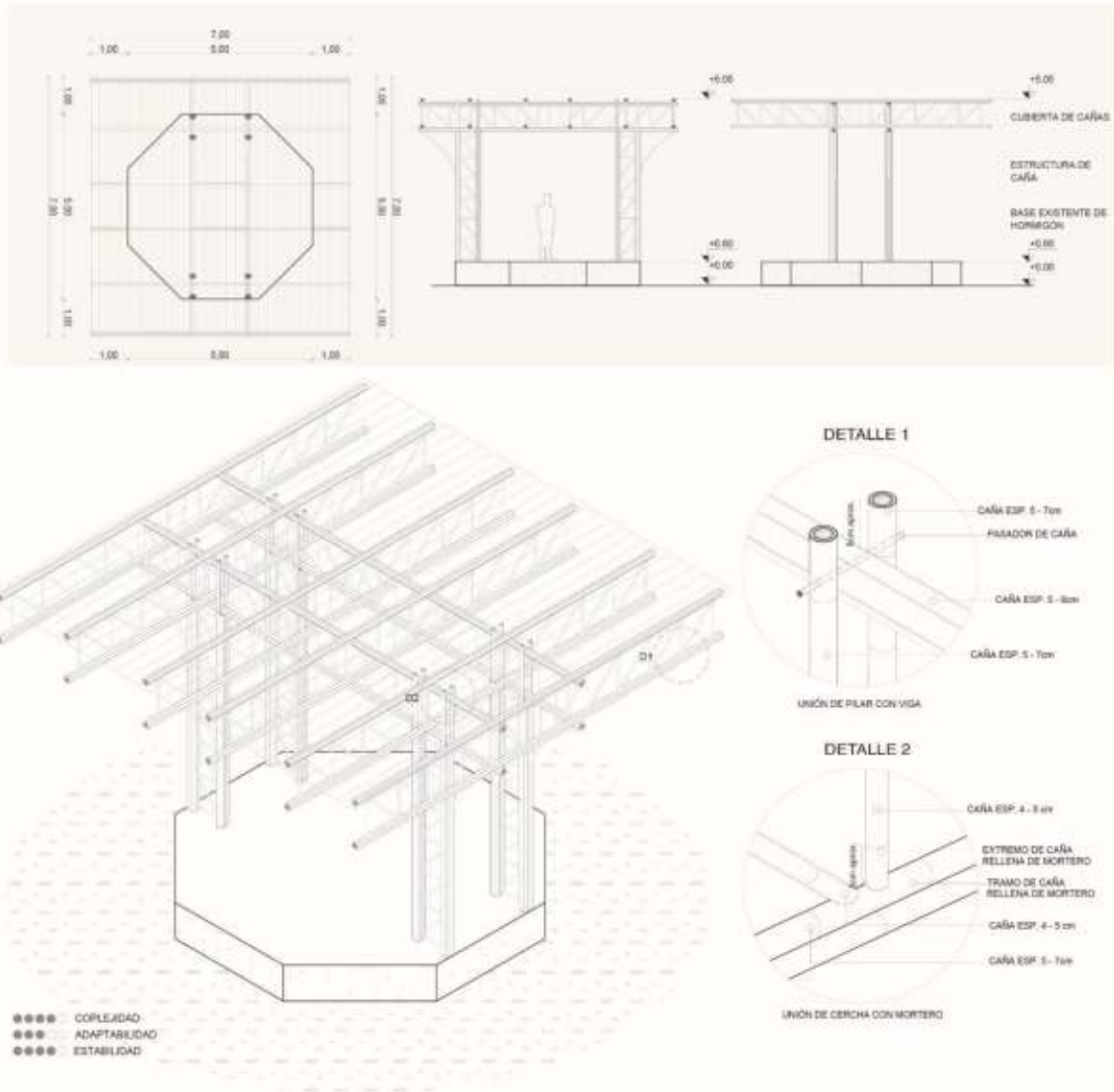
La principal dificultad que se encontró en este prototipo es la unión central, donde las cañas se deben unir para salvar dicha luz.

PROTOTIPO 2



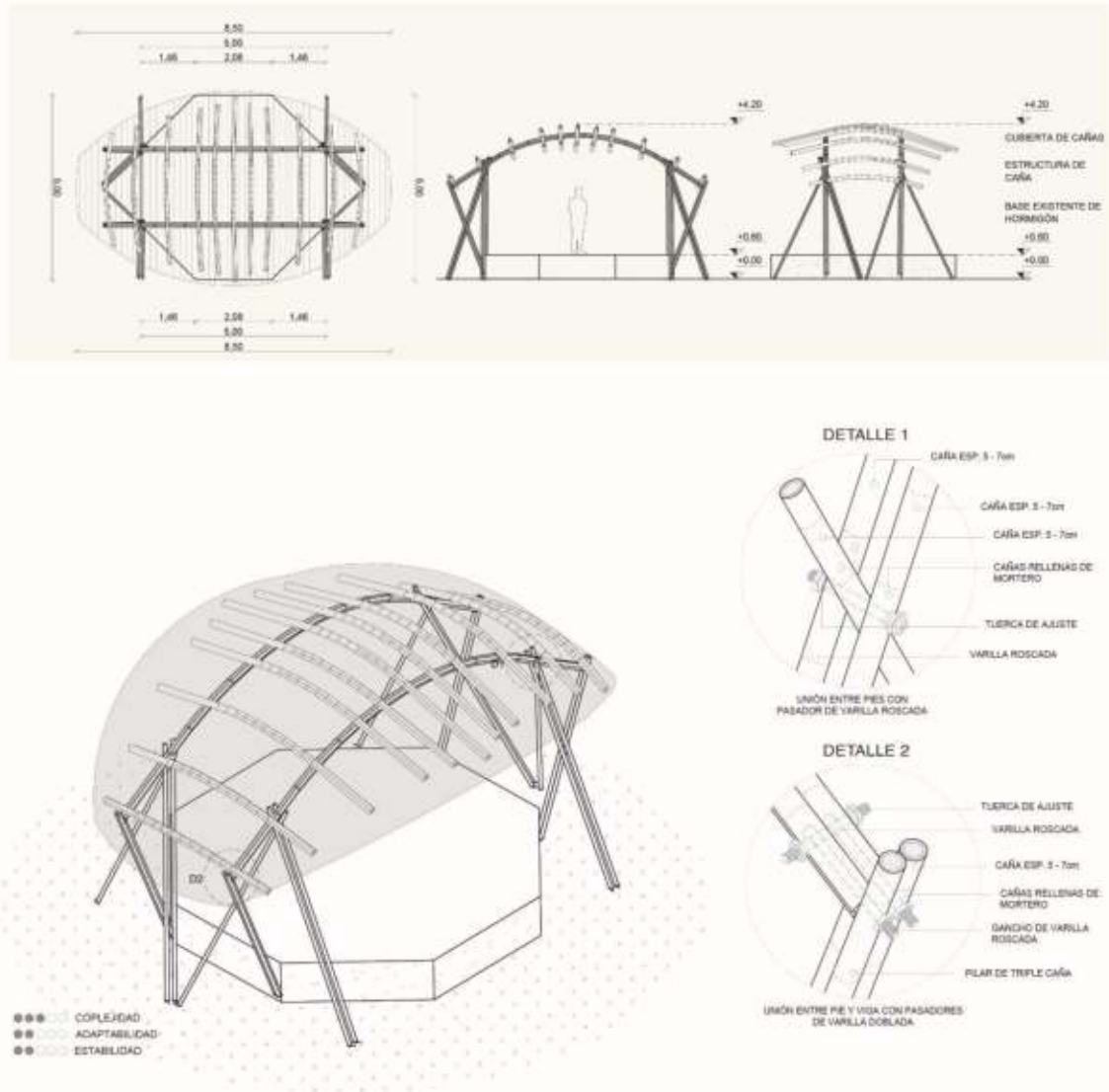
El sistema busca generar una estructura principal, compuesta por cuatro arcos. La forma de los arcos permite proteger la caña de factores climáticos como la lluvia es por eso la inclinación hacia afuera, estos arcos funcionan como sostén de lo que será la estructura de la cubierta. Sobre ella se apoyan vigas reticuladas que logran cubrir la base.

PROTOTIPO 3



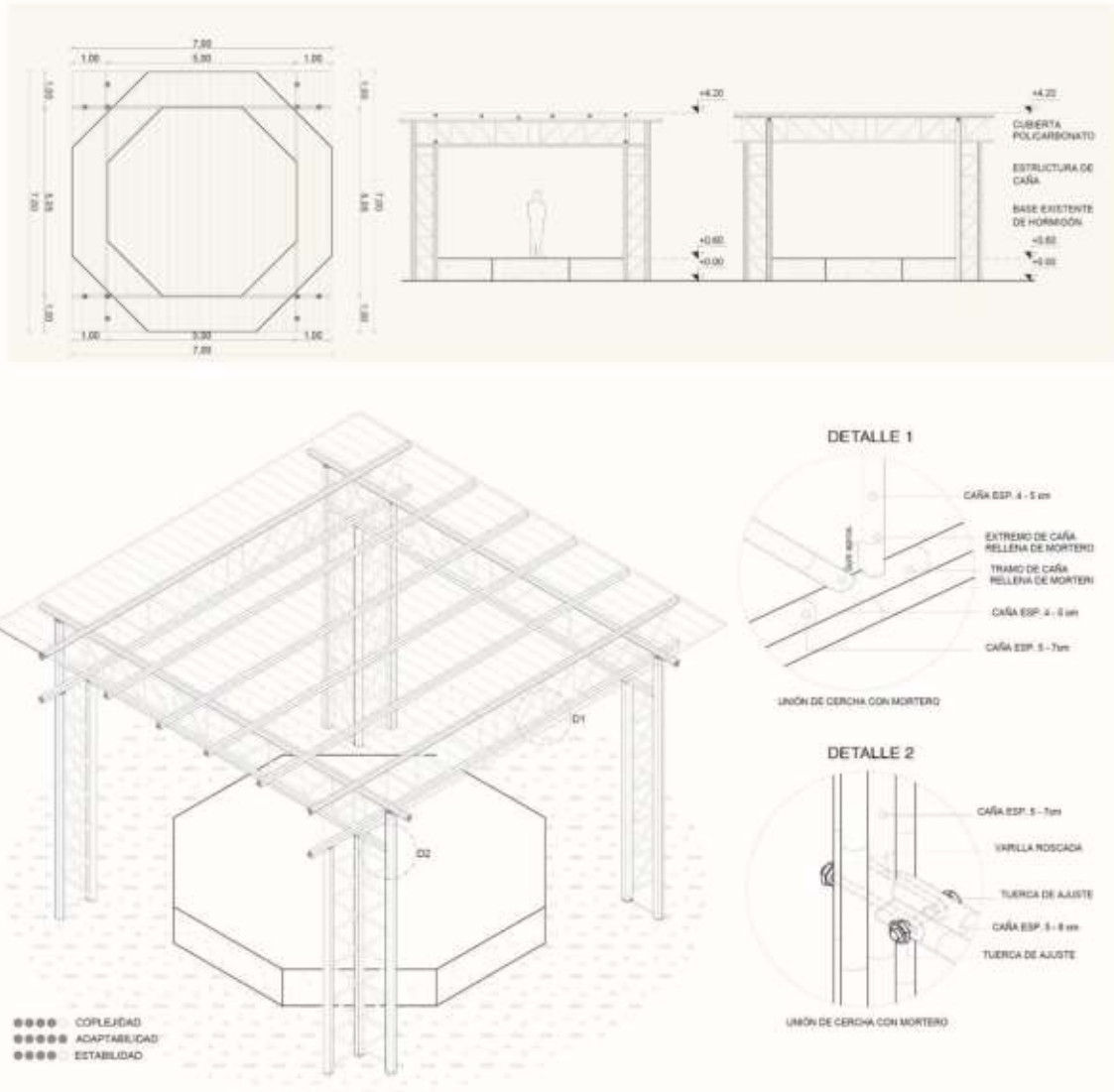
El sistema busca generar una estructura estable a partir de dos arcos principales de gran resistencia, estos arcos generados a partir de 20 apoyos de caña por pie son sostén de 6 vigas reticuladas formadas a partir de cañas. Formalmente esta estructura que salva una cubierta 7 metros logra generar un espacio amplio bajo la misma, consecuente de lograr direccionar un espacio para el uso del mismo. El volado de la cubierta permite resguardar debajo las cañas que componen los arcos, con el fin de protegerla de los factores climáticos que deterioran al material.

PROTOTIPO 4



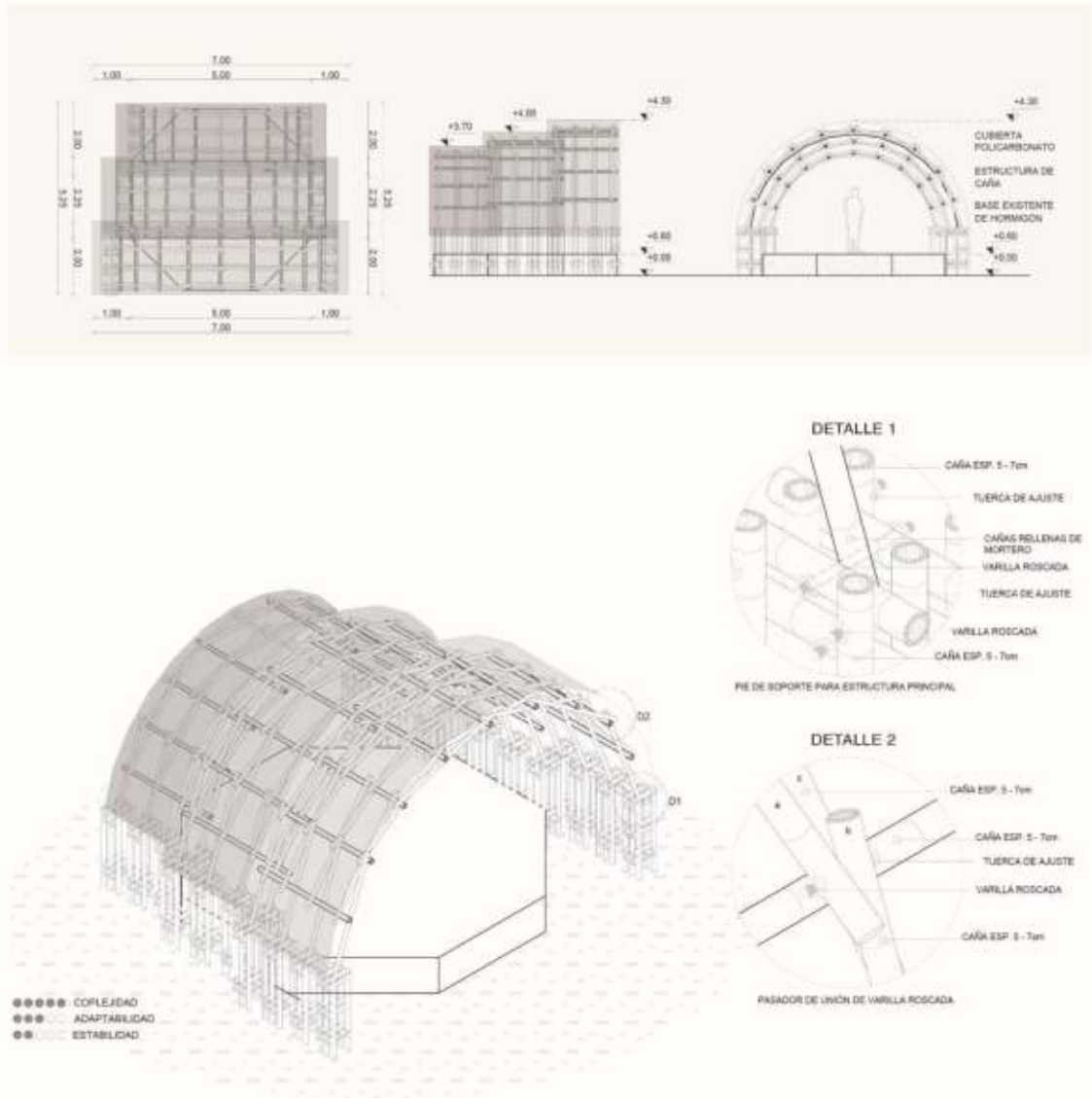
El sistema busca la adaptabilidad del material en función de la basa y para el uso que podría tener, dando direccionalidad y cubriendo la base principal. En este caso se busca utilizar el material de una forma curva en la cubierta y recta en los apoyos, las uniones en este caso son los principales puntos de riesgo.

PROTOTIPO 5



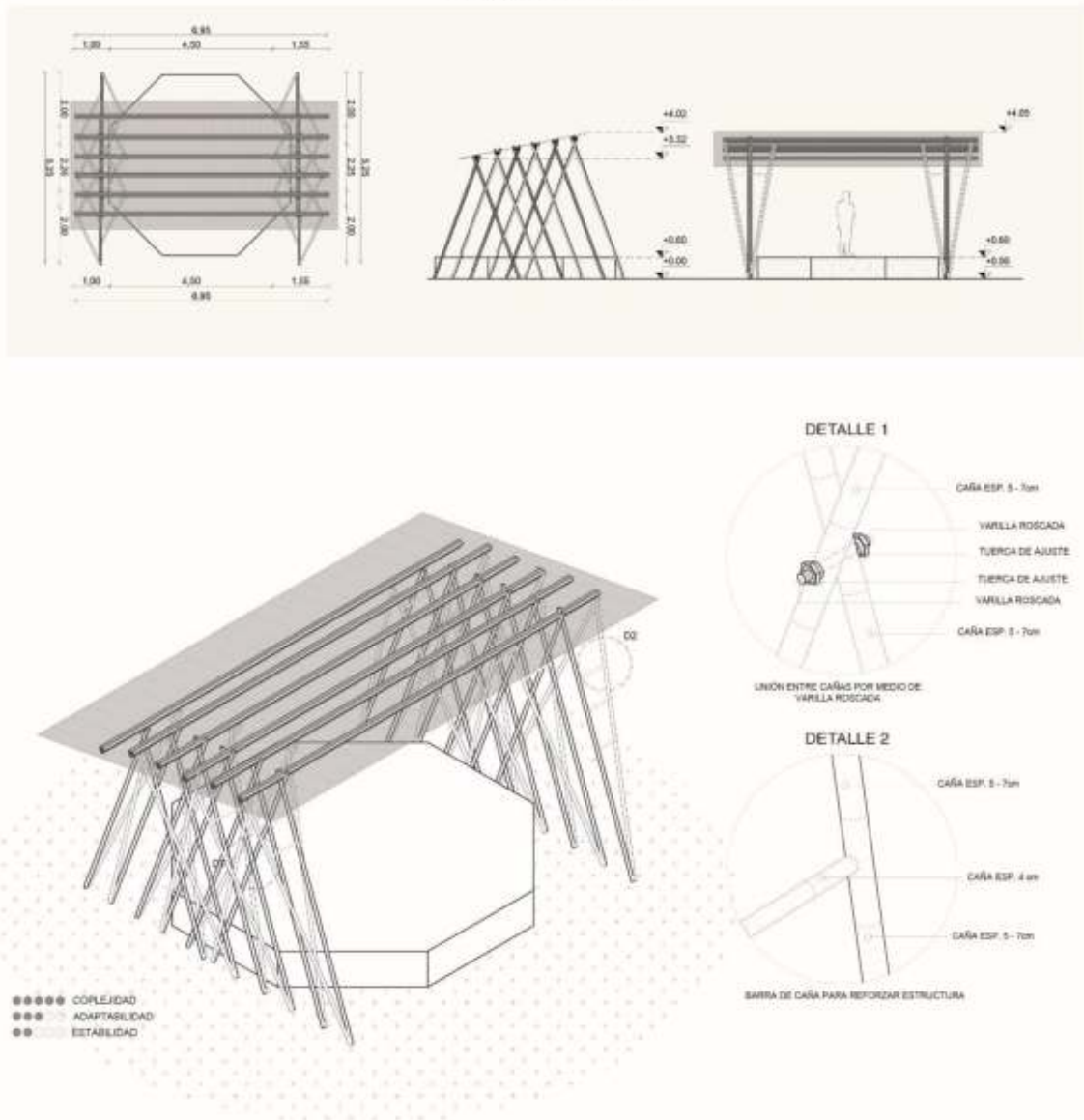
Se busco generar una estructura ordenada y discreta, que funcione con cuatro pies y logre salvar una cubierta de 7 metros por 7 metros. La estructura se compone por 4 pies reticulados que son sostén de 4 vigas también reticuladas, esta estructura de imagen sobria y contundente es sinónimo de las estructuras realizadas por Shigeru Ban con sus tubos de cartón.

PROTOTIPO 6



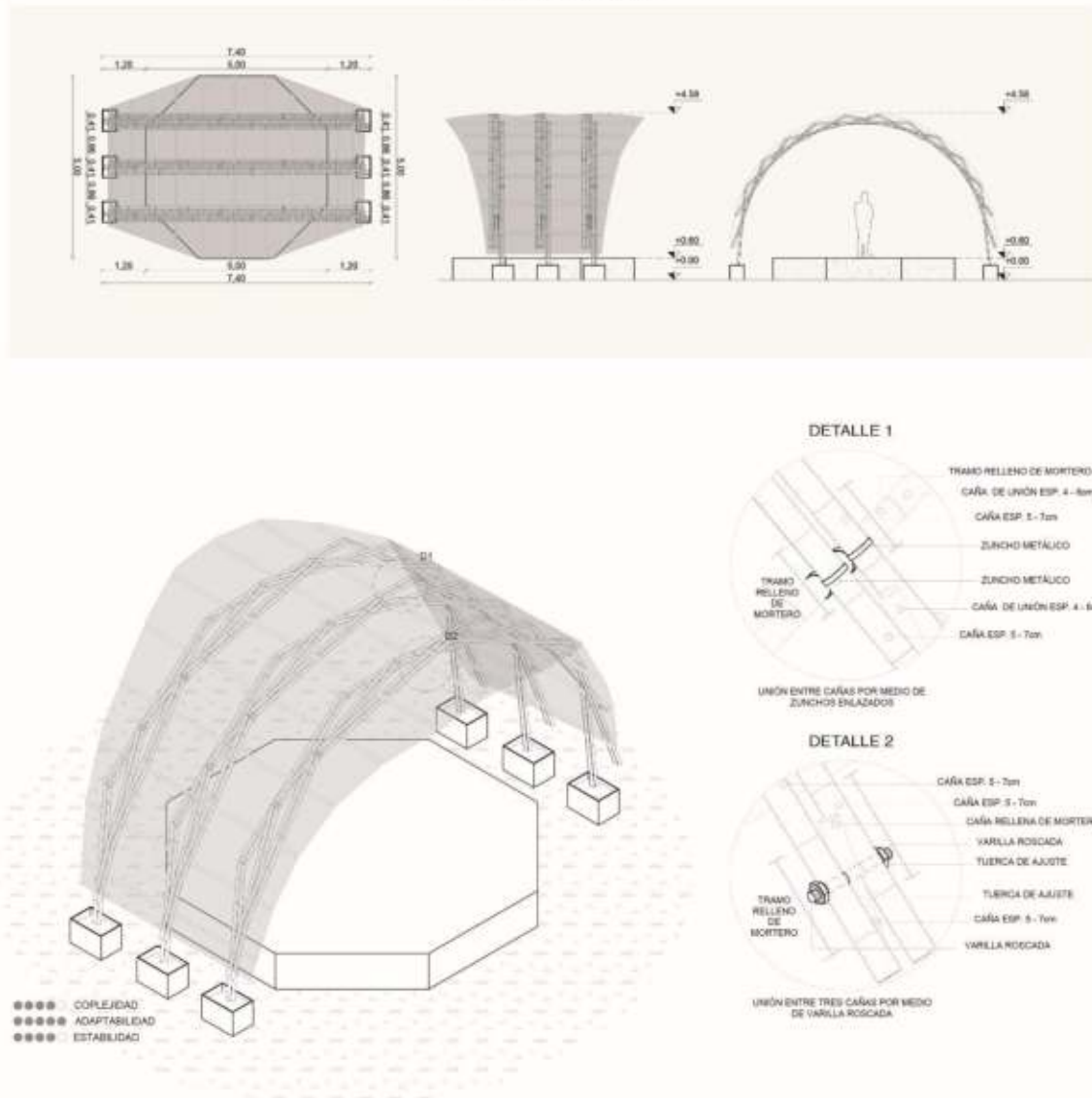
El sistema se basa en los principios de la estructura recíproca diseñada por Leonardo Da Vinci, "el puente", en este caso se busca utilizar este sistema pero generando tres puentes de distinto tamaño compuestos por cuatro arcos cada uno, buscando una mayor luz hacia el frente del escenario. Si bien podría funcionar estructuralmente, este sistema es muy complejo para llevar a cabo, la principal complejidad se puede observar en la llegada de la estructura al suelo, donde la unión debe ser de gran seguridad.

PROTOTIPO 7



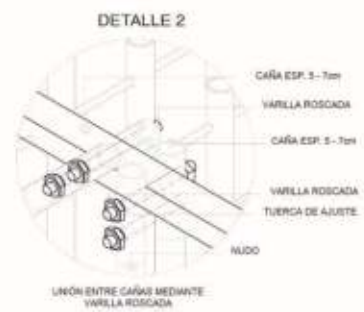
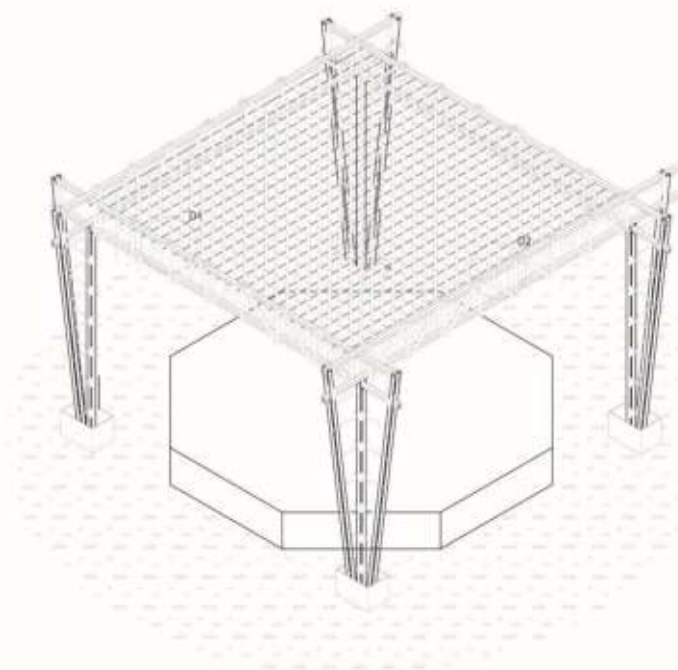
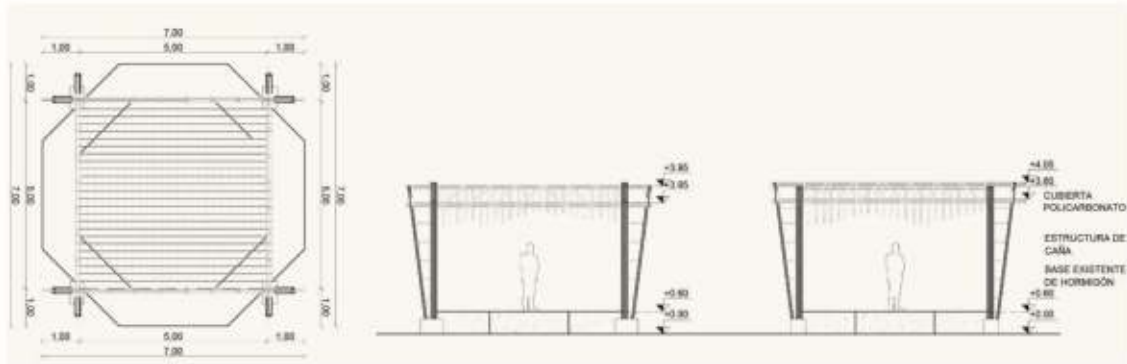
Este sistema busca generar una estructura que salve 7 m de luz en dos apoyos generados por cañas colocadas verticalmente y con una leve inclinación hacia los costados, siendo el encuentro de estas en altura el apoyo de vigas formadas por tres cañas que están sujetas en 4 oportunidades, esta cubierta genera una dirección de uso y logra cubrir en total la base.

PROTOTIPO 8



El sistema se basa en los principios de la estructura recíproca diseñada por Leonardo Da Vinci, "el puente", en este caso se busca utilizar este sistema pero en vez de un único elemento de madera se utilizarían dos cañas. En maqueta el sistema demostró un gran desempeño y soporte de peso sobre el mismo.

PROTOTIPO 9



Se buscó generar una estructura que lograra salvar una luz de 7 metros de largo, para ello y utilizando el bambú local se diseñaron 4 pies que funcionan como pilares que sostienen 4 vigas formando un cuadrado de 7 m x 7 m.

El pilar se compone por 9 cañas de gran espesor, 5 se ubican verticalmente y sirven de apoyo para las vigas y dos pares que se ubican diagonalmente para darle agarre a las vigas.

Como cubierta se desea emplear el sobrante del bambú utilizado y las cañas más finas que no se hayan empleado anteriormente para coserlas entre ellas y cubrir el espacio salvado por la estructura.

5. Discusión

5.1 De la revisión bibliográfica y las entrevistas

- Conocer sobre la fisiología de la planta.

Un tema mencionado en la entrevista al Ing. Agr. Gabriel Arenares y la revisión bibliográfica, fue la fisiología de la planta. Conocer aspectos de la fisiología parece trascendente.

Para determinar la especie se recurrió con plantas y fotografías al Jardín botánico de Montevideo, donde se determinó que se trataba de cañas *Phyllostachys Bambusoide*. No obstante, en la entrevista realizada al Ing. Agr. Gabriel Arenares surgió el matiz de que podría tratarse de la especie *Phyllostachys Aurea*.

En este sentido, Arenares remarcó la dificultad de determinar la especie de la planta. Se debe tener presente que no se cuenta con floración anual (algunas lo hacen hasta cada 120 años) y que hay sutilezas respecto a la distribución de los nudos y distancias de los entrenudos según la especie. No obstante, Arenares remarcó que se trata, en definitiva, de la familia *Phyllostachys*.

En este sentido, el Dr. Arq. Horacio Saleme también remarcó la dificultad que enfrentan los taxónomos para la clasificación de los culmos. En efecto Saleme manifestó que “considera dos especies de bambú: las que sirven para la construcción y las que no. Taxonómicamente no es correcto expresarse así pero prácticamente es una vía expeditiva de avanzar en las construcciones de bambú.”

- Saber cortar, saber secar

Dos temas de gran importancia son el corte y secado de los culmos. El corte es una instancia determinante para obtener material que sirve para la construcción. En este sentido, se hace referencia a tres aspectos trascendentales a tener en cuenta para el corte mencionados por varios autores y entrevistados: la edad de la caña (su edad), el momento de la caña en el año (que varía según la especie y la región) y el momento de la caña en el mes (definido por la fase lunar).

Con respecto al corte se observan matices en los procedimientos según las regiones, donde intervienen aspectos culturales, el desarrollo de las técnicas de cosecha, el desarrollo de la industria de la construcción con bambú, entre otros. En este sentido, se puede pensar que, en países con desarrollo de la construcción con bambú, el corte representa una instancia muy rigurosa.

Tal es el caso del relato del Dr. Arq. Jorge Lozano respecto al corte en Colombia. Lozano puntualizó que el procedimiento más popular de corte sugiere hacerlo entre las 4 y 5 de la mañana, cortando los culmos adultos, dejándolos entre 15 o 20 días para el avinagrado y finalmente extraerlos del bambusal para ser secados a la sombra y con gran ventilación.

En este sentido, el Ing. Agr. Gabriel Arenares matizó este relato manifestando que los aspectos culturales y laborales de Uruguay harían difícil la implementación de este procedimiento colombiano.

- Pensar con sentido

También se detectaron otras temáticas de interés de carácter conceptual como la sustentabilidad, el bambú como material alternativo y restaurador ecosocial y el bambú con usos didácticos en la práctica de la enseñanza de proyecto.

Sustentabilidad

En términos de sustentabilidad, parece razonable pensar en el bambú como una planta que, con su rápido crecimiento, permite una mayor productividad respecto a la madera tradicional. Se obtiene un material de grandes prestaciones para la realización estructuras y con una regeneración muy rápida de los bosques. En este sentido, Antúnez, Lozano y Saleme parecen coincidentes en esta visión.

En efecto, saleme sostiene que el bambú, con un manejo adecuado y responsable, puede preservar los bosques regionales.

El bambú como material alternativo y restaurador ecosocial

El bambú se presenta en algunas regiones como material de construcción alternativo, fundamentalmente en aquellas en las que la construcción aún no lo han adoptado. Esta situación no es tal para los países en los que el uso del bambú tiene una larga data.

En esas regiones o países, existe una producción de conocimiento científico y académico muy importante. Tal es el caso de Colombia que se refleja por ejemplo en el trabajo de Lozano, que ejerce como profesor y director del grupo de investigación de madera y guadua en la Universidad Nacional de Bogotá.

En otras regiones más al sur de América, aparecen desarrollos de conocimiento de diverso tenor. En Tucumán por ejemplo sobresale el trabajo académico de Saleme, quien ejerce como profesor e investigador en la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Su camino parece atender por momentos aspectos de la praxis profesional de la construcción y por otros, el cálculo y el estudio científico.

A nivel nacional, lugar de escasos trabajos respecto al bambú en la construcción comparado con otros países, Antúnez presenta una visión absolutamente enfocada en la praxis proyectual y constructiva. Aprender y desarrollar haciendo es su forma de generar conocimientos. La prueba y el error, es una práctica incorporada por Antúnez sin conflictos, asociada a una conciencia social que la llevan a pensar en el bambú como un potente material capaz general una restauración ecosocial.

En relación con lo anterior, esta investigación despertó el interés de algunos actores de la sociedad lacazina, manifestando su interés en el trabajo con el bambú. El aprovechamiento de una situación inminente de extracción de un bambusal silvestre para convertirlo en una estructura capaz de activar un espacio público en desarrollo, puso sobre la mesa aspectos de la sustentabilidad, la valoración de los bambusales y la capacidad que tiene el bambú de generar espacios arquitectónicos como material no convencional.

El bambú con usos didácticos en la práctica de la enseñanza de proyecto

En este punto se destaca la labor de Saleme que encontró en la realización de construcciones a escala 1:1 con bambú, un método didáctico para la enseñanza del diseño de estructuras. Los alumnos piensan, conciben, entienden y construyen sus estructuras de gran porte, cuestión que les permite entender aspectos vinculados a la transmisión de los esfuerzos al suelo.

5.2 Del corte y secado de culmos para esta investigación

Respecto a la cosecha para esta investigación, se tuvo presente la época del año (se cortaron en el mes de julio de 2024) y la fase lunar (los culmos se cortaron en fase lunar menguante). Para el secado de los culmos, se observó que la posición vertical favorece notoriamente el proceso y abre la pregunta si es posible secarlos dispuestos en forma horizontal. Es posible que quede agua contenida en los entrenudos del culmo que no se elimine por efectos de la gravedad.

Una vez secos, se observó que existían piezas de igual diámetro, pero más livianas que otras. Ello se debió a que, en el proceso de corte, se adquirieron tanto culmos jóvenes como adultos. Durante dicho proceso no se advirtió sobre la coloración y la presencia de líquenes, indicadores de adultez de las piezas. Tal como comentó Arenares en la entrevista, las cañas jóvenes son 90% agua y almidón por lo que tienen menor cantidad de materia seca.

Por lo anteriormente dicho, se obtuvo un 10% de culmos no aptos para estructura. Se trataban de piezas “acorchadas”, livianas y de poca resistencia en las fibras.

5.3 De los dispositivos de Unión

Se estudiaron 7 dispositivos de unión que se pueden dividir en los siguientes grupos:

- 1- Dispositivos que pueden trabajar a tracción
- 2- Dispositivos para extender o vincular piezas a tope que pueden trabajar a compresión, tracción y flexión.

Dentro del grupo 1 se confeccionaron 3 dispositivos en los que se observó que el N°3, es el más resistente al esfuerzo de tracción:

N°3 425kg – Dispositivo con cilindro de nylon + pegamento poliuretánico Würth.

N°2 375kg – Dispositivo con cilindro de nylon y paredes internas de culmo estriadas.

N°1 54kg – Dispositivo con cilindro de nylon que actúa por rozamiento contra paredes del culmo.

Dentro del mismo grupo 1, se realizaron otros ensayos para dos dispositivos contruidos con varillas pasantes y ganchos metálicos. De estos dispositivos, el N°5 es el más resistente al esfuerzo de tracción:

N°4 337kg – Dispositivo con varilla roscada pasante + gancho metálico

N°5 365kg – Dispositivo con varilla roscada pasante + gancho metálico + fibra de vidrio en paredes exteriores del culmo.

5.4 un decálogo para la construcción con bambú.

Una vez construida la estructura se observó que para salvar luces de 7m sin apoyo, es necesario diseñar con otras geometrías y vínculos. En este sentido se detectaron algunas deformaciones por flexión que hacen pensar en resoluciones estructurales de otro tipo.

No obstante, es posible pensar en incorporar el bambú en el proyecto y la construcción de estructuras. Para ello se deberá tener en cuenta la especie y el carácter de la construcción a realizar: efímero o permanente.

No obstante, se mencionan algunas estrategias proyectuales que surgen a la luz de esta investigación fundada en la construcción de un dispositivo, los ensayos, las entrevistas y la bibliografía.

- 1- El bambú no se puede mojar
- 2- El bambú no puede tocar el suelo
- 3- El bambú debe ser tratado contra insectos
- 4- Conocer la especie y su fisiología
- 5- Conocer los momentos y la forma de corte de los bambusales (cortes selectivos)
- 6- Aprender a mirar el bambusal para estimar tipos de piezas según su diámetro, conicidad y largo útil
- 7- Pensar la estructura antes que calcularla
- 8- Pedirle al bambú, en términos de proyecto, lo que puede dar
- 9- Contrarrestar con diseño lo que el bambú no puede dar
- 10- Optimizar el uso estructural del bambú en función de sus propiedades físicas y químicas

5.5 Reflexión final

Es posible proyectar y construir con cañas tacuaras. Para ello es necesario un conocimiento fisiológico básico de la planta para realizar los procesos de corte, acopio y secado de manera acertada, entendiendo la trascendencia de dichas instancias de tal modo, que marcarán la viabilidad material y el resultado matérico de un proyecto.

Vincular los culmos no es tarea sencilla. Ello exige estudios y técnicas que viabilicen los vínculos que permitan resolver estructuras y dispositivos de cualquier tipo. Como cualquier otro material, el bambú tiene sus particularidades de trabajo y su utilización y disposición dentro de un conjunto mayor representa un desafío que está lejos de agotarse en este trabajo de investigación. Por el contrario, este trabajo no es más que la inauguración de algunos temas de interés.

Debe tenerse presente que el proceso de proyecto y la construcción con bambú es un tanto más amplio que una mera resolución técnica. La proximidad del proyecto con la obtención del material (su cosecha), exige, como se dijo más arriba, un conocimiento de la planta y una conciencia real y genuina sobre aspectos de la sustentabilidad. Ello exige adoptar posturas con base en acciones fundadas sobre el manejo de los bambusales (silvestres o de producción) que permitan la preservación y la continuidad de los mismos y el desarrollo eficiente y eficaz del proceso de proyecto.

El bambú no es una plaga. ¡Lejos está de serlo! Por el contrario, es un verdadero material de gran versatilidad y utilidad, capaz de generar oportunidades sociales de supervivencia y fortalecimiento de actividades productivas con sentido. Será también de esas iniciativas, tal vez un poco alejadas de la actividad proyectual, que permitan conocer otras dimensiones de la planta, del material y, por qué no, del proyecto.

En definitiva, pensar en el proyecto de arquitectura con bambú trasciende lo material y lo matérico, trasciende la técnica y la construcción y adquiere dimensiones sociales, económicas y medioambientales.

Bibliografía

- (ISO), I. S. (2018). *Bamboo structures — Grading of bamboo culms — Basic principles and procedures*. Retrieved from 19624: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:19624:ed-1:v1:en:sec:A>
- Antúnez, A. (2024, octubre 22). (G. Martínez, Interviewer)
- Arenares, G. (2025, 02 27). (G. Martínez, Interviewer)
- Benítez, S. (2018). Materia y material. (R. Fernández, Ed.) *Thema*, 1, 33-42.
- Caffiero Dávalos, V. (2006). La madera ecológica del Siglo XXI. El bambú como recurso maderable sustentable. In c. t. Arquisur. Arquitectura.
- Campo Baeza, A. (2017). Proyectar es investigar. Mil razones para entender que un proyecto de arquitectura es un trabajo de. *Palimpsesto*.
- Cortés Cortés, J. C., & Takeuchi, C. (2010). *Transformación y producción de guadua laminada pegada prensada para el desarrollo de elementos estructurales* (Nº1 ed.). (O. Bolívar, Ed.) Bogotá, Colombia.
- D'Abbisogno, B., & García, F. (2016). Bambú. Técnicas para favorecer su utilización. Montevideo, Uruguay.
- Lozano, J. (2024, agosto 12). (G. Martínez, Entrevistador)
- Peña, C., Cabrera Paredes, A., Caro, M., Castro Thomae, A., Michelena, E., Rúgolo de Agrazar, Z., . . . Tokatlian, L. (2015). *Solución Bambú. Guía para el manejo sustentable del género Phyllostachys*. (C. Peña, Ed.) Tigre: Consejo Federal de Inversiones.
- Peña, J. (2020). *Jaimepenastudio.com*. Retrieved from www.jaimepenastudio.com
- Peña, J. (2025). www.instagram.com/Jaimepenastudio.
- Pereira, M., & Beraldo, A. (2008). *Bambú de corpo e alma*. Brasil: Canal 6 Editora .
- Saleme, H. (2024, setiembre 17). (G. Martínez, Entrevistador)
- Takeuchi, Caori; Luna, Patricia; Lozano, Jorge Enrique. (2010). Presentación. *Primer Simposio de Bambú y Madera Laminada*. Bogotá, Colombia.
- Torroja, E. (2008). *Razon y ser de los tipos estructurales*. CSIC.

Índice de Imágenes

Figura 1: Flickr. (2008). *Museo Nómada en el Zócalo [fotografía]*. Obtenido de <https://www.archdaily.cl/>: <https://www.archdaily.cl/>

Figura 2: toroide. (2024). *Casa de Pensamiento [fotografía]*. Obtenido de <https://www.instagram.com/p/DDQErlySoTS/>

Figura 3: Bambumex. (2011). *Bambumex [fotografía]*. Obtenido de bambumex.wordpress: bambumex.wordpress.com

Figura 4: istockphoto. (2016). *Bambucreto - bambu sustituyendo el hierro en la construcción civil [fotografía]*. Obtenido de bambushow.blogspot: bambushow.blogspot.com

ANEXOS

A continuación, se presentan los anexos como complemento informativo de esta investigación.

Se trata de documentación sistematizada y ordenada de la siguiente manera:

- **Registro fotográfico del proceso de construcción**
- **Registro fotográfico de la presentación**
- **Entrevistas**
- **Selección de Informes parciales**
- **Recaudos gráficos del proyecto construido**

Registro fotográfico del proceso de construcción













Registro fotográfico de la presentación











Entrevistas

A continuación, se presentan las entrevistas realizadas a diferentes actores, profesionales de gran significación.

15 de agosto de 2024

Entrevista al Dr. Arq. Jorge Lozano, docente e investigador Universidad Nacional de Bogotá

Participan en la entrevista

Jorge Lozano

Daniel Godoy

Gerardo Martínez

Presentación del tema y el desarrollo de la investigación a cargo de GM a Jorge.

DG: ¿Cuánto tiempo secan las cañas en condiciones colombianas?

JL: Aquí, el secado del Bambú, lo hacemos en la forma tradicional. Puede secarse a través de hornos o de forma natural.

De forma natural depende de la altura, la humedad relativa, la altura sobre el nivel del mar, que sea en áreas cubiertas y con muy buena ventilación. Estos elementos tienen un protocolo de corte.

En el eje cafetero lo que hacemos es cortar de acuerdo a ese protocolo.

Lo que define la resistencia y durabilidad del culmo, es el diámetro y el espesor de pared. Éste último es fundamental.

Yo hice una investigación sobre la *Phyllostachys Aurea*, que parece ser bien parecida a la *Phyllostachys Bambusoide*, con diámetros pequeños de 4 o 5 cm promedio y longitudes de 5m.

Hay algo bien interesante. El bambú es un pasto, es un bambú leñoso y está diseñado por la naturaleza para trabajar a flexión, por eso es que las respuestas arquitectónicas deben ser de tipo reticular.

Respecto al corte del culmo lo recomendable es hacerlo a mitad del menguante. El culmo se debe cortar a eso de las 4 o 5 de la mañana ya que la sabia se encuentra en la parte inferior de la plata y debes dejarlo en el sitio sobre algún elemento que lo separe de la humedad del suelo. Allí lo dejas para que salga toda la sabia y cuando empiezan a caerse las hojas lo retiras (entre 10 y 20 días dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura). Este proceso se llama avinagrado.

Este avinagrado lo hace más resistente al ataque de insectos.

El culmo tiene una conicidad muy alta. Pero tu puedes trabajar la parte baja, la parte media y la parte alta.

Se determina que la parte baja tiene la pared más gruesa, el mayor diámetro, pero tiene la menor resistencia.

Una vez que determinas las partes del culmo ahí ya puedes determinar los valores de resistencia a la tracción, resistencia a compresión paralela a la fibra y perpendicular a la fibra, corte y flexión.

En el rodal, tienes que escoger aquellas que tengan mayor diámetro. No te metas con las más delgadas.

Se determina a la altura de pecho y determinas el diámetro de unos 4,5 a 6cm (midiendo el perímetro). Menos que ese diámetro no sirve para estructura sino para otro tipo de trabajos.

Luego de cortada la guadua la sacas y la colocas en un suelo de cemento, o rocoso en un ángulo de 70° para que pierda agua. De esa manera comienza a perder peso.

Pruebas físico mecánicas.

Se debe determinar estudios para la parte baja, media y alta del culmo.

Por tiempos y costos puedes trabajar solo sobre la parte media y baja ya que la parte alta es la que tiene mayor resistencia.

Para cálculo estructural se utilizan los datos obtenidos para la parte media.

Compresión:

Se toman probetas sin nudo de la misma altura de acuerdo al diámetro.

Corte:

Se toman probetas con nudo y sin nudo con la misma condición que lo anterior, el mismo diámetro por el mismo alto.

Tracción:

Se toman probetas de 25cm de largo con nudo. Este ensayo genera muchas complicaciones con las mordazas para su realización. Aplicas la fuerza de tracción y la probeta tiene que fallar 5cm arriba o abajo del nudo. Esta deformación se puede tomar con un extensómetro.

Flexión:

Culmos con mínimo 20 veces el diámetro.

Por lo general se usa con dos tipos de carga, sobre los nudos y sobre los entrenudos.

No obstante, debes tener en cuenta que el bambú está diseñado para ser flexible, no son rígidos. El módulo de elasticidad es muy bajo. Quiere decir que el elemento horizontal no puede ser muy largo, porque se va a deformar.

Cuando calculas la estructura, las deformaciones admisibles son muy bajas, de 1 o 2 cm y ahí ya no sirve el elemento que estás utilizando.

Yo te recomiendo estudiar estructuras recíprocas, como las de Leonardo Da Vinci.

Respecto a los ensayos, rigurosamente son 30 ensayos de cada esfuerzo por cada parte del culmo.

Respecto a la *Phyllostachys Bambusoide* parece ser un culmo que tiene una distancia bastante importante entre bandas anulares. Por lo que veo en la fotografía es entre 40 y 50 cm. Esas fibras

entre bandas anulares son muy largas y eso hace que no puedas clavar ningún clavo o puntilla. Si quieres meter algún elemento debes hacer perforación previa.

En los ensayos cuando falla el elemento, sacas una muestra de 2x2cm y lo metes al horno y sacas el contenido de humedad. Es importantísimo tener el contenido de humedad.

Entre más humedad tiene el culmo, tienen una menor resistencia.

La norma colombiana dice que el contenido de humedad no puede ser mayor al 19% para elementos estructurales.

Recomendaciones de proyecto y sistemas constructivos.

El sistema constructivo que te recomiendo es triangular. Tienes que triangular todo. Es una figura indeformable.

En aquellos elementos que trabajan a compresión puedes colocar 2 o 3 elementos, por ejemplo, en las columnas. Pero hay algo bien importante. Esto se llama columnas compuestas.

Algunas consideraciones:

Cuando colocas dos culmos estos tienen que tener un entrenudo en la parte superior, uno en la parte inferior y dos entre medio para que el elemento no falle por flexión. Preferiblemente utilizar triángulos.

Con respecto a la impregnación:

Hay muchos elementos a tener en cuenta. Cuando escoges el culmo no puede ser muy joven. Estos son de un verde intenso, brillantes, estos no sirven.

Debes utilizar algunos culmos que tengan entre 4 y 5 años. Estas presentan líquenes, que tengan un color muy particular. Debe tener la mancha gris que es una combinación entre hongo y halga que le proporcionan un aspecto pecoso. Estas funcionan.

Aquellas epidermis que encuentres con un hongo rojo ya se consideran viejas.

La manera de trabajar es un pentaborato.

Ácido bórico 3%

Bórax 3%

En 1 litro de agua debes colocar una cucharada sopera de ácido bórico y una cucharada sopera de bórax.

Esto sirve para los insectos.

La impregnación tiene que ser por inmersión. Se pasan los entrenudos con una varilla de 3/8 con una rosca en la punta y rompes todos los entrenudos. Así las sumerges.

El ataque más severo son los insectos.

Uniones:

Hay algunos autores, arquitectos que hacen uniones con mortero. Llenan los entrenudos con mortero. Pero esto no sirve. Cuando viertes el mortero, habiendo hecho dos perforaciones para que salga el aire ese mortero queda suelto. Al cabo del año ese pistón está funcionando óptimamente porque la pared del culmo se contrajo y queda presionando ese pistón. Pero al cabo de dos años, el culmo sigue su proceso de retracción y se raja. Y si se raja entra hongos y humedad y hay pudrición. Digamos que el mortero baila bolero y el culmo baila salsa.

Lo mejor es algo que hace Shigeru Ban que son uniones con madera o utilizar culmos más pequeños para engrosar las paredes.

El esfuerzo a compresión es fácil de solucionarlo.

El problema es a la tracción.

Hay un sistema que lo puedes plantear que es pre-tensionar el culmo, con una varilla de 3/8 con rosca en los extremos, esta varilla no la deja alargar. Hay que considerar que el extremo de la varilla, al unirse con otra es “como una articulación” Entonces lo que puede hacer es generar una articulación mediante una platina y un elemento pasante que vincule la varilla con la platina anteriormente mencionada.

Otra solución es utilizar unos tacos de madera, de pino, por ejemplo, que puedan colocarse en las puntas de los culmos y de esa manera evitar problemas de aplastamiento o rasgamiento que surge con el esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.

GM. Con respecto al tratamiento para insectos: ¿cuánto tiempo hacen la inmersión de la guadua?

JL. Por lo general es 5 días. Luego que lo haces lo sacas y lo dejas a 70°.

GM. Nosotros no tenemos recursos para hacer una pileta.

JL. Nosotros tuvimos el mismo problema. Acá conseguimos una piscina. Lo que sucede es que esa sería una investigación a parte. Esta no es tu tesis.

Lo que tienes que ver es el acabado. Tienes que darle una terminación contra la humedad. Ahí yo recomiendo un barniz holandés. Este barniz es aceite de linasa, prementina, puedes colocar ácido bórico y bórax y una tintilla que oscurezca un poco para que la luz ultravioleta no quemé la pared.

No obstante, este es una investigación relacionada con la estructura.

Ahora tienes que caracterizar cada culmo, debes sacar el diámetro inferior y el diámetro superior en los largos de 4 o 5m y determinar conicidad.

Cuando triangulas debes tener en cuenta que en las uniones tienes un esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra. Esto produce un aplastamiento que puedes solucionar con un entre-nudo de manera de repartir el esfuerzo. Esto ya es a nivel de detalle constructivo.

Probetas para flexión

Las probetas deben ser 20 veces el diámetro. A mayor relación entre largo y diámetro el elemento va a fallar a flexión. Se colocan las dos cargas, se mide la deflexión te va a permitir calcular el módulo de elasticidad.

También puedes sacar el módulo de elasticidad con un ensayo a la compresión.

Lo más importante es que caracterices el culmo:

Diámetro superior, diámetro inferior, largo, conicidad, distancia entre nudos, contenido de humedad.

Sería muy bueno que fueran 30 pruebas porque es comparativo.

El más dispendioso es el ensayo de tracción

DG. Para el ensayo de tracción, ¿la mordaza cómo es?

JL. La mordaza es dentada. Es como la mordaza de madera, pero debemos amarrarlas bien para que no haya deslizamiento. Si determinas que vas a hacer 30 ensayos, debes cortar 45 probetas.

Se desplaza la mordaza, se plasta la fibra, se rasga por dónde no es. Es importante que rasgue por el nudo. Tú tienes que cortar una tira del culmo. En la parte interna te queda el tejido de la guadua y en la parte externa te queda la epidermis.

DG. Entonces la probeta es una pieza levemente curva del pedacito que sacamos.

JL. Exacto, es un pedacito. Lo importante es que falle por el centro.

GM. ¿el color es un indicador de humedad? Nosotros consideramos acá que el color de un culmo seco es el amarillento.

JL. No. Hay dos cosas importantes.

La humedad y la edad. Las de color verde intenso no sirven. Las cañas tienen que tener líquenes y eso lo debes limpiar con arpillera.

Si tú quieres que sea amarilla, después de que pasa por el proceso de impregnación la pones al sol unos días y obtienes el color dorado.

Otra cosa que es bien importante es que la guadua aguanta muy bien la flexión. Si tu la curvas, mejora las condiciones físico mecánicas. Por eso puedes ver en filipinas algunos elementos curvados. Acá en Colombia vimos que la curvatura es el 20% de la longitud sin que se aplaste el entrenudo.

Esta curvatura se hace colocando los apoyos y en los tercios vas colocando cargas hasta conseguir el 20% de deformación. Esto da una deformación desigual en la longitud. Si tú quieres que esta curvatura sea permanente debes hacerlo con agua caliente y cuando se enfría ya queda con esa deformación.

Una cosa importante es que, si tu deformas por ejemplo un 25%, luego cuando terminas el proceso la deformación adquirida será de un 18% aproximadamente. Con curvas puedes vencer luces más grandes.

Importante: como es la primera investigación de esta especie, yo sugiero que las pruebas se puedan realizar con el mayor número de probetas posible.

DG. Como tiene un producto final mostrable, se puede mostrar con mayor impacto. Planteamos poder caracterizar por rigor científico, y lo otro con un artefacto que puedes mostrar.

JL. Si claro, lo importante es probar lo morfológico, considerando estructuras recíprocas, culmos curvados, triangulaciones, etc. Etc. Si haces un pórtico recto, con el elemento como tal seguramente se va a flexionar.

GM. ¿Usaron uniones con fibra de vidrio?

JL. No. Acá estas resinas son muy costosas. Si usamos poliestireno mezclado con gasolina y viruta de guadua, eso genera un taco muy rígido.

Pero por lo general, las uniones que hacemos son una varilla que pase el entrenudo y colocamos un perno pasante.

No le mestas mortero. El mortero no sirve.

Hay un libro que es una tesis doctoral de una arquitecta inglesa que se llama “reciprocal frame architecture” de Olga Popovic Larsen

17 de setiembre de 2024

Entrevista al Arq. Horacio Saleme / Profesor consulto UNT en “Diseño Estructural”

Participan en la entrevista.

Horacio Saleme

Gerardo Martínez

GM: presenta la investigación denominada “Prácticas de proyecto a partir de cañas tacuaras (*Phyllostachys Bambusoide*) en la que comenta las primeras dificultades respecto a conseguir el material, a no haber una producción de la misma, a cuestiones culturales y falta de conocimientos.

HS: Yo me imagino que en Uruguay hay bambú, pero no en la cantidad suficiente como para disponer en forma regular e inmediata una cadena productiva que asegure la provisión regular del material. Eso es una actividad diferente del desarrollo de obras de bambú. En general, en nuestros países, la adquisición del material es la principal dificultad cuando uno quiere trabajar con el mismo. Acá en Argentina, cuando uno no puede ir al corralón a comprar el bambú, la gente pierde interés en usarlo porque le resulta incómodo salir a buscarlo en los bambusales, donde estén. No obstante ello, está creciendo mucho como en zonas de la Mesopotamia y en el mismo Tigre, Pvcia. de Buenos Aires. En Córdoba también hay valiosas experiencias. Yo llegué al bambú por el diseño estructural, buscando mejorar la sismo-resistencia de las viviendas rurales en Tucumán, en el marco de actividades de Promoción Comunitaria de la UNT. Al verificar que los campesinos lo usaban aun en forma miserable, consideramos que el tema era enseñarles a que lo hagan bien, tecnológica y plásticamente. Se trataba de aprovechar la experiencia que tiene el campesino en su uso, aunque él lo haga de forma precaria, para promover las técnicas apropiadas para la construcción con bambú ya que es un material sustentable por antonomasia, el más rápidamente renovable de la naturaleza.

GM: considerando algunos problemas como aspectos culturales de la región, pensando que es una planta que no abunda, ¿por qué insistir con el bambú?

HS: En realidad es una planta que abunda y que se la puede difundir en términos razonables de tiempo. El bambú es una gramínea leñosa arborescente. No hay vegetal que crezca tan rápido como el bambú y, además, cuando lo utilizamos, sacamos los culmos más maduros, dejando los nuevos. Por lo tanto, nunca desaparece el bosque. Esto es una diferencia sustancial comparado con la producción de madera, en la que se espera que el bosque crezca y al momento de explotar se lo arrasa todo.

El bambú, una vez plantado, si lo exploto racionalmente y con las técnicas apropiadas, continúa en producción prácticamente “sine die”. Obviamente hay técnicas silviculturales para asegurar que las cosas se den así. (técnicas de implantación, modulación de la mata, etc.)

Más allá de la belleza de las construcciones de madera tradicional, la gran ventaja del Bambú es que puede salvar los bosques por su rápido crecimiento y por la permanencia del bambusal, aun explotado, si se lo hace racionalmente y con procedimientos adecuados. Así podríamos garantizar construcciones sustentables de calidad sin continuar con la explotación de los bosques. Su misión en gran medida es salvar a los mismos.

Teniendo en cuenta que es un material leñoso (gramínea leñosa arborescente), muy adecuado para uso en la construcción su uso es una manera de garantizar una arquitectura sustentable, amable con el medio ambiente que disminuya sensiblemente el calentamiento global, garantizando la sustentabilidad.

Por supuesto, hay que estudiar mucho para ello. Hay que tener taxónomos que lo conozcan para clasificarlo, y de silvicultores que generen conocimientos para plantarlo de determinada manera. Uno de los problemas del bambú es que hay más de 1.500 especies y no hay tantos taxónomos que los puedan clasificar, pues la mayoría de las especies florecen en períodos de tiempo muy prolongados (al no disponer normalmente de la flor es difícil clasificar las especies). Por esta razón es muy común que los taxónomos no se pongan de acuerdo en la clasificación de algunas especies.

Entre las taxónomas más destacadas del mundo está la Ing. Ximena Londoño. En la Argentina, una de las personas que más ha estudiado el Bambú es la Dra. Zulma Rúgolo del Instituto de Botánica Darwinion. Yo suelo decir de un modo pragmático, que, como arquitecto, considero dos especies de bambú: **las que sirven para la construcción y las que no**. Taxonómicamente no es correcto expresarse así pero prácticamente es una vía expeditiva de avanzar en las construcciones de bambú.

Hasta que se establezca una cadena productiva, procedo así:

- Determino el bambú que tengo disponible (siempre hay que partir de lo que hay)
- Determino la cantidad que tengo
- Lo ensayo dentro de las posibilidades que tengo
- Diseño para ese bambú

Pienso que diseñar la estructura es lo primero. La cuantificación es importante, pero el cálculo numérico clásico no suele ser el más apropiado, porque ningún sistema es más preciso que su dato más débil. Con el bambú las “borrosidades” de los datos son tantas, que un método puramente numérico crea la ilusión de precisión, cuando la realidad pasa por otro lado. Eduardo Torroja, un ingeniero estructuralista muy importante, decía que antes de calcular una viga hay que preguntarse si va una viga u otra cosa, él habla de colocar el conjunto en sus adecuados dominios. Esto es particularmente relevante con el bambú.

Sumado a lo anterior, como los datos son muy variables se utilizan coeficientes de seguridad importantes que hace que toda la condición de cálculo sea borrosa e hipotética. En una conferencia el año pasado escuché a un ingeniero decir “que en realidad la única estructura que sabemos exactamente su resistencia y tensiones es la que se rompe”, todo lo demás es muy incierto por los grandes coeficientes de seguridad. El peligro del número es la ilusión de precisión que nos da cuando los datos son borrosos.

Respecto al bambú, al ser un material natural y que las más de las veces se usa tal cual lo encuentro en la naturaleza, los ensayos arrojan una dispersión de valores muy grande. Por eso el diseño es determinante. Es un material que tienen un gran potencial, que favorece la biodiversidad, consolida suelos, crece muy rápido, etc. y sería desatinado no aprovecharlo. Requiere tenacidad y paciencia.

Lo primero es determinar de qué bambú dispongo y en función del mismo diseñar la estructura.

En términos de diseño, a veces veo en internet estructuras de bambú muy interesantes, pero parece que se olvidaron que hay que protegerlas de los agentes externos. Las estructuras tienen que durar. Para eso hay sistemas que lo garantizan y otros muy novedosos o formalmente ricos que no. He visto en Colombia, viviendas con estructura de bambú con más de 100 años porque usaron las formas y los procedimientos adecuados.

Todo material impone sus reglas de juego. El buen artista le pide al material lo que el material puede dar y neutraliza con diseño lo que no le puede dar.

El bambú es un material que tiene una gran resistencia a la tracción y a la compresión (asumiendo la condición de pandeo en este último caso) y la flexibilidad que, en zonas sísmicas como en Tucumán, significa una buena solución estructural por su capacidad para disipar la energía. Pero esta flexibilidad puede ser contraproducente, porque si es muy flexible puede afectar su funcionalidad y no me sirve para hacer una viga, por ejemplo, entonces tengo que diseñar y neutralizar con diseño esa limitación. Para los ingenieros y los arquitectos, el diseño estructural es la base.

GM: ¿qué referentes o publicaciones ha manejado para construir su conocimiento?

HS: Los libros “Razón y Ser de los tipos estructurales” de Eduardo Torroja y “Formas Estructurales en la Arquitectura Moderna” de Curt Siegel son dos ejemplos que fundamentan lo que estoy diciendo, en lo que hace al Diseño Estructural en general. Para el Bambú propiamente dicho están los libros de Oscar Hidalgo, las publicaciones del INBAR, además de un libro de mi autoría titulado “Tipos Estructurales Apropriados para las Arquitecturas de Bambú”.

Mientras era estudiante me tocó asistir a un seminario en la Universidad de Stuttgart que lo dictaba Siegel y cuando me recibí tuve la suerte de conseguir una beca para trabajar con él.

A partir de esto y yendo nuevamente a la pregunta por qué caigo en el bambú, puedo decir lo siguiente: hace mucho tiempo atrás, existía en la universidad de Tucumán un proyecto universitario de promoción comunitaria en el que me piden organizar algo para enseñarle a la gente del campo para construir en zonas de alta sismicidad. Yo ya había estudiado el diseño sismo-resistente para los materiales clásicos en la estructura en arquitectura, insisto que lo esencial es el diseño y en sismo es eso o nada (ningún gran calculista podrá darle seguridad a un edificio mal concebido).

Cuando recorro algunas construcciones me encontré con unos ranchos miserables de bambú que estaban en pie. Entonces dije, ahí está la solución. Como no había plata para estudiar en la universidad, comencé a trabajar con los estudiantes y descubrí una confluencia de factores. Ellos podían ser la mano de obra de modelos en escala 1:1 y que ellos diseñen y verifiquen sus trabajos antes de calcular. Encontré en el bambú, un poderoso instrumento de enseñanza. Los estudiantes se podían trepar a la propia estructura que habían hecho lo que significaba un incentivo que los liberaba de los prejuicios y de los caprichos formales.

A mí me tocó dar clase y conferencias en Colombia, lugar donde están los grandes maestros. Pero el problema era que la arquitectura de bambú era la arquitectura de los pobres. Sumado a esto, apareció un “genio” como Simón Vélez que comenzó a trabajar con el bambú, pero al principio para los narcos, entonces las sociedades de arquitectos y las universidades rechazaban este material por relacionarlo con el narcotráfico

Cuando se enteraron que yo enseñaba a Diseñar Estructuras de Bambú en la Universidad me invitaron a que cuente mis experiencias. La lección para muchos fue superar los prejuicios sobre el bambú y convencerse que merecía ser estudiado como material de construcción en la Universidad y utilizarlo para obras de calidad.

Yo he desarrollado algunos tipos estructurales apropiados para el bambú y algunas técnicas constructivas.

Las obras concretas que hice fue un galpón de 10 x 30 mt y un modelo de una casa de 70 m², en la misma facultad además de los prototipos experimentales de distintos sistemas estructurales a escala 1:1 que durante 15 años realizamos con los estudiantes. En la Reserva Experimental de Horco Molle (UNT), también hicimos diversos tipos de quinchos para sus actividades específicas.

La obra más relevante por su escala y función fue un Centro Educativo y de Promoción Comunitaria, proyectado y construido con estructuras de Bambú para Santa Lucía, Depto. Monteros de la Pcia. de Tucumán.

Como yo no podía ir todos los días a la obra por la distancia utilizamos un tipo estructural que iba variando su altura de acuerdo a la luz que tenía que salvar. Un verano se comenzó el primer módulo en el que se iniciaron las clases y mientras tanto se hacía el segundo. Se siguió así hasta terminar el sector áulico y administrativo.

Para mostrar otras posibilidades de diseño con bambú la ermita de la Virgen Patrona se realizó con formas más libres, lo que requería mayor atención.

Yo digo siempre:

La obra de arte es una alianza entre una materia y una inteligencia. Cuando la inteligencia del artista le pide a la materia lo que puede darle y neutraliza con diseño sus limitaciones, entonces surge la obra de calidad.

El tipo de bambú y la mano de obra también es determinante. Simón Vélez utiliza siempre el mismo equipo de obreros, de un gran oficio y experiencia, y una especie de guadua de una determinada zona, de probada calidad. Esto le asegura tener siempre excelentes materiales y mano de obra.

Como ejemplo de procedimiento de ensayo del material disponible, una vez hice una prueba a compresión de una pieza (entrenudo) de 8cm de diámetro, 1cm de espesor de pared y 30 cm de altura de la especie que disponíamos en ese momento. El resultado fue que se rompió a 27 toneladas de carga, asumiendo que en esa proporción de dimensiones no había pandeo.

Para tracción se hacen probetas similar a la madera con las paredes del bambú, ya que el entrenudo no puede ser tomado por la máquina. El resultado fue que la misma resiste como el acero. Por eso en muchas partes se dice que “la madera de los pobres resulta ser el acero vegetal”. Cabe aclarar que esas pruebas se hicieron con especies locales de menor resistencia que la Guadua Angustifolia o el Dendrocalamus Asper.

El hecho de haber trabajado con estudiantes, significó un poderoso incentivo y potenció la creatividad, no de un reducido grupo de investigadores sino de todos los docentes y estudiantes que participaban del curso

GM. Se fue respondiendo un poco en el camino, pero le pregunto lo siguiente: ¿Cuándo ensaya el bambú, normalmente lo contrasta con otros materiales?

HS: lo hago al principio, pero una vez que uno sabe el valor sigue trabajando en el diseño. No obstante, pienso que es saludable mostrarles comparaciones a los estudiantes.

Pero insisto en el diseño de la estructura. Tenemos que pensar el espacio que deseamos y ver qué tipo estructural existe para eso. El problema estructural es antes que un problema de ingeniería, un problema arquitectónico.

La arquitectura es una disciplina milenaria, mientras que la ingeniería es, una carrera nueva. A lo largo de la historia hay construcciones maravillosas, algunas simples otras más complejas. El Arq. Alfonso Ramírez Ponce de México, por ejemplo, utiliza las bóvedas sin cimbra, inspirado en las bóvedas nubias de 5000 años AC. Pero él lo hace genialmente para su moderna arquitectura, con excelentes maestros albañiles.

Otra cosa que es fundamental para mí, es que el uso de la mano potencia la creatividad lo que hasta las neurociencias lo demuestran. Cuando uno usa la mano, el “cableado cerebral”, la sinapsis, se potencia. Cuanto más interconectadas están las neuronas, tanto más aumenta la capacidad para inventar y resolver problemas (técnicos y de cualquier naturaleza).

Insisto, yo encontré en el bambú una herramienta didáctica para la estructura, en tanto que la estructura es arquitectura.

Yo les digo a mis alumnos, la inteligencia está donde está y uno como arquitecto tiene que aprender a ver.

GM: coincidirá conmigo que el gran problema del bambú son los vínculos entre elementos.

HS: por supuesto, como el de todos los materiales, potenciado en el bambú por su estructura formal y biológica. Es todo un capítulo y hay cientos de formas de vincular los distintos elementos de una estructura de bambú. Hay muchos ejemplos. Simón Vélez utiliza concreto de cemento y elementos metálicos, los hay con ataduras, precintos y diferentes formas de empalmes. Es un campo amplísimo. Hay muchos tipos de uniones y se puede diseñar muchos más. El límite es la creatividad.

De todas maneras, hay que empezar por lo sencillo. Siegel decía, “en Latinoamérica se teme a lo sencillo”.

Hay dos disciplinas que están muy vinculadas a la realidad, que sin materializarse no tienen sentido de ser: la arquitectura y la ingeniería. Pienso que la ingeniería se escapa de la realidad a través del cálculo (el número y los decimales, cuando el modelo no responde a la realidad), mientras que la arquitectura lo está haciendo a partir del “verso y la guitarra”, una forma de decir “con expresiones líricas sin fundamento tecnológico”.

Yo pienso que hay que respetar la realidad. Las cosas están bien o están mal, te guste o no te guste.

Por ejemplo, Gaudí era un genio de las estructuras. No vi nada más racional que las estructuras de Gaudí, pero era a su vez un artista plástico maravilloso. Para mí, su mejor obra es la iglesia Santa Coloma de Cervelló, es un ensayo estructural verdaderamente notable.

GM: yendo a temas de durabilidad, algo que ya conversamos por arriba, respecto al ataque de los insectos y otros agentes: ¿ha podido estudiar algo?

HS: La mejor protección es la protección “por diseño”:

- Nunca la estructura de bambú tiene que llegar al suelo.
- Tampoco puede recibir agua de arriba, entonces tiene que tener aleros profundos.

En definitiva, dicho en lenguaje coloquial el principio es: “botas de goma y sombrero aludo”.

Los culmos antes de ser puestos en obra deben ser inmunizados. Hay varios productos químicos. Oscar Hidalgo los enumera taxativamente en su libro. Yo uso bórax y ácido bórico.

Esta entrevista termina con el lema de la Universidad Nacional de Tucumán

“Pedes in terra ad sidera visus” (“Con los pies en la tierra, mirando al cielo”)

¡Como el Bambú!

22 de octubre de 2024

Entrevista a la Licenciada en Diseño Analaura Antúñez /

Participan en la entrevista.

Analaura Antúñez

Gerardo Martínez

GM: Hemos llegado a ti por referencias de personas que nos hablaron de tu trabajo con bambú y, en particular, por tu labor como creadora de Planeta Bambú, algo que nos interesa profundamente. En ese sentido, imaginamos que tenés mucho para compartir. ¿Podrías comentarnos algunas generalidades sobre las especies que crecen en Uruguay?

AA: Es todo tan importante...

Primero me gustaría destacar que el bambú que crece de forma natural en Uruguay, en su mayoría, es de la especie *Phyllostachys aurea*. Existen muchas otras especies naturalizadas e introducidas.

Es fundamental entender que cada caña tiene una edad diferente, lo cual condiciona el momento del corte. Por eso es necesario aplicar un manejo adecuado para realizar cortes selectivos. No se debería hacer un corte indiscriminado, ya que eso afecta tanto la vitalidad de la planta como la calidad del producto final o su uso.

En Uruguay aún queda mucho conocimiento por desarrollar. Es clave rescatar bambusales naturales, generar conciencia y enseñar a la gente a aprovecharlos. También es necesario revertir la percepción extendida de que el bambú es una plaga.

GM: ¿Has realizado algún ensayo sobre características físicas o mecánicas de las cañas?

AA: Considero que pedirle a la naturaleza un comportamiento determinista es complejo. La resistencia del bambú depende de muchas variables: la especie, el manejo, el momento de la cosecha, el clima, el secado (al sol o a la sombra, en posición vertical u horizontal), entre otros. Obviamente es posible realizar estudios con una muestra considerable, pero eso cobra más sentido en plantaciones productivas con manejo técnico. En bambusales silvestres no tiene mucho sentido hacerlo.

GM: Justamente, nosotros aprovechamos el corte de unas 700 cañas en Juan Lacaze para esta investigación.

AA: Dijiste 700 cañas, ¡y lo primero que pensé fue si hicieron destrozo o no! Me pregunté si aplicaron manejo selectivo, porque eso es lo que permite que la planta siga viva y brote luego con

tallos más anchos y resistentes.

Al no seleccionar por edad, seguramente hoy tienen una mezcla de cañas maduras e inmaduras.

Hay un libro argentino llamado *Solución Bambú* que estudia la *Phyllostachys aurea* en distintas etapas de cosecha y tratamiento. Es muy útil como referencia, especialmente por su cercanía climática con algunas regiones de Uruguay.

Igualmente, siempre me gusta subrayar que cada especie es distinta y, además, cada caña es única. Para mí son como personas: pueden pertenecer a una misma familia, pero cada una tiene sus particularidades.

GM: Teniendo en cuenta que nuestro enfoque es el proyecto y la construcción con cañas tacuaras, ¿qué podrías contarnos desde tu experiencia?

AA: Desde mi lugar, no me propongo estudiar la caña desde un enfoque puramente técnico. Sería como estudiar a un ser vivo que hoy pesa 80 kg y mañana 50 kg. Es un camino muy riguroso, y aún a quienes llevan años estudiando distintas especies les cuesta llegar a datos concluyentes.

No digo que sea imposible, pero implica muchas dificultades si no hay cultivos productivos disponibles.

En una charla con estudiantes de la EUCD, debatimos sobre el peso y la resistencia de la caña. La conclusión fue que es imposible establecer valores universales; siempre hay que referenciarlos a la especie y la región.

Aun así, valoro que estas inquietudes surjan. Son puertas de entrada al mundo del bambú, y nos invitan a imaginarlo como un verdadero material alternativo. Sin embargo, para confiar en él, necesitamos datos técnicos. Por eso celebro que haya personas dedicadas a la investigación: generan conocimiento y nutren el ecosistema del bambú.

En lo personal, siempre cito la norma técnica peruana E100. Aunque se enfoca en otra especie, fue la primera en Latinoamérica en establecer lineamientos técnicos sobre el uso del bambú.

En términos de construcción, hemos hecho estructuras de hasta 4 metros de luz sin inconvenientes. En mi caso, he desarrollado estructuras livianas, efímeras, para eventos, utilizando *Phyllostachys aurea* con muy buenos resultados. Por ejemplo, construí columnas compuestas por piezas de distintos diámetros, e incluso ensayé techos verdes, que son estructuras con bastante peso.

GM: Cuando hablás de usar cañas gruesas y cañas chicas, ¿a qué te referís exactamente?

AA: Hay un mito que dice que las cañas finas no sirven y las gruesas sirven para todo. Pero el bambú es un pasto gigante, de forma cónica.

Si hacés una columna con cañas gruesas, tenés que usar al menos dos: una con la base hacia arriba y otra con la base hacia abajo, para compensar la conicidad.

Yo suelo trabajar con varias cañas finas en conjunto, aprovechando su colaboración estructural.

GM: Eso que decís, para nosotros, es una estrategia de proyecto.

AA: Mi enfoque principal es la regeneración, especialmente la regeneración ecosocial, que integra aspectos culturales, filosóficos, sociales y económicos.

Me han preguntado muchas veces si el bambú puede reemplazar a la industria forestal. Y mi respuesta es no, si seguimos con la lógica del monocultivo, la tala rasa y el uso de agroquímicos. El cambio debe ir más allá del material: debe transformarse la forma de producir.

Mi trabajo se enfoca en lo que no puede hacer China. Introducir el bambú en el diseño industrial, desde 2011, ha sido un desafío que exige otro paradigma: uno más artesanal, más humano.

GM: Imagino que uno de los desafíos grandes es cómo unir las cañas. ¿Qué desarrollaste en ese sentido?

AA: Llevo muchos años trabajando con bambú, lo que me permitió probar mucho y aprender de la experiencia.

Empecé en el fondo de casa de mi madre, experimentando con cortes y uniones. En el camino hice amistades con otros bambuseros.

Trabajamos en red. Por ejemplo, nuestras socias en Chile, Bamboobiz, trabajan con *colihue*, una especie maciza que se puede clavar o atornillar, muy distinta al bambú hueco.

Me di cuenta de que el bambú funciona muy bien en combinación con otros materiales. En proyecto, esto significa no exigirle al bambú lo que otro material puede resolver mejor.

En cuanto a las uniones, estudié, leí, pregunté, probé... y sigo probando. He aplicado normas técnicas y también sentido común. Fue un camino de desaprendizaje.

Por ejemplo, antes no usaba precintos porque pensaba que fisuraban la caña. Pero en ciertos casos son prácticos y se usan profesionalmente.

Todo depende del tipo de proyecto: si es efímero o permanente, interior o exterior, etc. Para un evento hicimos tótems de 4 metros. Las uniones estructurales las resolví con bulones o varillas roscadas, que permiten controlar mejor y generar menos desperdicio.

También usé uniones flexibles con goma, que funcionaron muy bien en ese contexto. Sin embargo, al replicar esa lógica en una estructura permanente en mi casa, las gomas se degradaron por el sol.

Eso me enseñó que no se puede generalizar: cada solución depende del uso y del tiempo que se espera que dure.

Para mí, hay tantas formas de unir como personas en el mundo.

Con nuestro domo evaluamos muchas alternativas y elegimos una que permite reemplazar piezas y hasta cambiar de material en el futuro.

Sería muy interesante, en alianza con instituciones low-tech, profundizar en estudios sobre uniones. Por ejemplo: ¿cómo unir elementos naturales con piezas industriales o con piezas impresas en 3D?

También me motiva mucho la idea de introducir el bambú en la construcción. En América Latina hay referentes como Jaime Peña, cuya arquitectura orgánica me resulta muy inspiradora.

Por otro lado, también hay experiencias de viviendas sociales prefabricadas, que valoran la disponibilidad y rapidez constructiva.

Nosotras hicimos un invernadero con paredes entretejidas. Una más prolija, otra más orgánica, para mostrar distintas posibilidades. Montamos toda la estructura en dos días. Eso demuestra el potencial del bambú, sobre todo para soluciones habitacionales rápidas.

Pero surgen nuevas preguntas: ¿cuántas viviendas sociales se harán? ¿de dónde saldrá la materia prima?

Avanzar en bambú dentro del diseño industrial o la construcción es un camino lento. Por eso creo que es fundamental rescatar los bambusales existentes.

En Uruguay hay bambú por todas partes. Y también hay personas con necesidad económica que quizás tienen una caña en el fondo de su casa, y con eso podrían generar un ingreso.

Si supiéramos que al cortar una caña estamos tirando “oro en polvo”, tendríamos otra actitud. De las hojas se pueden hacer cremas, bebidas, los brotes se comen... pero ese conocimiento aún es incipiente.

GM: ¿Qué nos podés decir sobre el secado y curado de las cañas?

AA: Para garantizar la calidad del material, influye mucho el momento de cosecha. Lo ideal es cortar en luna menguante y estacionar la caña unos 6 meses.

Si perforás una caña verde, en una semana pierde agua y se contrae, deformando cualquier unión.

Es fundamental que el secado se haga en un lugar seco, ventilado y a la sombra.

En un taller en Paysandú conocí a un artesano que hace 20 años trabaja con caña. Freía las cañas para lograr brillo y preservación. No está en ningún libro, pero su técnica era increíble. Esto me reafirma la importancia de revalorizar el conocimiento empírico de quienes trabajan con la materia.

También es vital preguntarse, antes de hacer una unión: ¿debe ser rígida o flexible? ¿debe armarse y desarmarse?

He trabajado con varios carpinteros, porque sé que no quiero hacerlo todo sola. Con quien más colaboré fue Andrés Parravicini, un verdadero genio.

Para mí, todo este trabajo es un tejido cultural, social y productivo. Así lo vivimos.

17 de setiembre de 2024

Entrevista al Ing. Agr. Gabriel Arenares – Fundador y director de Bambú del Este

Participan en la entrevista.

Gabriel Arenares

Gerardo Martínez

GM: presenta la investigación denominada “Prácticas de proyecto a partir de cañas tacuaras (*Phyllostachys Bambusoide*) en la que comenta las primeras dificultades respecto a conseguir el material y su falta de conocimiento respecto a la planta en términos biológicos, su denominación y su caracterización.

GA: Las gramíneas son una de las familias más grandes y diversas dentro de la botánica y está integrada por conjuntos de “pastos” como el trigo, la cebada, el maíz, etc. etc. Dentro de las gramíneas (poáceas) están los bambúes que son gramíneas muy primitivas. Hay estudios realizados que muestran el crecimiento y la distribución por etapa de los bambúes en la tierra y su presencia en distintos momentos de la evolución (Eduardo Ruiz Sánchez, Mexico).

Hoy en día se reconocen más de 1700 especies. Entrando en taxonomía y clasificación, los bambúes pertenecen como dijimos a la gran familia de las gramíneas (Poaceae), y a la subfamilia *Bambosoideae*, que se divide en tres grandes tribus que son: *Olyredae* (bambues herbáceos), *Arundinariea* (bambúes leñosos), y *Bambuseae* (bambues leñosos).

Los herbáceos son bambúes de muy bajo porte, con cañas muy finitas, y ciclos de floración generalmente anuales. Pertenecen a la tribu *Olyredae*. Esta tribu está muy presente en América.

Los leñosos son los que conocemos como cañas, justamente por sus tallos lignificados. Se trata de un universo muy grande donde hay nativos en casi todos los continentes, con una amplia distribución. La mayor parte están en Asia (casi un 70%), hay una riqueza bastante grande en América (25%), existe un porcentaje menor en África (5%). En Europa y la Antártida no se han identificado bambúes nativos. No obstante, hoy existen bambúes en todos lados ya que el hombre se ha encargado de diseminarlo. Europa por ejemplo tiene gran experiencia en el cultivo y utilización del bambú, y han adoptado técnicas asiáticas desde la colonia, al punto que muchos bambúes fueron introducidos en América en el siglo XIX con los colonos, como la conocida “caña tacuara”.

Los bambúes leñosos son plantas de mediano a gran porte con ciclos de floración bastante irregulares que representan un enigma para la ciencia. Aún no se ha comprendido a ciencia cierta los ciclos de dicha floración. No obstante, se han observado floraciones gregarias en ciclos de 30, 40 o 120 años en algunas especies.

En este momento, después de 120 años está floreciendo en China la *Phyllostachis Nigra*, un bambú de tallos negros que se encuentra con frecuencia en Uruguay. Hay especies que nunca se las vio en flor. Yo tuve la posibilidad de ver a nuestra guadua nativa en flor en las islas del Río Uruguay (*Guadua chacoensis* “Tacuruzú” que en guaraní significa caña grande o gigante), cuestión que sucede cada 30 años (había registros de 1988 y floreció nuevamente en 2018). Todo ello es bastante enigmático. Por alguna razón, la naturaleza le “baja” a la planta una señal para florecer. Incluso hay especies

monocarpicas (mono=único, karpos=fruto), que florecen, fructifican y mueren, y en general las semillas son viables. Otros bambúes tienen floraciones facultativas, es decir que florecen algunas cañas, que fructifican se secan, pero la planta sigue viva. Los frutos en general no son viables, sino que se formaron por alguna señal de estrés. La caña tacuara se ha visto en flor en Uruguay y el cañaveral no se seca.

Todo lo anterior da cuenta que no se conoce mucho la fisiología reproductiva de muchas especies de bambú. Si se puede asegurar que es una angiosperma típica con su flor y todo lo que concierne a ello, pero no se sabe exactamente como se desencadena dicho proceso de floración.

¿Por qué estoy gastando tiempo en la floración? Porque es un aspecto sumamente importante en el funcionamiento de la planta. Queda claro que la estrategia reproductiva de los bambúes no es la que le da su supervivencia. La planta subsiste en el tiempo a partir del mecanismo vegetativo. No deja descendencia a través de sus flores, semillas o frutos, sino que basa su existencia a través de sus rizomas y sus cañas.

Ese es el material que se usa para la construcción: la caña. Como mencioné anteriormente, como su estrategia de supervivencia es la vegetativa, la planta genera material todo el tiempo.

Los bambúes van acumulando generaciones de cañas conectados por sus rizomas lo que plantea una dinámica compleja de funcionamiento y nos permite entender como cosechar el material para su utilización.

Los rizomas son órganos de reserva, interconectados por debajo de la tierra, donde almacenan nutrientes y en alguna época del año (cuestión que varía según las especies) brota una nueva caña a partir de esas reservas. En un cañaveral, una caña verde, lustrosa, brillante, es una caña nueva.

Estrictamente, esta caña joven no se puede usar para la construcción, se pudriría fácilmente porque no están lignificadas sus fibras, tiene mucha agua y azúcares. Las cañas que sirven son las lignificadas, que se reconocen de acuerdo a una serie de variables propias o externas a la planta. Algunas variables propias son el patrón de ramificación, engrosamiento del nudo, coloración, etc. Una variable externa puede ser la presencia de líquenes, por ejemplo.

Todo esto, entre otras cosas, nos permite reconocer las cañas maduras que son aquellas que tienen entre 3 y 5 años. Un cañaveral es una gran familia de cañas de diferentes edades y reconocer eso es crucial para obtener material de calidad para la construcción.

El curado, el secado aportan a la conservación y durabilidad del material, pero la calidad del material está dada en gran parte por la edad.

Naturalmente el bambú no necesita que el hombre lo coseche ya que se autorregula. Cuando observamos un cañaveral sin manejo vemos una gran cantidad de cañas “viejas” y algunas cañas nuevas que están haciendo la fotosíntesis para mantener a todo el conjunto. Es decir que en un cañaveral sin manejo hay un material envejecido con una baja tasa de renovación.

Cuando se comienza a cosechar, se cambia la dinámica y se vuelve más productivo. Al sacar las cañas secas, enfermas, y el material viejo (cañas maduras de excelente calidad como madera) que son las que menos fotosíntesis hace, mejora de forma sustancial la producción de nuevas cañas y su sanidad, ya que más del 80% de la regeneración se explica por los tallos jóvenes. Por lo tanto, cuando

iniciamos un manejo sostenible de un bambusal, apostamos a la regeneración, y obtenemos un cumulo de generaciones más equilibrado, donde hay cañas recién nacidas, cañas jóvenes, cañas maduras en porcentajes similares. En este estado es donde se exploran las máximas tasas de fijación de dióxido de carbono atmosférico, que muchas veces se habla del bambú, y la máxima productividad.

En un cañaveral sin manejo se cosecha lo que hay y la regeneración es baja. En cambio, cuando se hace manejo sostenible, se asegura la “sostenibilidad” del recurso en el tiempo como dice la palabra.

GM: Cuando nosotros cortamos las cañas de un cañaveral silvestre que iban a “limpiar”, nos encontramos con cañas nuevas y cañas adultas. Eso era notorio. Ahora bien, con las cañas adultas encontramos variaciones posteriores al secado: algunas quedaron muy bien y otras quedaron muy débiles, acorchadas. A la vista en el momento de su cosecha eran similares.

¿Qué se debería haber mirado en ese caso?

GA: El bambú brota con el diámetro que va a tener durante toda su vida y crece telescópicamente hasta cierta altura. Por lo tanto, el diámetro no es una referencia clara a la edad de la caña. Lo que si cambia es la composición química.

Enfocándonos en la caña tacuara¹, cuando brotan hay unas hojas que cubren el brote. Esas hojas (llamadas hojas caulinares) son estructurales y protegen a la caña mientras se elonga para que no se quiebre, ya que no tiene lignina ni rigidez suficiente, las fibras no están engrosadas y hay alto porcentaje de parénquima (tejido blando lleno de almidón y agua). Al inicio la caña es 90% agua, y va cambiando con el transcurso del tiempo. Una caña adulta tiene más del 50% de materia seca. Esas hojas podrían ser un parámetro para identificar una caña joven, pero en muchas especies como la tacuara, son deciduas, y caen muy rápido, es corto el periodo en que las podemos ver. La caña joven es verde lustroso, en general conserva un polvo blanco, y los nudos suelen estar blancos, hablando de esta especie en particular.

Sumado a lo anterior, existen factores externos como los líquenes que se puedan pegar en la pared de la caña madura. Pero en lugares húmedos pueden aparecer en cualquier ejemplar. Por eso es muy fácil equivocarse, ya que el diámetro no es un aspecto a tener en cuenta para diferenciar la edad y en determinados ambientes cualquier caña puede tener líquenes.

Por eso hay que basarse, en lo posible, en los caracteres de la planta.

Una manera es marcar las cañas para reconocer con facilidad su edad en un cañaveral con manejo como hacen los asiáticos.

El peso de la caña seca es un buen atributo que marca su calidad. Si están pesadas es que están con mucha fibra y eso las convierte en un buen ejemplar para la construcción. No obstante, se trata de un atributo posterior a su corte (post-mortem).

¹ La tacuara (*Phyllostachys aurea*) fue introducida a la región. No es nativa. La trajeron los colonos desde Europa, ni siquiera desde Asia, como apoyo a la actividad productiva, a las quintas. Por eso, el patrón de crecimiento de estas cañas se asocia a los cascos de estancia, a los bordes de las ciudades.

Respecto al manejo del bambú, es bueno tener presente lo siguiente: el manejo es una concepción del hombre para que la planta sea más productiva, no obstante, el bambú no necesita de nosotros.

Se dice que el bambú es mucho mejor que los árboles para la fijación de dióxido de carbono, pero en realidad, cuando se analiza en ciclos de 10 o 20 años del bambú no manejado, nos encontramos que no supera ampliamente a otras plantaciones forestales de especies arbóreas como pinos, eucaliptus o abetos.

La biomasa y la tasa de fijación de dióxido lo da la generación de material nuevo. En el bambú, dicha tasa es muy alta cuando el cañaveral está manejado porque tiene una alta productividad, se multiplica por 4 o 5 veces. Entonces el manejo del cañaveral tiene implicancias medioambientales y mejora la salud del cañaveral.

Hay una relación interesante entre el bambú y el hombre. Es este último quien lo disemina por la tierra porque el bambú no tiene semilla (o la produce cada decenas de años). Si el hombre no saca una planta y la planta en otro lado el bambú no nace espontáneamente en un ecosistema. Al mismo tiempo, el bambú da brotes comestibles, da material para la construcción, energía, abrigo, sombra, etc. Es interesante.

GM: ¿plantar una planta de bambú es la forma de propagarlo?

GA: no todas se propagan de la misma manera. Es un tema técnico que depende del tipo de rizomas, de cómo generan sus raíces, a que clima pertenecen las plantas, etc. etc. Es un tema muy técnico. Pero contestando la pregunta, sí, de alguna manera al plantar un bambú estamos expandiendo su frontera vegetativa, que si no fuera por el hombre sería de algunas decenas de metros en el caso de bambues corredores (rizoma leptomorfo), o de poquitos metros en caso de bambues de mata (rizoma paquimorfo).

Respecto a la propagación en sí como actividad viverista, por ejemplo, la tacuara, se corta un bloque con rizoma, se poda y se planta. Otros bambúes se hacen por esquejes, otros enterrando el tallo, etc, hay varias técnicas dependiendo de la especie, hasta técnicas masivas complejas como el cultivo in vitro que nosotros por ejemplo hacemos de algunas especies en Argentina.

Por ahí se lo conoce como una planta invasiva por eso de los rizomas corredores como es el caso de la tacuara. Es invasiva en un jardín, donde no debería haberse plantado esa especie. El bambú no es invasivo. Pensemos que el bambú ingresó en el 1800, si lo fuera, Uruguay debería estar cubierto de bambú. Invasivo es el ligustro, el fresno, la espina de cristo, etc. que tienen semillas y que los pájaros la diseminan por el territorio.

GM: En otra entrevista al arquitecto colombiano Jorge Lozano comentaba que en Colombia cosechaban en los meses fríos, mirando la luna y sabiendo reconocer los culmos. ¿Qué podes decir respecto a la forma de cosecha de bambú?

GA: Mi opinión es que lo más importante a tener en cuenta para considerar el material para la construcción es su madurez. Si bien son importante los menguantes y demás, la madurez es fundamental.

Yo tendría en cuenta los siguientes momentos:

- 1- El momento de la planta en su vida. La caña se debe cortar cuando es madura entre 3 y 5 años.
- 2- El momento de la planta en el año. La caña se debe cortar en los meses que no tiene brotación, es decir cortarla en un momento de relativa latencia. En el caso de las tacuaras es en invierno, pero depende de la especie.
- 3- El momento de la caña en el mes. Este momento está definido por la luna. En menguante siempre es la mejor situación. El menguante hace que los fluidos de la caña bajen. Si no es menguante, esto no sucede.

Nosotros durante mucho tiempo no promocionamos las plantaciones de bambú. En el Uruguay es muy difícil empezar con actividad industrial hoy en día. Aún no hay un uso masivo de la caña, no hay un referente ingeniero o arquitecto que las esté utilizando a gran escala, no existe una cultura de uso de la caña en la construcción. Por lo tanto, es muy difícil que alguien pueda realizar una plantación productiva con aspiraciones de vender en el mercado nacional con ese fin. Por ahora no es posible, desde la realidad de consumo del material hoy.

En nuestro vivero, Bambú del Este, tenemos algunas plantaciones recientes de 2 o 3 años que se hicieron con un objetivo. Por ejemplo, para carbón, para brotes comestibles, para madera, etc. Obviamente no hay una industria funcionando, tenemos estudios de posibles mercados, pero hoy no hay rentabilidad con el bambú, no es un commodity.

De todas maneras, hay algunas posibilidades latentes. Hay interés en el sector privado por el material, y recientemente se mostró un grandísimo interés desde el sector público, a través del acuerdo entre Uruguay con INBAR, que es la Organización Internacional del bambú y el ratón con sede en Beijín, China. El MGAP declaró al bambú de interés nacional, se comenzaron a crear mesas de trabajo, y bueno, se abren las puertas a capacitaciones, financiamiento, nuevos proyectos que pueden dinamizar el sector.

GM: ¿Cuándo decís madera, te referís a madera para la construcción?

GA: Si. El género *Phyllostachys* es muy utilizado para revestimientos, cercos, etc. Si bien es una caña muy resistente, para uso estructural no tienen buen diámetro, las paredes son finas y tienden a fisurar.

GM: ¿Se le puede encargar a Bambú del Este hoy una cierta cantidad de cañas para estructura?

GA: Si, nosotros nos especializamos en la producción de plantas de bambúes, aunque trabajamos en manejo sustentable con algunos clientes, y en general facilitamos la venta de cañas también, aunque no es un rubro en si de la empresa. En lo que es plantas, tenemos especies que pueden servir para estructura. La que más trabajamos es la *Bambusa oldhamii*. Cuando la descubrí pensé que era una de las especies más importantes, pero en realidad está en el puesto 10 en importancia económica a nivel mundial. Esta planta crece muy bien en nuestro clima y consiguen un diámetro de hasta 8cm. En otras partes del mundo como en México, llegan hasta 10cm. Nosotros las utilizamos en Uruguay más que nada por variables agronómicas. Sus brotes son comestibles, producen mucha biomasa, la pared es muy gruesa y las cañas son rectas.

También tenemos otras especies más robustas como la *Bambusa balcooa*, de casi 15cm de diámetro, que comenzamos a perfilarla para producción después de haberle hecho seguimiento con

la gente del Jardín botánico de Montevideo, y haber recorrido plantaciones muy grandes en Argentina.

Hay otras especies como la *Bambusa textilis*, con diámetros promedio de 5cm, de pared gruesa. Pienso que esta especie podría funcionar muy bien en términos estructurales.

GM: ¿si tuvieras que curvar una caña, como lo harás?

GA: Dependerá de la especie. Supongo que si a una caña fina se la coloca en verde en un molde podría quedar con esa forma o similar. No obstante, evaluaría el uso del fuego para acelerar el proceso de secado y que la caña quede con esa forma.

Lo que están haciendo para trabajar con curvas algunos referentes como los arquitectos Jaime Peña, Simón Vélez, es utilizar la latilla. Es decir, usan pedazos de la caña seccionada vinculadas con flejes para generar piezas más grandes.

Otro trabajo interesante es el del brasilero Lucio Ventania, quién logra darle curvas pronunciadas al bambú, básicamente con fuego por lo que vi en sus charlas. Trabaja mucho con tacuara.

Obviamente, depende mucho de la especie. Cañas de pared gruesa con entrenudos cortos probablemente sea muy difícil de curvar. En cambio, una caña más fina de entrenudos más largos suele ser más fácil, aunque a veces tienden a rajar.

Técnicas hay muchas, no es mi área el manejo de la caña cosechada, pero sí, se logran cosas realmente increíbles.

Selección de informes parciales

A continuación, se presentan algunos informes parciales realizados durante la investigación

INFORME 3 - 11 agosto de 2024

Se realizaron pruebas de contenido de humedad de las cañas tacuaras cortadas.

Las mismas se encuentran en proceso de secado en un sector cubierto en el Espacio Público integrador EPI en la ciudad de Juan lacaze. Dicho sector se encuentra cubierto y con grandes aberturas en los muros que permiten corrientes de aire.

Por lo tanto, las cañas no se mojan por lluvia, pero si existe una corriente permanente de aire.

Los resultados de las pruebas de contenido de humedad se obtuvieron el lunes 5 de agosto, y arrojaron los siguientes resultados.

Se muestrearon un total de 4 cañas de diferente sección siendo y espesor de pared.

Caña 1: diámetro mayor: 3cm

Diámetro menor: 2cm

Caña 2: diámetro mayor: 3.5cm

Diámetro menos: 2.5cm

Caña 3: Diámetro mayor: 4cm

Diámetro menor: 3.5cm

Caña 4: Diámetro mayor: 5.8cm

Diámetro menor: 4cm



Tabla de resultados

Semana 1 - 27/6/24	1.1	1.2	1.3	1.4
Incial	25	45,9	51,1	65
Final	12,8	26,8	28,2	36,7
Porcentaje CH%	95,3	71,3	81,2	77,1
Semana 2 - 4/7/24	2.1	2.2	2.3	2.4
Incial	18,9	24	37,5	38,8
Final	9,6	17,9	25,3	25,8
Porcentaje CH%	96,9	34,1	48,2	50,4
Semana 3 - 12/7/24	3.1	3.2	3.3	3.4
Incial	16,5	31,5	44,2	54,5
Final	10	22,7	25,6	31,2
Porcentaje CH%	65,0	38,8	72,7	74,7
Semana 4 - 21/7/24	4.1	4.2	4.3	4.4
Incial	14,1	30,5	33,4	43,3
Final	7,1	18,1	19,5	27,3
Porcentaje CH%	98,6	68,5	71,3	58,6

Los resultados arrojaron incongruencias:

- 1- Los contenidos de humedad fueron variables a lo largo del tiempo. En la lectura de las tablas recibidas se observa oscilaciones en el contenido de humedad a lo largo del tiempo decrecientes y crecientes.

Podría tratarse por varias razones:

- 1- Se cortaron las muestras por 4 semanas y luego se llevaron al laboratorio para realizar la prueba, cuestión que podría haber alterado el contenido de humedad al tenerlas guardadas por determinado tiempo.
- 2- No se tuvo el cuidado necesario al momento de sacar la muestra, llevando los trozos de cañas sin proteger con nylon. Este proceso se realizaba al día siguiente o a los dos días en el estudio.

Cambio en la modalidad de muestreo y análisis

Se intercambia con Daniel Godoy realizar el muestreo de las cañas los días martes, protegiendo inmediatamente luego de cortadas con nylon. Son enviadas al otro día al laboratorio de la FING para ser analizadas.

INFORME 3 - 11 agosto de 2024

Se realizaron pruebas de contenido de humedad de las cañas tacuaras cortadas.

Las mismas se encuentran en proceso de secado en un sector cubierto en el Espacio Público integrador EPI en la ciudad de Juan lacaze. Dicho sector se encuentra cubierto y con grandes aberturas en los muros que permiten corrientes de aire.

Por lo tanto, las cañas no se mojan por lluvia, pero si existe una corriente permanente de aire.

Los resultados de las pruebas de contenido de humedad se obtuvieron el lunes 5 de agosto, y arrojaron los siguientes resultados.

Se muestrearon un total de 4 cañas de diferente sección siendo y espesor de pared.

Caña 1: diámetro mayor: 3cm

Diámetro menor: 2cm

Caña 2: diámetro mayor: 3.5cm

Diámetro menos: 2.5cm

Caña 3: Diámetro mayor: 4cm

Diámetro menor: 3.5cm

Caña 4: Diámetro mayor: 5.8cm

Diámetro menor: 4cm



Tabla de resultados

Semana 1 - 27/6/24	1.1	1.2	1.3	1.4
Incial	25	45,9	51,1	65
Final	12,8	26,8	28,2	36,7
Porcentaje CH%	95,3	71,3	81,2	77,1
Semana 2 - 4/7/24	2.1	2.2	2.3	2.4
Incial	18,9	24	37,5	38,8
Final	9,6	17,9	25,3	25,8
Porcentaje CH%	96,9	34,1	48,2	50,4
Semana 3 - 12/7/24	3.1	3.2	3.3	3.4
Incial	16,5	31,5	44,2	54,5
Final	10	22,7	25,6	31,2
Porcentaje CH%	65,0	38,8	72,7	74,7
Semana 4 - 21/7/24	4.1	4.2	4.3	4.4
Incial	14,1	30,5	33,4	43,3
Final	7,1	18,1	19,5	27,3
Porcentaje CH%	98,6	68,5	71,3	58,6

Los resultados arrojaron incongruencias:

- 2- Los contenidos de humedad fueron variables a lo largo del tiempo. En la lectura de las tablas recibidas se observa oscilaciones en el contenido de humedad a lo largo del tiempo decrecientes y crecientes.

Podría tratarse por varias razones:

- 3- Se cortaron las muestras por 4 semanas y luego se llevaron al laboratorio para realizar la prueba, cuestión que podría haber alterado el contenido de humedad al tenerlas guardadas por determinado tiempo.
- 4- No se tuvo el cuidado necesario al momento de sacar la muestra, llevando los trozos de cañas sin proteger con nylon. Este proceso se realizaba al día siguiente o a los dos días en el estudio.

Cambio en la modalidad de muestreo y análisis

Se intercambia con Daniel Godoy realizar el muestreo de las cañas los días martes, protegiendo inmediatamente luego de cortadas con nylon. Son enviadas al otro día al laboratorio de la FING para ser analizadas.

INFORME 7 - 12-11-2024

En el día de la fecha de este informe se comenzó con la construcción de algunos prototipos.

Se comenzó a ensayar la construcción de algunos vínculos:

- Encuentro 1 Encuentro de culmos vinculados con perno pasante.
- Encuentro 2 dispositivo para traccionar un culmo.



Imagen 1 arriba – Dispositivo para traccionar culmo

Imagen 2 izquierda – Vínculo con perno metálico pasante

Encuentro 1. Encuentro de culmos vinculados con perno pasante.

Se partió de la hipótesis que los culmos no son resistentes a los esfuerzos perpendiculares al sentido de la fibra. Por esta razón, y de acuerdo a algunas entrevistas realizadas, se optó por rellenar los extremos de algunos culmos, precisamente sector de la pieza donde, según diseño de elemento estructural, debería ser lo suficientemente “apretada” mediante tuerca y arandela

metálica. En este sentido se optó por rellenar la pieza en el hueco con mortero de arena y cemento portland (3x1 respectivamente) con el fin de lograr una mayor resistencia a tal esfuerzo.

Durante la construcción de dicho encuentro se detectaron los siguientes problemas:

- 1- Si el culmo tiene algún tipo de fisura por golpe o se fisura al momento de ser perforada, previo al llenado con mortero, tiene consecuencias notorias en el comportamiento y apariencia de la pieza posteriormente.



En la imagen se aprecia que las fisuras se agrandan probablemente por el contacto con el mortero, produciendo un “agrietamiento” posterior que inhabilita a la pieza para su utilización. No solo por la imposibilidad de trabajar con una pieza rota en términos estructurales, sino porque tales fisuras sin un claro acceso de humedad que deterioraría con mayor rapidez el elemento estructural.

- 2- Se dificulta el armado del vínculo debido a que los agujeros para pasar el perno roscado son demasiado justos lo que implica que se le deban aplicar golpes a dicho perno, acción que terminó por afectar la integridad de alguno de los elementos que integran dicho vínculo.



En la foto se observa una pieza fisurada por la acción de pequeños golpes para poder pasar el perno roscado.

- 3- Al realizar los trabajos a mano, se observa que hacer pasar el perno roscado por un agujero de dimensiones justas hace que la pieza estructural en construcción adquiera deformaciones y tensiones no deseadas. Ello pone en riesgo aspectos de linealidad, plomo, escuadra, etc. que deben ser atendidos desde el inicio, en el proceso de proyecto, que no afecten el resultado final de alguna parte o toda la construcción.



En la imagen se observa que la parte inferior y la parte superior adquieren diferentes direcciones producto de pequeñas alteraciones en la dirección de los orificios por donde pasa el perno roscado.

Encuentro 2 – dispositivo para traccionar un culmo



El culmo a tracción tiene una gran resistencia. Ello permitiría realizar elementos estructurales como cruces de San Andrés, para estabilizar ciertos tipos de estructuras compuestas por barras. No obstante, la dificultad radica en un dispositivo que evite que se fisure la pared del culmo. En este caso se ha ensayado un dispositivo que consiste en dos cilindros de nylon de 30m de diámetro cortados en cuña con un agujero central mayor al diámetro de la varilla roscada. Este dispositivo, común en los manubrios de bicicletas, por fuerzas opuestas hace desplazar a los cilindros hacia las paredes del culmo trasladando la fuerza, por rozamiento hacia dichas paredes. Ello hizo pensar que era deseable aplicar un fleje metálico que contuviera los esfuerzos perpendiculares a la fibra del culmo.



Se observó que para la construcción de dicho dispositivo es deseable la utilización de maquinaria de precisión, permitiendo que las superficies queden lo suficientemente lisas como para permitir el desplazamiento lateral de las piezas.

PRÁCTICA DE PROYECTOS CON TACUARAS

El prototipo elegido para construir fue resultado del estudio del material y sus diversas formas de unión entre el mismo a la hora de ser construido. Se proyectaron 9 prototipos anteriormente buscando una buena forma de vínculo entre el material y otros materiales que pudiesen asegurar una estructura lo más estable posible, cumpliendo con los objetivos establecidos en las bases de la investigación. Al momento de conseguir el bambú, se buscó un lugar cercano al sitio de obra, con el fin de acortar los gastos y de implementar el material mismo del lugar, este lugar es un cañaveral situado al costado de una cañada a 1,5km del sitio.



La cañas seleccionadas eran las que se veían en mejor estado, a que se refiere buen estado?, pues a que no tuviesen roturas, con un largo que sirviera para las piezas a armar y que no fueran cañas jóvenes. Esto nos llevó una duración de dos días de cortado y limpiado, para luego llevarlas al sitio de construcción para su respectivo secado.



Ya en el sitio de construcción se colocaron las cañas en vertical con un ángulo aproximado a 70 grados para dejar secar allí hasta que cumplieran con los requisitos de humedad correspondientes para su uso en la construcción.



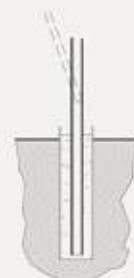
En el sitio el primer paso con el comenzamos fue el replanteo del prototipo elegido, para así adelantar con las fundaciones del mismo.



Luego de que el bambú estuviera en las condiciones para poder comenzar a utilizarlo se empezó por marcar y cortar las piezas para generar las vigas, 78 piezas de 80 cm con 6 perforaciones cada una.



En simultáneo con el cortado de piezas se comenzó con el llenado de hormigón a los tubos que se utilizaron como fundaciones. Esto le dio gran estabilidad a los tubos de acero que funcionan como las bases de los pilares de cañas, permitiendo un firme agarre de las mismas en los tubos.



Las vigas fueron de las piezas de mayor dificultad en su armado, se tuvo que alargar las cañas por medio de uniones, estas variaron y se probaron distintas formas de las mismas, una de ellas fue por medio de cañas de menor tamaño que se incrustaron en el interior de los extremos de las otras dos, las cuales se unieron.



Después de tener las cuatro vigas terminadas, pasamos a construir los pilares, por lo que se eligieron las cañas correspondientes para esto, con un largo definido, y lograr unir de manera adecuada la caña con un caño de metal, para esto utilizamos la fibra de vidrio además de asegurar traspasando ambos con una varilla roscada.



Al colocar 3 cañas de las 5 que formarían el pilar ya se ponía sobre el mismo una viga y así sucesivamente formando dos arcos que quedaron paralelamente armados por los cuatro pilares y dos vigas, para así luego colocar las dos vigas faltantes.



Ya luego de tener las cuatro vigas en altura quedaba colocar las cañas que faltaban en los pilares para ajustar del todo las vigas.



Con la estructura principal prácticamente finalizada quedaba colocar las diagonales de los pilares, estas eran cuarto y ajustaban de a par los extremos de las vigas que cruzaban por el pilar.

