

Promoting experimentation and integrated design process through the exploration of the steam bending technique in wood: Essay F8 challenging orthogonality

Viviana Paniagua Hernández¹, Emily Vargas Soto ¹

¹ Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
viviana.paniaguahernandez@ucr.ac.cr
emily.vargas@ucr.ac.cr

Abstract. Due to the lack of experimentation with wood on a real scale, which is needed to generate design proposals and discuss aesthetic, spatial, and structural alternatives in a multidisciplinary way. An experimental workshop for architecture and engineering students was developed. To integrate design modeling, and fabrication, using the wood steam bending technique. It was explored following a collaborative methodology. The main results obtained included conceptualization sessions, prototyping, physical and digital modeling, and development of work strategies (base plan, scaffolding, production, assembly, iteration, adjustments, and detailing) until the proposal scope met the expectations. From this workshop, remains the challenge of converting empirical knowledge into more precise work parameters. The need to complement the design phases with parametric software modeling, structural analysis, and fabrication methods to open new teaching possibilities was identified.

Keywords: Interdisciplinary design, Construction experience, Steam wood bending.

1 Introducción

La presente experiencia aborda la exposición de estudiantes de Arquitectura e Ingeniería al trabajo colaborativo y el desarrollo de un diseño integral utilizando la técnica tradicional de curvado de madera con vapor, que permite plantear cuestionamientos acerca de las tendencias actuales de la arquitectura en la práctica y en la academia. Desafiando la tendencia de la disciplina de ignorar métodos históricos artesanales (Benson, 2009), de aceptar el diseño digital sin considerar experimentaciones con los materiales o de complementar los procesos tradicionales con las tecnologías emergentes.

Con esta experiencia, el proceso convencional de diseño “se liberó” hacia el juego intuitivo con piezas curvas, a escala real, para descubrir e inventar configuraciones únicas del material. La relevancia de esta experimentación radica en que la técnica empleada busca utilizar de manera eficiente el material, complejizar la geometría y la estética, al asumir el reto de negar la ortogonalidad.

La propuesta se desarrolló realizando pruebas de la técnica y propiedades del material, a menudo llevándolo al límite o punto de falla (Schulte, M., Mankouche, S., Bard, J., & Ng, 2011). Estas experimentaciones actúan como un complemento los procesos de diseño actuales y permiten repensar la construcción rumbo a incorporar la fabricación digital.

1.1 La experiencia interdisciplinaria y colaborativa como aproximación en la enseñanza.

Si bien es sabido que los estudiantes de arquitectura necesitan interactuar, comunicarse y debatir sus diseños con compañeros y profesores, para formar habilidades, conocimientos, la sensibilidad de su pensamiento, y mejorar sus habilidades para resolver problemas. A la vez, deben aprender a cooperar para lograr un objetivo en conjunto (Priya, R. S., Shabitha, P., & Radhakrishnan, 2020), de manera que estén preparados para la naturaleza altamente colaborativa de la práctica arquitectónica a la que ingresarán.

Esto lleva a plantearse la pregunta: ¿Cómo se pueden abordar las técnicas colaborativas en el estudio de diseño para mejorar las habilidades de los estudiantes y prepararlos para los desafíos profesionales? A partir de esta interrogante, (Emam, M., Taha, D., & ElSayad, 2019) realizaron un estudio piloto empleando una metodología que utiliza informes de análisis cuantitativo y cualitativo de cuestionarios, en el cual, las respuestas son analizadas para adoptar las herramientas y actividades que deberían ocurrir para hacer más eficiente el trabajo colaborativo. De esta forma los estudiantes dan forma a su propio proceso de aprendizaje, proponen herramientas de programación de tiempo y tareas, que son evaluadas por pares, de este modo los estudiantes cuestionan y evalúan su propia eficiencia y experiencias de aprendizaje.

Por otro lado, para (Biskjaer et al., 2019), es importante desarrollar valor en los procesos de diseño integrado desde el diseño arquitectónico y el diseño en ingeniería, para que de los procesos de creación conjuntos emerjan valores que normalmente están ocultos o subexpuestos. Para esto es común emplear el modelo de las cuatro “P” fundamentales de la investigación de la creatividad: persona, proceso, producto y prensa.

Dichos autores aportaron un modelo de trébol de cuatro hojas con posibles puntos ciegos en la creación de valor en el diseño colaborativo. Estos puntos son el valor de: 1) la exploración, 2) la negociación, 3) la formulación y 4) la manifestación de valor en sí mismo. Este modelo se puede usar como un andamiaje para desarrollar la teoría del valor del diseño, y para que los profesionales relacionados con el diseño puedan emplearlo como un

instrumento para “conducirse” mejor en los procesos colaborativos con múltiples partes interesadas, cuyos conjuntos de valores individuales pueden no estar siempre claramente articulados y, por lo tanto, a veces pueden no solo no coincidir, sino chocar.

Si se considera la colaboración interdisciplinaria, (Erkan, 2013) la define como un enfoque de conocimiento y currículo que aplica conscientemente la metodología y el lenguaje de más de una disciplina para examinar un tema central, cuestión, problema o experiencia. En este caso particular interesa un primer acercamiento que permita a los estudiantes comprender el lenguaje y las prácticas comunes en sus disciplinas, para que los estudiantes de otras áreas entiendan cómo y con qué propósito se realizan, y a partir de ahí incluso surjan nuevas estrategias conjuntas, “híbridas”, etc. Esto es requerido porque idealmente, un proceso de diseño integrado implica una estrecha coordinación entre los profesionales que diseñan sistemas arquitectónicos, estructurales y mecánicos con el equipo de construcción y los fabricantes de productos de construcción. Sin embargo, este proceso no se sigue universalmente en la práctica, ni es un modelo común para la educación en diseño, ni en arquitectura, ni en ingeniería según lo expuesto por (Sheine et al., 2019).

Específicamente, sobre experimentaciones con madera, llama la atención un curso universitario interdisciplinario planteado para estudiantes de arquitectura, ciencias de la madera e ingeniería, que estudia cómo la capacidad de los estudiantes para dominar los flujos de trabajo digitales influye en su éxito en el aprendizaje de habilidades de diseño colaborativo.

Destacando los desafíos y oportunidades potenciales que plantea la introducción de nuevas herramientas digitales para apoyar el diseño de edificios integrados emergentes tanto en la educación como en la práctica profesional (Riggio, M., & Cheng, 2021). Para el presente taller experimental los intereses temáticos surgieron a partir de la iniciativa conjunta de profesores y estudiantes que contaban con experiencias previas de experimentación con estructuras colaborativas. Interesados por el diseño multidisciplinario, la experimentación de estructuras con madera, la promoción del su uso de este material. Lo cual anteriormente había sido realizado por medio de talleres libres de verano que plantean concursos de diseño, cuyas propuestas electas, posteriormente se detallan, optimizar y construyen entre los participantes.

En esta ocasión plantearon la necesidad de promover la experimentación y el proceso de diseño integral a través de la exploración de la técnica de curvado de madera con vapor. El interés en dicha técnica surgió por una gira técnica al Astillero verde, un barco carguero de gran envergadura que se está construyendo el país, retomando técnicas tradicionales milenarias de construcción con este material. Sin embargo, se planteó el desafío de repensar dicha técnica a partir de las posibilidades que ofrecen los softwares de diseño paramétrico, las posibilidades de fabricación digital, la necesidad de complementar conocimientos artesanales y tecnológicos, empíricos e

ingenieriles. Para poder hacer iteraciones que permitan evolucionar los planteamientos de diseño, que en los procesos académicos de diseño arquitectónico no se abordan, discuten, ni se profundizan de forma rigurosa.

En cuanto a la escala del proyecto inicialmente se planteó que fuera un Pabellón experimental “de pequeña huella y alto impacto estético” y de ahí surgió la posibilidad de que además fuera una envolvente escultórica. Para el emplazamiento se eligió un sitio estratégico en la Universidad que permitiera tanto la exposición del producto logrado, y a la vez hiciera una crítica a la escala y materialidad de los Edificios de la Facultad de ingeniería que son grandes volúmenes en concreto masivo. Razón por la cual la intervención de su patio central con una estructura orgánica y en madera, busca evidenciar la necesidad de reflexión sobre el tema propuesto.

2 Metodología

La propuesta de trabajo está enmarcada en un taller experimental de estructuras en madera, cuya modalidad es de curso libre de verano, dirigido a estudiantes de pregrado interesados en el desarrollo y experimentación con estructuras en madera. Dicho taller es coordinado por un equipo de profesoras dentro de un proyecto de extensión docente y acción social. El taller incluye fases de ideación, prototipado y construcción a escala 1:1, complementadas con charlas, sesiones de discusión y de aprendizaje de técnicas y uso de equipo especializado.

2.1 Definición de la técnica aplicada

La principal técnica elegida para esta experiencia práctica fue *el curvado de madera con vapor*, en la cual las piezas secas de madera sólida de pino y ciprés de 1 x 2” 12 ft \approx aproximadamente 25 x 50mm y 3.6m de longitud, se someten al calor, vapor y humedad en una caldera de fabricación artesanal diseñada y fabricada por un grupo de estudiantes. Este proceso “flexibiliza momentáneamente” las fibras de la madera y permite que se puedan curvar en múltiples direcciones, las cuales no son posibles con el material seco o en estado convencional.

La técnica se desarrolla comprendiendo el comportamiento viscoelástico de la madera, mediante la aplicación de calor y humedad a través de vapor de agua, lo cual modifica los enlaces de los polímeros que confirman el material y modifica la rigidez característica que posee la madera, cuando se modifican los enlaces de la lignina. Una explicación muy simplificada del fenómeno, es que más maleable gracias a la disminución de la zona de tracción y aumentando la compresión en el elemento de madera (Figura 1). Al enfriarse, los enlaces de la lignina se vuelven a modificar y la madera retiene

la mayor parte de dicha deformación. Este proceso se desarrolla utilizando una caldera artesanal (Figura 2) que utilizaba combustible a base de madera de desecho (leña), con una capacidad de 15 litros y un tiempo aproximado de 45 minutos para alcanzar los 100°C.

Una vez alcanzada esta temperatura, el vapor es dirigido a un envoltorio hermético de polietileno en donde se encontraban las piezas de madera (un máximo de 6 piezas), luego de un periodo aproximado de 80 minutos con una temperatura constante no menor a 100°C la madera se encuentra lista para ser manipulada mediante guantes y con un tiempo máximo de 2 minutos aproximadamente para su flexión definitiva. Este proceso es realizado enteramente por los estudiantes que conforman el taller e implica un proceso de planeación y diseño para su ejecución.

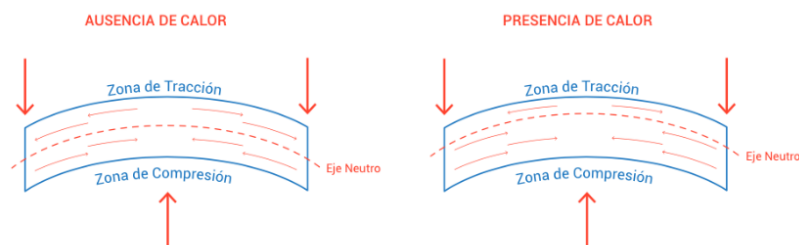


Figura 1. Comportamiento en sección Variación de fuerzas en presencia de calor al momento de la flexión. Fuente: el autor, 2022.

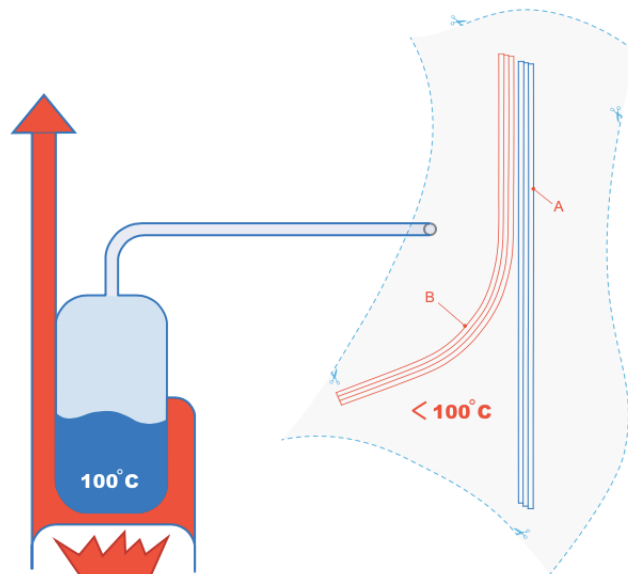


Figura 2. Diagrama de funcionamiento de la caldera artesanal para doblado de madera al vapor. Fuente: el autor, 2022.

Se realiza un análisis previo de cada una de las piezas para definir su desempeño estructural en la estructura o el elemento a formar ya que cada pieza de madera presenta cualidades estructurales en sus fibras y tipo de corte que van a determinar algunas limitaciones de deformación que si no son tomadas en cuenta pueden finalizar con reventaduras, principalmente en nudos. La madera que se utilizó y se recomienda para el curvado en vapor en este caso es industrializada, de corte radial y sin defectos (nudos e inclinación en el canto de las fibras no mayor a 3° en 500 mm).

Para las definiciones morfológicas del proyecto se tomó en cuenta los datos previamente obtenidos mediante ensayos realizados por estudiantes en investigaciones individuales referentes a las curvaturas máximas permitidas en las secciones en madera de pino radiata de 9 mm x 65 mm x 3600 mm con un porcentaje de humedad del 14.5%. Estos ensayos indican que las curvaturas deberían de tener un radio no mejor a 200 mm.

Una de las principales motivaciones para curvar la madera es mantener la integridad de la pieza en su eje más fuerte, en sentido longitudinal, paralelo a las fibras. De modo que cuando la madera se dobla se somete a esfuerzos de compresión y la orientación de su grano se ajusta en función del eje de curvatura para obtener mejores propiedades de resistencia, ya que las fuerzas de tensión y compresión se desarrollan a lo largo de la curvatura. Una vez que estas fuerzas se equilibran sin aplicar demasiada fuerza, la madera se puede doblar o curvar con éxito sin roturas ni rajaduras (Hiziroglu, 2011) . Las piezas curvas a su vez ofrecen la posibilidad de explorar diversas formas de continuidad, ramificaciones, ondulaciones irregulares y en distintos sentidos formando trazados sinuosos.

2.2 Proceso de ideación y diseño

Para la fase práctica del taller se planteó una metodología de diseño y construcción participativa, colaborativa e intuitiva por parte del equipo de estudiantes. Para el diseño se procedió a generar esquemas de ideación a partir de experimentos constructivos a baja escala desarrollados en modelos tridimensionales y posteriormente contruidos. A partir de las pruebas que incluyeron eficiencia del diseño y desempeño del material que permitió tomar decisiones sobre la implementación de las técnicas a trabajar con la madera.

El esquema de planificación surge a partir de exploraciones tridimensionales digitales y físicas que se fusionan durante el proceso de construcción colaborativa. Los estudiantes desarrollaron sus exploraciones individuales y colectivas a partir de las habilidades propias del nivel de avance en la carrera y del área a la que pertenecen. De ahí que se formaran equipos de construcción y puesta en operación de maquinaria, equipos de diseño y equipo de modelado.

El diseño a partir de la técnica elegida, se centró en una propuesta exploratoria del material con carácter escultórico a colocar dentro de un espacio del campus universitario como una pausa y llamada de atención desde el material y la forma hacia el carácter ortogonal y el uso excesivo del concreto en los edificios Universitarios. Posterior al entendimiento de la técnica de curvado en madera se migró a desarrollar la técnica de acoplado. Para ello, las piezas curvas, se ensamblaron con sujetadores provisionales, (sujetadores ajustables comerciales y otros de elaboración propia), se exploró la bifurcación, el laminado (reforzamiento con múltiples capas o piezas de madera en los componentes principales), y diversas posibilidades de estabilización de los 4 puntos de apoyo de la estructura propuesta.

Es importante aclarar que la estructura se desarrolló con un andamiaje provisional, que jugó un papel clave, ya que permitió tanto el control de la escala de la experimentación como el manejo dentro de las condiciones del sitio propuesto para su emplazamiento tal y como se muestra en la Figura 3. Este además sirvió para su refuerzo y transporte (de segmentos que permitieron desensamblar la estructura y reensamblarla primero en un emplazamiento provisional para su exposición temporal y posteriormente para el emplazamiento definitivo. En síntesis, el andamiaje y estructura primaria, conformada por las curvas generatrices de mayor longitud, permitieron la agregación “mutable y compleja” de componentes secundarios que se observan en las elevaciones de la Figura 4. Se puede afirmar que la naturaleza del proceso fue de coordinación y reconocimiento constante de las tendencias estructurales y la resiliencia de la estructura incompleta.

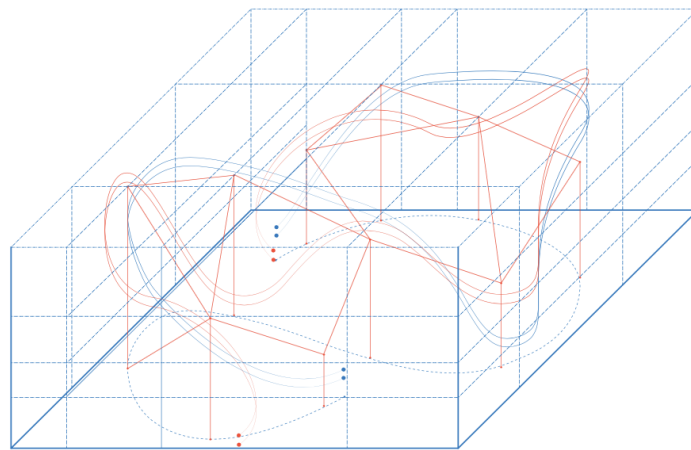


Figura 3. Diagrama de proceso de ensamblaje Andamio ortogonal con puntos de referencia. Fuente: el autor, 2022

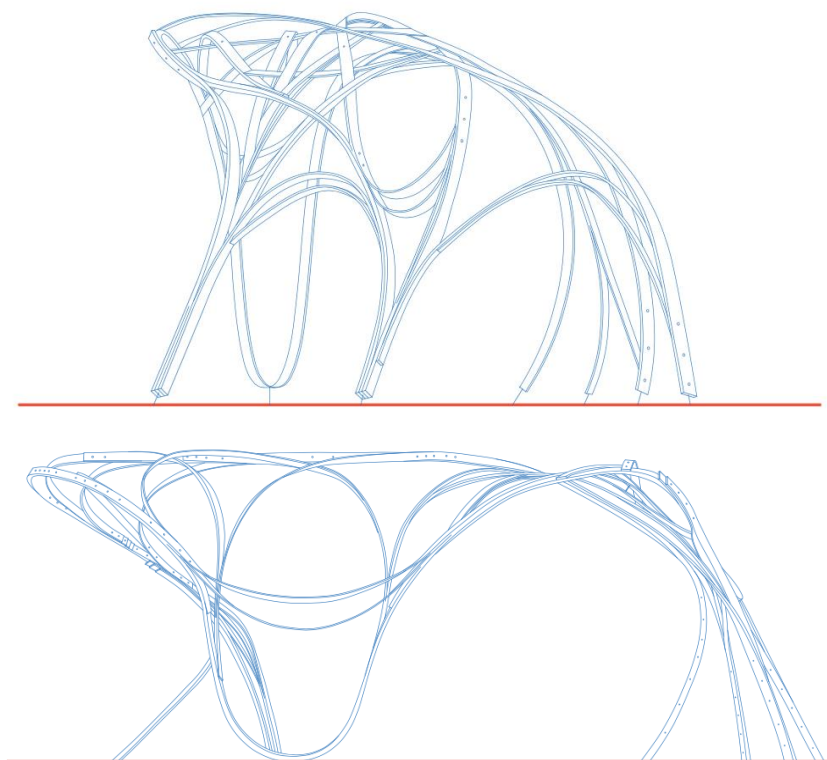


Figura 4. Elevación lateral y posterior de la propuesta. Fuente: el autor, 2022.

3 Resultados

Con el proceso de experimentación se demostró que los procesos integrales de diseño de espacios y estructuras implican una coordinación estrecha entre diversos “actores”, de las áreas de diseño, ingeniería y construcción y sus correspondientes áreas de interés y expertis. Por ello, al tener participantes de distintos niveles de la carrera de arquitectura y diferentes ingenierías, hizo que este proceso no siguiera una metodología típica o universal de diseño de anteproyectos colectivos, con participantes de una única disciplina, y dado que este tipo de ejercicios son comunes en la enseñanza del diseño del espacio. Se desarrolló desde el empirismo y la validación de posibilidades de éxito valoradas sobre la marcha. Sin embargo, se ha identificado procesos y experiencias universitarias con didácticas similares (Grau et al., 2017; Nelson, J., Nuttall, B., & Estes, 2010)(Leung, Y. S., Kwok, T. H., Li, X., Yang, Y., Wang, C. C., & Chen, 2019), que demuestran la necesidad de procesos para responder y formular nuevas

temáticas de reflexión sobre el espacio, los materiales y las formas en que se aborda la formación académica.

Por ello, se considera que la obra resultante del proceso de experimentación es “*descendiente de su tiempo*”, en este caso es una estructura orientada al reto del material y al abandono de la ortogonalidad.

A medida que los estudiantes exploran esta forma de trabajo, descubren que para comprender las posibilidades y las limitaciones de los materiales requieren de la interacción con el mismo, para que de forma consciente puedan optimizar sus ventajas y controlar sus límites o vulnerabilidades. Además, se descubre que con la técnica de curvado con vapor se puede lograr estructuras con características complejas, en las cuales, la iteración permite derivar posibles medios de conexión tectónica, ensamblajes y desarrollo de la forma general confluyendo en estructuras espaciales a escala real que abren otras posibilidades y reflexiones sobre el uso del material y las técnicas constructivas.

La experimentación sobre la técnica de “curvado de la madera con vapor”, históricamente se ha utilizado para diversos propósitos como lo es la construcción de barcos y muebles; en este caso se empleó para el diseño y experimentación de estructuras arquitectónicas concebidas como “envolventes escultóricas”, que permitan reflexiones sobre el diseño y diversas posibilidades de fabricación asociadas a la madera.

Sobre el concepto desarrollado, según los participantes, este hace referencia a la estructura como un ensayo. Alude particularmente al concepto japonés del valor de ensayar, “*zuihitsu*”, que acorde a la obra “Un Tratado de Estética Japonesa” (Richie, 2021) implica la idea de seguir el trazo del pincel, entendido en este caso el del material, y dejar que este encabece el lenguaje. La estructura es la multiplicidad de trazos que componen la cualidad estética; quien construye la deja implícita y quien la lee la infiere. Y trazos que, al haber desactivado la ortogonalidad, de ahí la analogía al F8 en el uso del software de diseño, atiende al mayor reto posible del material y de la imaginación.

El taller estuvo conformado por estudiantes de diversos niveles de arquitectura, ingeniería mecánica, e ingeniería en biosistemas y múltiples colaboradores quienes se unieron a lo largo del desarrollo del taller, de quienes emerge la estructura, a partir del diseño colaborativo y por ende con autoría colectiva, estos trabajos se muestran en la figura 5 pues cada pieza fue colocada y ajustada bajo el criterio de quienes la manipulan durante los aproximadamente cinco minutos de flexibilidad del material, otorgados por cada hora en la caldera. La experimentación si bien fue intuitiva, surge del análisis del trabajo realizado a cada paso y estuvo basada en la plasticidad del material que se logra con un proceso de modificación que lo torna flexible y trabajable

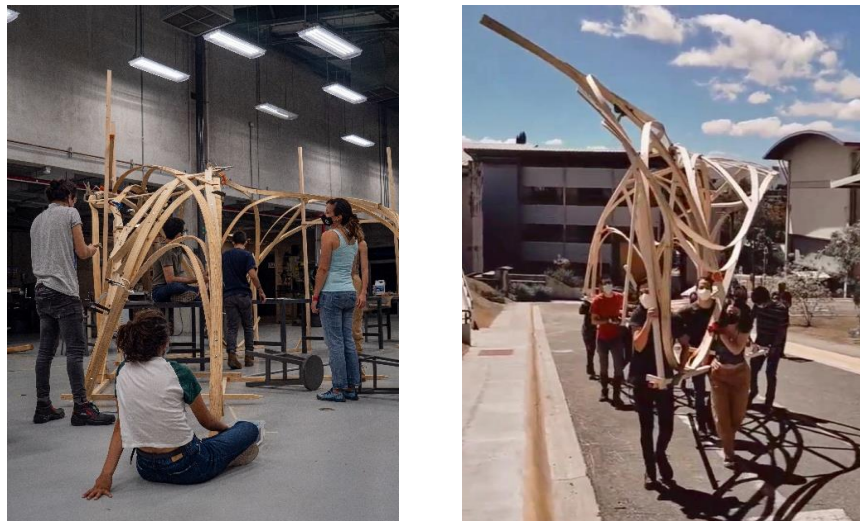


Figura 5. Fotografías proceso de diseño colaborativo (izquierda) y transporte de la estructura, apoyada sobre su andamiaje provisional (derecha). Fuente: el autor, 2022

4 Discusión

La contribución de esta experiencia en la arquitectura radica en valorar la importancia de involucrar métodos alternativos de pensamiento, reflexión de diseño y de trabajo colaborativo través de un diálogo abierto entre material, la búsqueda formal, espacial y la definición del sistema estructural, en un taller donde converjan diversos actos arquitectónicos, los cuales son valorados durante los procesos por parte de todos los participantes. Con este taller experimental, se muestra la importancia de incorporar actividades que permitan entender la lógica de los materiales y técnicas de construcción en modelos (prototipos) digitales y físicos (maquetas) que actualmente en la mayoría de las escuelas de Arquitectura raras veces convergen. Su importancia radica en que permiten atravesar el umbral entre “lo posible y lo imposible ahora posible” para cuestionar este límite imaginario y enfrentar los desafíos que se derivan al intentar asimilar nuevos conocimientos y destrezas en la construcción a escala real. Esto se ejemplifica en la figura 6 que muestra el contraste entre la realidad habitual y la ahora propuesta.

A partir de la realización del taller, quedó pendiente el reto de traducir los conocimientos y formas de medición del mundo empírico, en estrategias de diseño por medio de parámetros digitales más sofisticados y robustos, que permitan explorar más allá de los procesos lineales de enseñanza digital y teórica convencional. Ya que, se entiende que cuando los medios y las

posibilidades fabricación están divorciados del proceso de diseño, lo cual es característico en los sistemas digitales cerrados, se pone en riesgo olvidar o bien, no contemplar algunos aspectos de los procesos reales de construcción, prefabricación y montaje que pueden comprometer la integridad de una estructura o la intención del diseño.

Por último, se reflexiona sobre la importancia de complementar la técnica integral de diseño con un modelado de software paramétrico avanzado, análisis estructural y métodos de fabricación CNC (Computer Numerical Control), entre otras técnicas, para reinventar los procesos de diseño, ya que como lo propone (Schulte et al., 2011), los modelos deben ser capaces de tratar con características tradicionalmente difíciles de visualizar como la elasticidad y la recuperación elástica de un material, manteniendo un seguimiento preciso del conjunto detallado de instrucciones que se pueden comunicar a elementos de desarrollo digital.

Todo lo anterior, pensado como la fase inicial de un proceso de reflexiones y exploraciones que deben continuar y evolucionar, para adaptarse las posibilidades que ofrece multidisciplinariedad, la necesidad de adaptación tecnológica y el rescate de los conocimientos que forman parte de la cultura, identidad y coexisten con procesos en constante evolución.

Agradecimientos.

Las autoras agradecen a la Escuela de Arquitectura, al Laboratorio de Escuela de Ingeniería Mecánica, al Decanato de Ingeniería y a los estudiantes de arquitectura de la Universidad de Costa Rica que lideraron el proceso.



Figura 6. Fotografía de la estructura experimental. Fuente: el autor, 2022.

5 Referencias

- Benson, J. (2009). *Woodworker's Guide to Bending Wood: Techniques, Projects, and Expert Advice for Fine Woodworking*. Fox Chapel Publishing.
- Biskjaer, M. M., Kamari, A., Jensen, S. R., & Kirkegaard, P. H. (2019). Exploring blind spots in collaborative value creation in building design: a creativity perspective. *CoDesign*, 17(4), 374–391. <https://doi.org/10.1080/15710882.2019.1654521>
- Emam, M., Taha, D., & ElSayad, Z. (2019). Collaborative pedagogy in architectural design studio: A case study in applying collaborative design. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.03.005>
- Erkan, Ö. (2013). Interdisciplinary collaboration between interior architecture and industrial product design programs in Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 106, 1540–1547. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.174>
- Grau, G. R., Bruneau, D., Lagiere, P., Rouault, F., Rodriguez, G., & Bodennec, J. (2017). Interdisciplinary design for the development of a wood house with positive energy. *World Conference on Timber Engineering WCTE, 2016*.
- Hiziroglu, S. (2011). *Bending Wood for Hobbyists*. Oklahoma State University. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Cooperative Extension Service.
- Leung, Y. S., Kwok, T. H., Li, X., Yang, Y., Wang, C. C., & Chen, Y. (2019). Challenges and status on design and computation for emerging additive manufacturing technologies. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 19(2). <https://doi.org/10.1115/1.4041913>
- Nelson, J., Nuttall, B., & Estes, A. (2010). Interdisciplinary design: The good, the bad, and the ugly. In *2010 Annual Conference & Exposition Proceedings*, 15–791.
- Priya, R. S., Shabitha, P., & Radhakrishnan, S. (2020). Collaborative and participatory design approach in architectural design studios. *Social Sciences & Humanities Open*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2020.100033>
- Richie, D. (2021). *Un tratado de estética japonesa*. Alpha Decay.
- Riggio, M., & Cheng, N. Y. W. (2021). Computation and Learning Partnerships: Lessons from Wood Architecture, Engineering, and Construction Integration. *Education Sciences*, 11(3), 124. <https://doi.org/10.3390/educsci11030124>
- Schulte, M., Mankouche, S., Bard, J., & Ng, T. Y. (2011). Digital steam bending: recasting historical craft through digital techniques. In *Considering Research: Reflecting upon Current Themes in Architecture Research*.
- Sheine, J., Donofrio, M., & Gershfeld, M. (2019). Promoting Interdisciplinary Integrated Design Education Through Mass Timber. *Reynolds Symposium: Education by Design*.