

de-
arq

DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of
Architecture

ISSN: 2011-3188

dearq@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes
Colombia

Pinzón Latorre, Andrés

Pensar en el material: diseño y construcción de un pabellón en guadua

DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of Architecture, núm. 10, julio-, 2012, pp. 60-71

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630319008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Pensar en el material: diseño y construcción de un pabellón en guadua

Contemplating materials: the design and construction of a pavilion made of guadua

Recibido: 12 de diciembre de 2011. Aprobado: 12 de marzo de 2012.

Andrés Pinzón Latorre

Universidad de los Andes, Colombia

✉apinzon@uniandes.edu.co

Profesor del Departamento de Arquitectura,
Facultad de Arquitectura y Diseño.

Arquitecto de la Universidad de los Andes,
Master of Science in Building Sciences
en Delft University of Technology, Países
Bajos, y en Massachusetts Institute of
Technology, Estados Unidos.

Artículo de investigación derivado de
la experiencia docente del autor en los
principios técnicos y ambientales de la
concepción del hábitat, y de la teoría del
proyecto en arquitectura desde el análisis
de la forma.

Todas las tablas y figuras fueron
elaboradas por el grupo de estudiantes
de la Unidad Técnica 2010-1, coordinado
por la estudiante Catalina Díaz Vargas.
Departamento de Arquitectura Universidad
de los Andes.

Resumen

Seleccionar un material para un edificio es esencial en el proceso de diseño, porque determinará el éxito de su construcción y operación. El arquitecto debe conocer los procesos de extracción, transformación, montaje y operación de los materiales, para involucrarlos a sus ideas más tempranas. Dada la complejidad de este proceso, tanto materiales como ensamblajes tienden a solucionarse de modo convencional y poco se estudian nuevas opciones tectónicas. Este artículo explora materiales, mediante el diseño y la construcción de un pabellón para niños, desarrollado este por estudiantes de pregrado que emplean prototipos de análisis para entender y visualizar las opciones de un material como la guadua.

Palabras clave: modelación, prototipos, producción, construcción.

Abstract

Choosing the material for a building is paramount in the design process as it determines the success of the construction and building work. The architect should be aware of the processes of extraction, transformation, assembly, and function of the materials in order to be able to involve them in their earliest plans. Given the complexity of this process both the question of the materials and the entire construction tends to be resolved in a conventional way instead of being studied from the point of view of new tectonic possibilities. This article explores materials through the design and construction of a pavilion for children that was constructed by undergraduate students who use prototypes of analysis in order to understand and visualise the options available for a material like that of guadua.

Keywords: modelling, prototypes, production, construction.

Este artículo ilustra una metodología de trabajo con prototipos que se emplean para diseñar y construir un pabellón en guadua. La modelación de los aspectos técnicos de esta estructura se desarrolla por medios físicos y digitales, y es llevada a cabo por estudiantes de arquitectura de la Universidad de los Andes que se encuentran en su etapa final de carrera. En este ciclo de estudios se organizan las unidades académicas, que son la agrupación de tres cursos en torno a un tema particular de la disciplina. Cada una de estos tres cursos tiene una metodología específica de enseñanza: la teoría, el análisis y el taller. *Materializar una Idea* es el nombre de la unidad académica que aborda el tema técnico y que tiene como hipótesis la enseñanza de temas fundamentales de la arquitectura en proyectos de pequeña escala (componentes de una fachada o pabellones temporales).¹

Existe un problema para enseñar la sensualidad de lo material en arquitectura: en el taller de diseño convencional las maquetas de cartón o las modelaciones en 2D y 3D representan los materiales de un diseño; pero no representan la complejidad de su realización técnica. Por esta razón, la unidad técnica plantea un aprendizaje en lo material a partir de la experimentación con la materia misma.

Esta iniciativa tiene como antecedentes pedagógicos los talleres de proyectos en el Digital Research Lab de Architectural Association, el Digital Design Fabrication Group de Massachusetts Institute of Technology o el Hyperbody Research de Delft University of Technology. En estos casos, se incorpora la producción de prototipos e instalaciones como parte de la enseñanza y se fomentan proyectos colaborativos que acerquen a los estudiantes a la realidad del proyectar y construir un espacio.²

El estudio de la escala, de las proporciones y de las dimensiones en un espacio se puede realizar por medio de una maqueta en la cual se muestran los aspectos urbanos, los arquitectónicos y los estructurales. Sin embargo, aspectos como la rigidez, la resistencia y la materialidad de una unión estructural es difícilmente expresada. Por esta razón, en este caso de estudio se emplean *mockups*³ como medios para investigar los aspectos tectónicos de una estructura, características que no son palpables a través de maquetas.

Un *mockup* debe permitir evaluar un material para determinar sus limitaciones o sus condiciones de edificabilidad. Por ejemplo, se pueden estudiar aspectos morfológicos como la geometría, la composición y las superficies de un material por medio de uniones entre elementos. En este artículo se ilustra la construcción de *mockups* de ensamblajes en guadua. El interés por el bambú radica en su origen natural, su disponibilidad local y su pertenencia a la arquitectura vernácula. Además, porque este material, de ser un insumo dirigido a un grupo mínimo de construcciones, ha pasado a tener un rol más activo en el escenario de la construcción.⁴

1 Véase Villazón, "Aprender de lo elemental", 330-342.

2 En ambientes colaborativos de aprendizaje, los estudiantes trabajan en escenarios de prueba y observación donde los prototipos desarrollados a escala real permiten entender el funcionamiento de los espacios y las repuestas de los usuarios. Véanse: <http://ddf.mit.edu/>, <http://www.aaschool.ac.uk/> y <http://www.bk.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/hyperbody/research/research-strands/>.

3 Al estudiar detalles en el diseño de componentes estructurales, se utilizan modelos a escala real (*mockups*) para evaluar la funcionalidad de un ensamblaje. Estos, a diferencia de los prototipos, no solo visualizan conceptos, sino que también permiten análisis mecánicos. Véase Sass y Oxman, *Materializing Design*.

4 Según Jörg Stamm, el bambú es muy a menudo considerado una madera hueca y a la que se le aplican los "sistemas constructivos" de la carpintería tradicional. Sin embargo, más allá de componer simples estructuras de poste y viga, se pueden diseñar estructuras con una lógica innata al material: un tallo largo, flexible y liviano, donde se involucren el aprendizaje de nuevas técnicas para lograr luces más grandes y estructuras más versátiles, que dinamicen la arquitectura ecológica hacia nuevos escenarios. Véase Stamm, *Evolución de los métodos constructivos*.

Paralelo al diseño y realización constructiva que llevan a cabo los estudiantes con el pabellón, se enseña lo referente a la extracción, el tratamiento y la preservación del material. Sin embargo, dada la complejidad en integrar aspectos técnicos y compositivos por parte de los estudiantes, este ejercicio se enfoca en un aprendizaje de la materialidad en arquitectura a través de simulación de la realidad, propiciando una reflexión en ¿cómo se siente al tacto, y a la vista un material? ¿Es mate o brillante? ¿Es duro, blando, elástico, frío, caliente, liso o rugoso? ¿Cuáles son sus colores y texturas? ¿Cómo transformarlo y cómo ensamblarlo?

Materiales y métodos

En el segundo semestre del 2010, la unidad técnica estuvo compuesta por un grupo de dieciocho estudiantes de tercer y cuarto años de carrera. El ejercicio final consistió en el dotar a una fundación infantil no gubernamental con un pabellón de juegos. La fundación seleccionada se encarga de cuidar y educar niños en su segunda infancia (seis a diez años de edad). Como premisa de diseño, la fundación solicitaba un espacio para el desarrollo sensorial y motor, entendiendo que el movimiento continuo es característico en esta edad, en que se consolida una mayor capacidad para discriminar con los sentidos y distinguir detalles, intensidades y matices. La fundación se localiza en un contexto rural, con gran área libre; por ello se buscó generar un espacio multifuncional para la educación y la recreación de los niños en un espacio de 20 m².

Dentro de la clase se organizó un concurso arquitectónico para seleccionar una propuesta y construirla. Durante una semana equipos de dos estudiantes trabajaron en la formulación de nueve propuestas que posteriormente las evaluó un jurado externo. Los aspectos enunciados para el juzgamiento fueron: la lúdica a través del espacio planteado, la incorporación armónica del pabellón al entorno rural de la fundación, la claridad estructural y material de la edificación y la factibilidad económica y constructiva. La escogencia del ganador resultó de la deliberación de dos profesores invitados, dos estudiantes de último semestre y un representante de la fundación.

La propuesta seleccionada hace hincapié en la relación que el juego de los niños tiene con el suelo, por lo que propone un umbral mediante el cual se generen recorridos y espacios de juego entre superficies onduladas. La composición propone un bambú como elemento principal que se repite y configura estructura, cerramiento y tamiz de luz natural. A través del material seleccionado, se busca que el niño relacione su juego con la naturaleza del bosque. La estructura se compone de barras alabeadas que conforman pórticos y que se disponen a lo largo de un eje para generar el espacio interior. Como aspecto preliminar para hacer edificable la propuesta seleccionada, los estudiantes investigaron en opciones materiales, evaluando no solo su apariencia y desempeño, sino también la variable de costo (\$2.000.000) y de tiempo (tres semanas de diseño a detalle, fabricación y ensamblaje).

En esta sección se explican las fases de desarrollo del ejercicio: modelación del diseño, construcción de prototipos, producción de componentes y construcción del pabellón. Inicialmente, se trabaja en una modelación digital del diseño ganador. Como paso siguiente se elaboran prototipos de uniones estructurales para diagnosticar el desempeño mecánico del planteamiento. En una tercera fase se producen los componentes de la estructura, a partir de los planos constructivos y prototipos de estudio elaborados. Y en una cuarta etapa se estudian los métodos de montaje para construir el pabellón.

Modelación del diseño

En la etapa de modelación se emplean medios físicos y digitales. El trabajo desarrollado permite reflexionar sobre la funcionalidad de la estructura propuesta y su solución material. A pesar de que el pabellón se plantea en guadua, se estudian otras opciones materiales y se formulan nuevos interrogantes para consolidar la escogencia de un material: ¿es mejor emplear un material pesado o uno liviano? ¿Qué tan fácil es manipularlo y ensamblarlo? ¿Qué tan seguro es para el tráfico de niños? ¿Es resistente a los esfuerzos a los cuales se somete? ¿Es su superficie suave o tersa? ¿Es de fácil adquisición y es económico?

En la tabla 1 se describen las alternativas materiales que se contemplan y su valoración. Los elementos que se analizan son relativamente livianos (bambúes, tubos de cartón, tubos plásticos de PVC y madera aserrada). El resultado de la evaluación de estos elementos indica que los tubos de cartón son los más apropiados para construir el pabellón; sin embargo, a partir de pruebas de resistencia a flexión y dificultades en impermeabilizar los tubos, se optó por la segunda opción: la guadua.

Tabla 1. Selección del material

Material	Aspectos funcionales 0 (menos apropiado)-3 (más apropiado)			Aspectos físicos 1 (más apropiado)-5 (menos apropiado)					Total
	Seguridad	Manipulación	Textura	Resistencia	Peso	Costo	Forma	Tamaño	
Guadua	3	3	3	5	1	1	3	2	21
Cartón	3	3	2	5	2	3	2	3	23
PVC	3	3	1	3	3	2	1	2	18
Madera	2	3	3	5	0	1	3	3	20

Con base en esta decisión se desarrolló un estudio de modelación digital, desde el cual se analizaron las longitudes e inclinaciones de cada una de las barras de la estructura. De la misma forma, se observaron la disposición y la variación de las uniones entre elementos; esto para acercarse a la curvatura de las superficies planteadas. La precisión alcanzada con este modelo permite obtener ejes estructurales que indiquen un correcto ensamblaje de los pórticos del umbral (fig. 1).

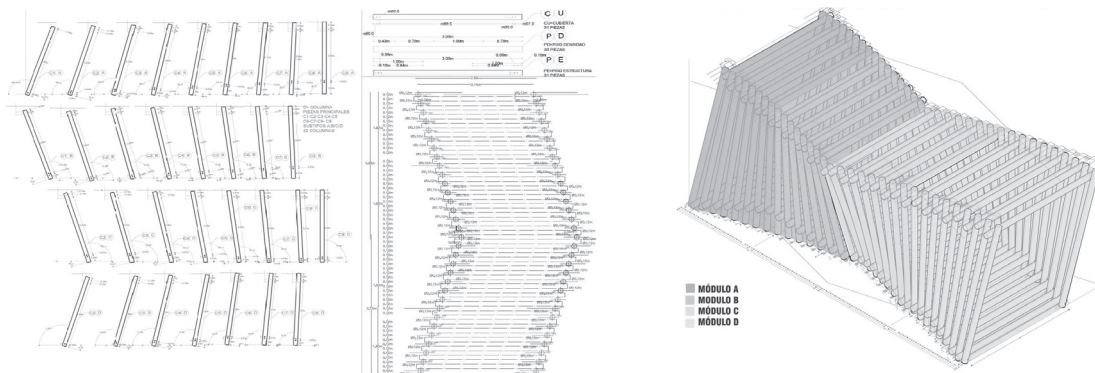


Figura 1. Modelación de los elementos estructurales.

Construcción de prototipos

Un primer prototipo consiste en modelar la unión entre viga y columna. De ahí surge el interrogante de cuál debe ser el método empleado para fijar una pieza horizontal a un par de elementos verticales, todos de sección circular. El nudo se modela con bambúes (4"Ø) de 1 m de longitud amarrados con cuerdas elásticas (*nylon*), sin entalladuras y con un elemento metálico como pasador entre los troncos. En el laboratorio de materiales se somete a carga esta unión y se obtiene un aplastamiento de las secciones y el deslizamiento de la cuerda del amarre.

Ante estos modos de falla, se desarrolla una unión con secciones compuestas (cilindro de madera dentro de la sección de bambú) y de un amarre cuadrado.⁵ Con estos cambios la unión adquiere mayor resistencia y estabilidad, y con el objetivo de asegurar una mejor continuidad en la trayectoria de las fuerzas, se estudia la posibilidad de amarrar por medio de la soga los bambúes que conforman una superficie. Esto se percibe como una especie de tejido que entrelaza las barras y que asegura la curvatura de la superficie por la tracción permanente del amarre. Lamentablemente, esta opción no se desarrolla.

En un segundo prototipo se explora la sección estructural del pabellón, por lo que se construye un pórtico no ortogonal con cuatro bambúes que se ensambla con las uniones trabajadas en el primer prototipo. Ante cargas externas, la sección es inestable, puesto que se genera

5 El amarre cuadrado es un amarre utilizado en construcciones temporales y andamios en guadua. Este permite unir piezas horizontales con piezas verticales. El amarre se inicia y se termina con un nudo ballestrinque. Véase Hidalgo, *Manual de construcción con bambú*.

un importante desplazamiento lateral. Esto se debe a la ausencia de arriostramiento. Sin embargo, la opción de disponer diagonales en los pórticos no es viable por problemas funcionales, dado que la aparición de riostras impediría el tránsito a través del espacio. Frente a esta situación, el grupo propone estabilizar el pabellón a partir de incrementar su curvatura en planta, haciendo más pronunciado la forma en s de las superficies laterales.

En el comportamiento de este segundo prototipo se evidencia que los amarres en sogas de las uniones se aflojan por causa de los momentos actuantes; a partir de esta situación, se reconfigura el diseño de la unión para que su solidaridad y rigidez dependa simplemente de elementos conectores (pernos). La sogas se descarta y se estudia, de nuevo, un prototipo a escala del nudo.

En este tercer prototipo se observa el desempeño del pasador dentro de la guadua y se definen tanto los puntos de corte o entalladura a bisel como los puntos de perforación donde serán dispuestos los pernos. Como pasador se emplea una varilla roscada que rasga la pared del tronco una vez la unión es esforzada. Para evitar las fisuras, se refuerza el bambú incrustando por fricción secciones más pequeñas de tubos en PVC, pues además de proteger el material en su perforación, el tubo en PVC mejora la resistencia al aplastamiento de la sección tubular.

Una lección fundamental de la etapa de prototipos es la necesidad de especificar las particularidades geométricas de cada uno de los elementos que componen la estructura. La precisión en longitudes y ángulos ayudará a controlar el corte y las perforaciones que se tienen que hacer en cada tronco de bambú. Los estudiantes desarrollan un método para designar los elementos de acuerdo con su localización dentro del conjunto y, de esta forma, organizar las etapas posteriores de producción (fig. 2).



Figura 2. Prototipos de conexiones estructurales.

Producción

En la etapa de producción se transfiere la información obtenida de los prototipos a la preparación de los bambúes que conformarán la estructura. Los profesores organizan comités dentro de la clase para que se adelanten roles específicos. Con esta división se pueden abordar tareas concretas, por ejemplo, elaboración de planos constructivos, búsqueda de proveedores, gestión de permisos de construcción, coordinación y planeación de procesos, etc. En este instante se da un ambiente colaborativo: la comunicación es más ágil y asertiva entre los distintos comités, los estudiantes se involucran en mayor medida hacia la toma de decisiones, en las reuniones de comités se percibe una mejor argumentación de la clase a partir de la información técnica levantada y los profesores se convierten en moderadores de las discusiones y orientan al grupo hacia una experiencia integral del ejercicio profesional.

El tiempo se convierte en un nuevo factor de decisión: al listado de tareas se asignan periodos determinados con el objetivo de lograr el montaje del pabellón en tres y media semanas (veintidós días de trabajo). En la tabla 2 se ilustra la programación de actividades planteada. Cabe destacar que dentro de este proceso tres aspectos fueron fundamentales: la revisión del presupuesto, el desarrollo de una nomenclatura para preparar los bambúes y la logística en las operaciones del corte y perforación de los troncos.

Lo primero es el presupuesto. La actualización de los rubros a partir de la información acumulada por los comités incrementa el cálculo inicial: las especificaciones finales del material, la cantidad de troncos que se van a adquirir, la disponibilidad inmediata del lote y los costos adicionales por transporte encarecen el presupuesto. Con la intención de regular la inversión en bambú, se revisa la eficiencia dada al uso del material; a partir de la cantidad de desperdicios estimados se genera una nueva modulación de los componentes y se reduce la cantidad de bambúes empleados. Al final, el rubro de mayor gasto es el del material estructural (\$1.600.000), seguido por el material del entepiso (\$400.000). El costo de los conectores (\$200.000) y del material de cubierta (\$50.000) representan una pequeña porción del presupuesto. En la tabla 3 se ilustra el presupuesto.

Lo segundo es la designación de los elementos. Al llegar el lote de guadua al taller de construcción, es primordial organizar el material según su localización en la estructura. Por esta razón, 170 bambúes de 3 m de longitud se clasifican a partir de su variación dimensional (sus diámetros difieren entre 2 y 3 cm), a pesar de que se esperaba que los troncos tuvieran en su totalidad 12 cm de diámetro. Como se creía que todos eran de la misma dimensión, el grupo reclasificó el lote y lo agrupó buscando generar pórticos con troncos del mismo diámetro. Los elementos se marcaron asignando siglas: estructura horizontal de piso (PE), estructura horizontal de cubierta (CU), estructura vertical lateral (C) y acabado de piso (PD). Adicionalmente, se numeró cada tronco para tener claridad a cuál de los 32 pórticos del pabellón pertenecía.

Tabla 2. Programación de actividades planteada para la construcción del pabellón

Actividad		Responsable	Noviembre														Diciembre													
			M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V			
Ajustes de diseño	Realización de Modelos y Planos	Federico Márquez, Diego Castro																												
	Realización de maquetas detalle	Esteban Márquez y Pinilla	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	Realización maqueta 1:20	Ma. Angélica, Miguel C. Federico, Sebastián Camacho, Gaona, Pinilla, Julián, Juliana, Isaac, Gabriela																												
	Solución de problemas de diseño	Todo el taller																												
Compra de materiales	Compra de materiales de muestra	José Pablo Mora Gaona, Catalina Díaz, Julián Fernández																												
	Cotización	Mariana Orozco y Catalina Díaz																												
	Pedido																													
	Pago y recibo																													
Solicitud de permisos	Hacer la gestión con las personas y departamentos encargados de las autorizaciones para la implantación del pabellón en un espacio público de la universidad	Catalina Díaz																												
Presupuesto	Elaboración y aprobación del presupuesto	Mariana Orozco y Catalina Díaz																												
	Recolección de dinero																													
Construcción	Repartición de roles	Federico Tisnés y Sebastián Camacho																												
	Solicitud de herramientas	Mariana Orozco y Catalina Díaz																												
	Recepción de la guadua	Todo el taller																												
	Organización y clasificación de la guadua	Equipo de carga																												
	Inventario de materia prima y herramientas	Mariana Orozco y Catalina Díaz																												
	Medición	Equipo de medición																												
	Corte de guadua	Equipo de corte																												
	Taladrar	Equipo de taladrar																												
	Montaje																													
	Revisión y chequeo	Federico Tisnés y Sebastián Camacho																												
	Apoyo																													
Presentación	Presentación a los profesores	Todo el taller																												
Desmonte	Desarmado y empaque del pabellón	Todo el taller																												

Tabla 3. Presupuesto estimado para la construcción del pabellón

Sistema	Ítem	Proveedor	Unidad	Precio unitario (pesos)	Cantidad	Precio total (pesos)	Descuento (%)	Descuento en pesos	Precio final (pesos)
Sistema estructural	Guadua	Guadua y Bamboo Colombia	Vara x 3m D=10-12 cm	12.000,00	130	1.560.000,00	10	156.000,00	1.404.000,00
	Varilla roscada 3/8	Bogotana de tornillos	Unidad (25 cm)	700,00	260	182.000,00	0	-	182.000,00
	Tuercas 3/8	Bogotana de tornillos	1 tuerca	40,00	520	20.800,00	0	-	20.800,00
	Arandelas 3/8	Bogotana de tornillos	1 arandela	35,00	520	18.200,00	0	-	18.200,00
Subtotal									1.625.000,00
Sistema de cubierta	Polietileno C6	Ferretería El triunfo LTDA	Kilo	4.640,00	5	23.200,00	0	-	23.200,00
Subtotal									23.200,00
Sistema de pisos	Guadua	Guadua y Bamboo Colombia	Vara x 3m D=10-12 cm	12.000,00	30	360.000,00	10	18.000,00	342.000,00
	Cuerda 1/2 Pulgada	Ferretería Mallas y anejos	Metro	1.500,00	30	45.000,00	0	-	45.000,00
Subtotal									387.000,00
Otros	Transporte guadua	Guadua y Bamboo Colombia		150.000,00	1	150.000,00	0	-	150.000,00
	Brocas 3/8	Home Sentry	1 broca	4.000,00	10	40.000,00	0	-	40.000,00
	Brocas 1/2	Home Sentry	1 broca	13.000,00	2	26.000,00	0	-	26.000,00
	Imprevistos 20%			-		-		-	450.240,00
Subtotal									216.000,00
Total									2.251.200,00

Nota: los precios incluyen IVA.

Lo tercero es cortar y perforar los troncos de guadua. Con una sierra de disco se generan cortes angulados en los extremos de la guadua. El ángulo depende de la sigla y el número escrito sobre el tronco. Las perforaciones se efectúan en el espacio entre los nudos del tronco por medio de un taladro (3/8"Ø). El ensamble entre elementos se realiza atravesando una varilla roscada a través de las perforaciones de los troncos; las tuercas y las arandelas se usan para asegurar las conexiones (fig. 3).

Construcción

En las etapas previas los estudiantes desarrollaron un método para entender un material como la guadua. Ahora, en la etapa final de construcción, se comprueban las enseñanzas acumuladas y se corrobora la eficacia del diseño planteado. El grupo mismo se encarga del montaje del pabellón, cuyo presupuesto no debe sobrepasar los \$2.000.000, y cuyo ensamblaje debe permitir montar y desmontar la estructura sin mayores equipos constructivos.

Como la presentación final del ejercicio va más allá de la representación del proyecto en planos, el grupo debe revisar, de nuevo, las deci-

siones tomadas para tener la factibilidad de que el proceso constructivo es simple. Los elementos o uniones que no satisfacen esta nueva evaluación técnica son reconfigurados, y las actividades constructivas se planean para que no requieran una mano de obra calificada. De esta forma, se decide que el ensamble de los marcos se debe hacer horizontalmente, agrupando los pórticos en cuatro módulos (cada uno con ocho pórticos) que se puedan erigir sin asistencia mecánica. La construcción resulta en un montaje fácil y eficiente, y los estudiantes confirman que la estructura construida es estable y que las uniones entre elementos tienen un buen desempeño técnico y material (fig. 4).

Resultados

En el presente caso, los estudiantes de pregrado generaron un modelo en CAD (diseño asistido por computador); posteriormente, planos constructivos, y desarrollaron modelos tridimensionales. Los prototipos se emplearon para analizar el desempeño de distintos nudos estructurales en el laboratorio de materiales. Esto fue un proceso de tiempo limitado y permitió concentrarse en distintos problemas técnicos del diseño. A partir de la información obtenida en las distintas etapas, se avanzó exitosamente hacia el propósito final: construir el pabellón (fig. 5).

En la etapa de modelación, los estudiantes aprendieron a manejar distintos *software* (AutoCAD, Rhinoceros, etc.) que involucraran la noción de diseño digital. Distintos temas se trataron a partir de la especificidad del diseño del pabellón: superficies de doble curvatura a partir de elementos lineales, conexiones de elementos en ángulos no ortogonales, reforzamiento de cavidades, etc. El método digital ayudó a plantear múltiples opciones de ensamblaje y a modificar algunos parámetros del modelo en *Rhinoceros*. Este *software* facilitó la construcción digital de los componentes de la estructura, gracias a su interfaz de visualización en dos y en tres dimensiones. De esta forma, la comprensión espacial del proyecto y sus particularidades geométricas fue más eficiente en términos de tiempo.

En la etapa de prototipos se valoró la experimentación en la guadua a través de prototipos *mockups* de las uniones, que sirvieron para que el grupo visualizara el rol del material en el pabellón plantado. Por ejemplo, al someter a carga los nudos, se observaron los modos de deformación y falla, y con base en estos se mejoró el ensamblaje. De igual forma, las pruebas mecánicas sirvieron para especificar las características de elementos conectores (varillas roscadas en acero inoxidable de 0,3 m de longitud y 3/8"Ø) y para calibrar el diámetro de las perforaciones (huecos de 1/2"Ø en lugar de huecos de 3/8"Ø).

En la etapa de producción, el logro consistió en vincular a los estudiantes con el hacer. La participación del grupo en la construcción fue activa y colaborativa, y el interés de materializar un proyecto llevó a profundizar en el conocimiento del bambú en solo un par de sema-

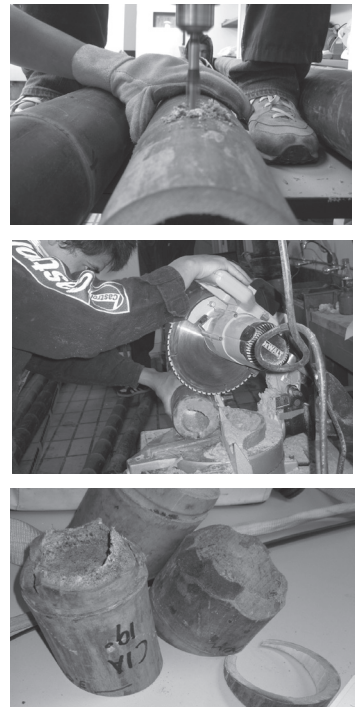


Figura 3. Corte y perforación de los troncos de guadua.



Figura 4. Construcción del pabellón en el campus de la Universidad.



Figura 5. Pabellón construido. Fuente: Grupo de estudiantes de la Unidad Técnica 2010-1, Departamento de Arquitectura, Universidad de los Andes

nas. El corte y la perforación de los troncos fueron procesos rápidos y precisos, y se trabajó con herramientas de fácil manipulación: sierras ingletadoras y taladros. El uso del material fue racional y los desperdicios fueron mínimos.

Conclusiones


Este ejercicio constituyó para los estudiantes una ayuda en su aprendizaje de lo técnico, porque se confrontaron temas pertinentes en el uso de un material de construcción. Por ejemplo, la clase tuvo un rápido entendimiento espacial, estructural y constructivo del pabellón planteado, a través del evaluar los prototipos descritos. Con ejercicios convencionales (planos de corte de fachada o maquetas a escala), la asimilación de las variables técnicas del material es más lenta.

Los profesores participaron de forma activa en el desarrollo del ejercicio, porque se involucran en los distintos ambientes generados por el método de trabajo. Su tutoría no fue exclusiva en corregir el proyecto desde el salón de clases, puesto que las prácticas en el laboratorio de materiales, la coordinación de los procesos en el taller de construcción y la asistencia en el montaje del proyecto enriquecieron la actividad docente.

La interlocución entre estudiantes, profesores y técnicos adquirió mayor solidez, porque hubo una integración desde el principio hasta el fin en la toma de decisiones. En función de la responsabilidad social adquirida (donar el pabellón a una fundación), hubo mayor compromiso por parte de los participantes de este proyecto colectivo. La interacción vivida en el proceso fomentó las discusiones, las enseñanzas y los afectos por lo material de la arquitectura.

La construcción semestral de un pabellón ha constituido un escenario de investigación en materiales, porque en cada versión hay una reflexión técnica sobre un diseño en particular. En semestres previos, el cartón laminado, los tableros de virutas orientadas (OSB, por su sigla en inglés), los textiles plásticos o los prefabricados en concreto han constituido parte de la exploración de los estudiantes. Nuevas opciones para interpretar materiales surgen por medio de esta experimentación.

Los prototipos facilitaron la comprensión del material porque no solo son un medio de representación, sino también un medio de trabajo. Por ejemplo, las uniones entre elementos tuvieron transformaciones importantes a partir de los modos de falla observados. Con maquetas convencionales (en cartón) estas pruebas y la evolución en el uso del material (soluciones en dimensiones de los elementos, secciones compuestas, uniones a partir de conectores) no serían posibles.

El conocer cómo están hechas las cosas determina la realización técnica de un diseño. Este ejercicio inculcó el hacer como método de investigación. Escenarios futuros pueden involucrar a la industria especializada o a otras disciplinas, como la ingeniería civil, para ampliar el interés en la metodología planteada. 

Bibliografía

Aristizábal, Virginia. *Guía para autoconstrucción utilizando la guadua como elemento principal*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira-Corporación Colombia Alemana, 2005.

Deplazes, Andrea. *Construir la arquitectura: del material en bruto al edificio. Un manual*. Barcelona: Gustavo Gili, 2010.

Fernández, John. *Material Architecture: Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction*. Amsterdam: Architectural Press, 2006.

Hidalgo, Óscar. *Manual de construcción con bambú*. Bogotá: CIBAM-Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia, 1981.

Janssen, Jules. *Building with Bamboo: A Handbook*. London: Intermediate Technology, 1995.

Sass, Larry y Rivka Oxman. "Materializing Design: The Implications of Rapid Prototyping in Digital Design". *Design Studies* 27 no. 3 (2006): 325-355.

Stamm, Jürgen. "La evolución de los métodos constructivos en bambú". Documento presentado en el Segundo Congreso Mexicano del Bambú, Puebla, México, 2008-

"Unidad temática: materializar una idea", 2010. <http://pabellonguadua.wordpress.com/>.

Villazón, Rafael. "Aprender de lo elemental: modelo didáctico para la enseñanza de la arquitectura". Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAB), Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2010.