



APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO EN EL DESARROLLO DE UNA ESTRUCTURA EN BAMBÚ: GALERÍA DE PASSIFLORAS

APPLICATION OF THE PARAMETRIC DESIGN IN THE DEVELOPMENT OF A BAMBOO STRUCTURE: PASSIFLORAS GALLERY

Guerrero, Héctor⁽¹⁾ *; Coca, Sindy⁽²⁾; Montaña, Jan⁽³⁾; Parada, Catherine⁽³⁾; Suárez, Alejandra⁽³⁾

⁽¹⁾ Arquitecto/Magister en arquitectura. Universidad Nacional de Colombia/Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia

⁽²⁾ Arquitecta/Magister en Construcción. Facultad de artes, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

⁽³⁾ Estudiante de Arquitectura. Facultad de artes, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

* Contacto: hguerrero@gmail.com

CÓDIGO: 4610969

Resumen

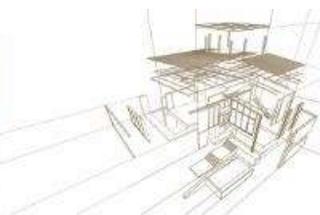
El diseño paramétrico es una técnica de diseño en la que se relacionan variables y parámetros para configurar el proceso que da como resultado un objeto proyectado; en esta investigación se busca aplicar este método por medio del software Grasshopper para diseñar una galería -ubicada en el edificio de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá- que permitirá analizar las relaciones entre las plantas passifloras y sus polinizadores. Adicionalmente, posibilita la exploración del uso del *Bambusa vulgaris* en la construcción. El proyecto se desarrolla en 4 fases: Implantación del proyecto, exploración formal del diseño arquitectónico, definición del proyecto arquitectónico y constructivo, y construcción de un módulo del proyecto. En la primera fase se establecieron los factores tangibles e intangibles que influyeron en la implantación de la galería, a cada uno se le asignó un valor numérico con el cual se realizó la parametrización de los ejes que relacionan el proyecto con el contexto. Posteriormente, a partir de los ejes obtenidos, en la segunda fase se desarrollaron 5 propuestas de aproximación formal; de las cuales se escogió la opción que mejor respondía a los requerimientos. Finalmente, con la propuesta resultante, se llevó a cabo la tercera y cuarta fase realizando los ajustes pertinentes mediante el mismo software.

Palabras clave: Diseño paramétrico, Grasshopper, Construcción en Guadua.

Abstract

Parametric design is a technique for designing in which variables and parameters are related to configure the process that results in a projected object; this research seeks to apply this method to design a gallery – located in the Biology’s building for the National University of Colombia, Bogotá- which will allow analyzing the relationships between passiflora plants and its pollinators. Additionally, the gallery permits the exploration of the use of *Bambusa vulgaris* for construction. The project is developed in 4 phases: Implantation of the project, formal exploration of the architectural design, definition of the architectural and constructive project, and construction of a module of the project. In the first phase, were established the tangible and intangible factors that had an influence in the implantation of the gallery; to each of them were assigned a numerical value with which was made the parametrization of the axes that relate the project with the context. Subsequently, from the obtained axes, in the second phase 5 proposals of formal approach were developed; among these, was chosen the option that best responded to the requirements. Finally, with the resulting proposal, the third and fourth phases were carried out, making the relevant adjustments during the process using the same software.

Keywords: Parametric design, Grasshopper, Bamboo construction.



1. Introducción

El departamento de Biología de la sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia se ha propuesto retomar parte de los diseños originales que Leopoldo Rother planteó para el sector que ocupan actualmente. Para lograr este fin, requieren del diseño de una galería que permita organizar el Jardín de interacciones planta-animal que tienen proyectado para el área colindante a su edificio. Esta estructura es diseñada, con ayuda de Grasshopper - una herramienta para la aplicación de diseño paramétrico-, con el fin de integrar esta metodología de trabajo y aplicarla a estructuras en Bambú usando la especie de *Bambusa vulgaris*, explorando formas alternativas de emplear este material en la construcción de un módulo que se repite para conformar una estructura a manera de pérgola para la cual se diseñan tres propuestas; adicionalmente se presentan dos configuraciones para un módulo central que articula los ejes de circulación del proyecto.

2. Metodología

Para el desarrollo del Jardín de interacciones planta-animal primero se consultaron los diseños de Rother y la zonificación que se maneja en la ciudad universitaria. Al mismo tiempo, se indaga acerca del diseño paramétrico que posteriormente fue aplicado en una propuesta general de implantación; finalmente se desarrollaron las propuestas de diseño para la galería de passifloras.

2.1. Propuesta de Rother

La idea de construir una pérgola proviene de recuperar las ideas planteadas, desde 1936 por el botánico Enrique Pérez Arbeláez, de crear espacios para la investigación para los que Rother diseñó una propuesta en 1950 (**Fig 1**). En este se evidencia “la proyección de un Jardín Botánico, que incluye un gran invernadero tropical, pérgolas para plantas trepadoras de distintas especies (**No. 3. en la Fig 1**): *Palmetum*, *Criptogamium*, *coníferas*, *plantas acuáticas*, *roquedal*, *rosaleda*, etc; además de pabellones adicionales de investigación, invernaderos y zonas de cultivo a cielo abierto”. (Marquínez, 2017, p.33).

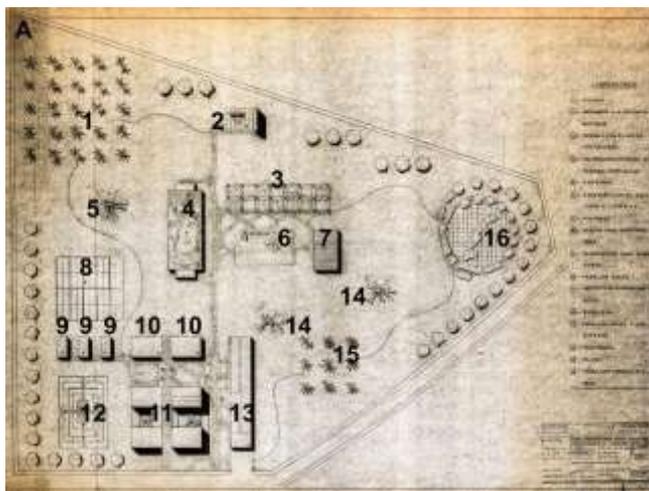


Figura. 1: Plano de la propuesta del conjunto, Leopoldo Rother, 1950

Este jardín se plantea en el área en el que actualmente se encuentra el edificio de Biología



del campus de la sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia. La propuesta se organiza en módulos a manera de rejilla de diferentes tamaños configurados por elementos construidos y naturales. Con base a este plano y a los que detallan el diseño del edificio principal (**Fig 2**), se puede inferir que el acceso principal está dado por la parte sur del sector -ubicado en la parte inferior del plano- de igual manera que ocurre en la actualidad; y se comunica vehicularmente con el resto de la universidad por el camino que deriva del anillo vial.

En el conjunto se ubican como elementos naturales: agrupaciones de palmas (1 y 15), coníferos (5), lago para plantas acuáticas o litorales (6), rosalada (12), criptógamas (14) y rocas con terraza elevada (16). Para completar el conjunto, los elementos construidos son: monumento a la expedición botánica (2), pérgola con plantas trepadoras (3), invernadero principal (4), pajarera (7), sección para investigaciones (8), invernadero para investigaciones (9), pabellones anexos (10 y 13) y el instituto de ciencias naturales (11).

De manera intencionada o no, en la actualidad el espacio construido comparte algunas similitudes con los diseños de Rother; además del edificio principal -que, como se mencionó anteriormente, corresponde al departamento de Biología- se ha hecho un esfuerzo por construir espacios para investigaciones como los invernaderos y el lago artificial que se encuentra en el sector. Si bien las plantas existentes no son de especies similares a las pensadas por Rother, se encuentran varios ejemplares de árboles y passifloras -junto con un ecosistema completo- que permiten adelantar las actividades investigativas y académicas de la facultad.

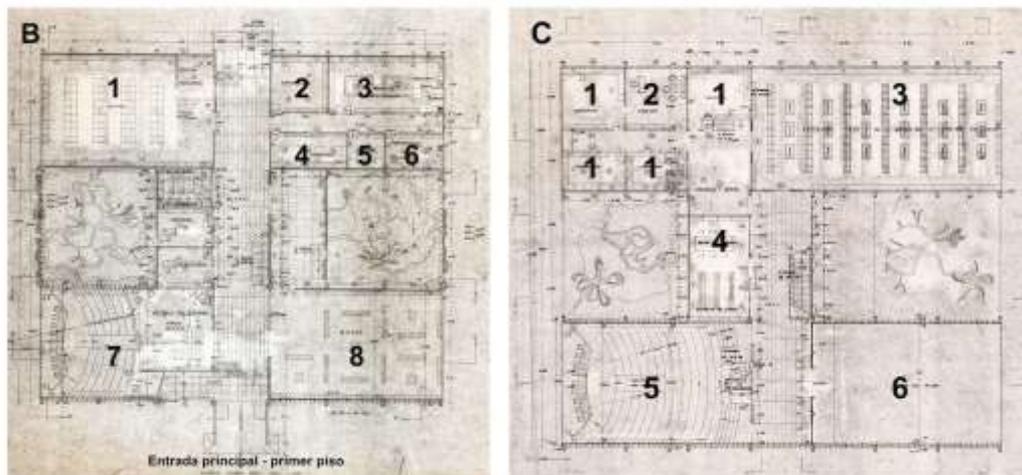
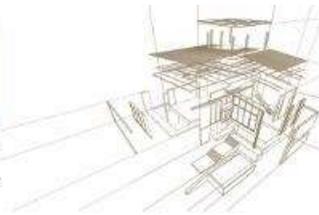


Figura 2: Plano de la propuesta para el edificio principal, Leopoldo Rother, 1950

2.2. Diseño paramétrico

Para continuar el aporte a la construcción de elementos que faciliten la investigación de las interacciones planta-animal, se utiliza como herramienta el diseño paramétrico para proponer la galería (que hace las veces de pérgola del diseño de Rother). El diseño paramétrico es un recurso de diseño en el cual, a partir de las relaciones entre las partes, se construye una red de parámetros que modifican el objeto proyectual dependiendo de la evaluación y selección de los resultados obtenidos o de los criterios estéticos y funcionales requeridos (Navarrete, 2014). La implementación de esta metodología en el



proceso de diseño permite la exploración integral de nuevas posibilidades estéticas condicionadas por aspectos variables, de acuerdo a los parámetros establecidos por el diseñador.

Según García y Lyon el diseño paramétrico se puede implementar al proyecto arquitectónico en tres etapas: a) en la definición de la forma a través de procesos generativos (dependientes de los antecedentes); b) para conciliar aspectos formales según criterios específicos; c) en una post racionalización en la que se refinan características formales de elementos específicos ya definidos en términos generales.

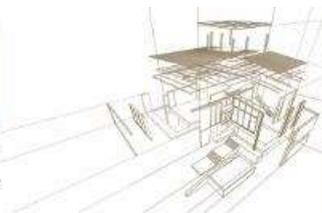
Una de las ventajas que conlleva la utilización de esta herramienta, es que facilita la participación de diferentes disciplinas, lo que abre la posibilidad a que converjan al mismo tiempo los requerimientos técnicos y estéticos, estableciendo una generación flexible y colectiva tanto del proceso de diseño como de ejecución (Roa 2014) ; esto implica una actitud diferente del arquitecto con relación al proyecto, la tarea creativa se entiende como un proceso conjunto en el que el equipo de trabajo se comunica por medio de diversos sistemas digitales empleados (García y Lyon 2013).

Para este caso se utiliza Grasshopper, un plug-in del programa Rhinoceros que permite plasmar el proceso proyectual por medio de un lenguaje similar a la programación de un objeto o programa. En este se pueden establecer parámetros modificables fácilmente que condicionan la apariencia visual del objeto proyectado. Permitiendo geometrías complejas, orgánicas y/o no convencionales, una de las características solicitadas por el equipo de biología.

2.3. Implantación

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se escogió el área adjunta al edificio de Biología de la Sede Bogotá; en el proceso se realizaron varias visitas al lugar con el fin de hacer una caracterización y levantamiento del sector, de igual manera se observaron los principales flujos que determinaron los ejes del proyecto. Con la información recolectada, se fijaron dos ejes principales (en rojo en la Fig 3) a partir de los principales recorridos de personas en el lugar: el primero fue la conexión de una salida lateral del edificio, en donde se encuentra la bodega de herramientas y un semillero, con el espacio de las huertas; el segundo, un camino peatonal paralelo al edificio por donde ingresa la maquinaria que hace el mantenimiento al lago. Posteriormente se definieron tres ejes restantes (en azul en la Fig 3) entre los espacios de siembra; adicional a los cinco ejes, también se estableció un punto central (en Naranja en la Fig 3) que surge de la intersección del eje proveniente del acceso al edificio con dos ejes complementarios.

Se prosiguió determinando los factores tangibles e intangibles que afectarían el funcionamiento del proyecto, a cada uno se les asignó un valor numérico -en un rango de -10 a 10- que cuantificaba su influencia en la modificación del paso de los ejes anteriormente demarcados (**Fig 3**). Dentro de los aspectos tangibles se definieron los ya existentes: Jardín de siembra permanente (8), Jardín experimental semestral (10), Jardín de proyectos a mediano plazo (8), Jardín de Hongos (8), además de la cafetería (7), el lago (-1), la bodega de herramientas(5), la subestación eléctrica (0), la salida lateral del edificio de Biología (8), el sendero peatonal (6) y el edificio de residuos químicos (-4). Dentro de los valores intangibles se definió principalmente un requerimiento de altura de



la galería, ya que debía ser una estructura en armonía con el paisaje y que a su vez tuviera relación visual con la cafetería.

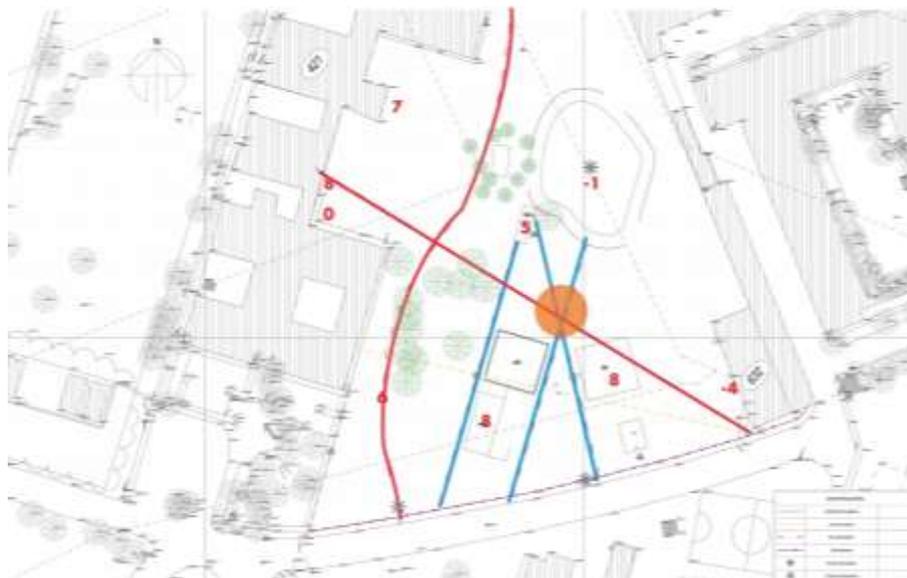


Figura 3: Plano de ejes y atractores.

Finalmente, a partir de los valores numéricos se realizó la parametrización de los ejes - usando atractores que hacían que los ejes se modificarán acercándose o alejándose de a los diferentes puntos dependiendo del valor numérico dado previamente-, que relacionan el proyecto con el contexto (**Fig 4**), y sobre los cuales se dispondrá la galería a manera de recorrido y en el punto central un elemento como nodo articulador de los recorridos.

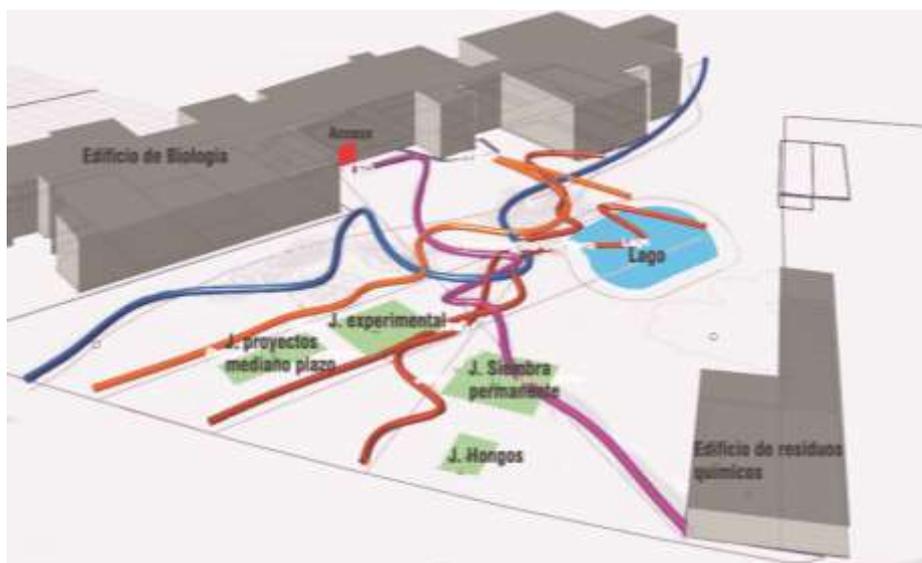
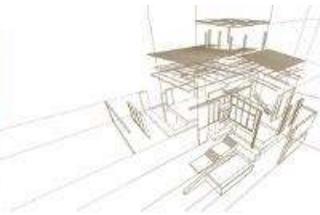


Figura. 4: Modificación de ejes en relación a los atractores.

2.4. Bambusa vulgaris

La *Bambusa vulgaris*, conocida como bambú común, como su nombre lo indica es un tipo de bambú cultivado favorablemente en los trópicos húmedos presentes ampliamente en varias zonas de Colombia, pues su crecimiento se presenta de mejor manera en suelos



húmedos, arcillosos densos o cualquier tipo de suelo que retenga la mayor cantidad de humedad posible pero al mismo tiempo se puedan drenar o tengan períodos de inundación cortos (Francis, 1993 p. 73). La lignina presente en los tejidos del bambú se convierte en una estructura liviana y flexible pero dura, de manera semejante a los tejidos de la madera, por lo que es resistente a los esfuerzos de flexión, tensión y compresión (Lucila Aguilar Arquitectos, 2018).

Esta planta llega a medir entre 10 y 20 metros, alcanzando diámetros que oscilan entre los 4 y 13 centímetros (Francis, 1993 p. 75); a pesar de que su crecimiento en altura puede tardar alrededor de 3 meses, adquieren la resistencia apta para la construcción pasados los 4 años (Lucila Aguilar Arquitectos, 2018).

3. Propuestas

Para el diseño de la galería para el proyecto “Jardín de interacciones planta-animal” se generaron 5 propuestas bajo la aplicación de diseño paramétrico. Se tuvo como restricciones el largo de los elementos de bambú de 3 a 4 metros (por el tema del transporte) y como parámetro uno de los parámetros su grosor. En estas se exploran las diferentes posibilidades de configuración formal con el bambú, utilizándolo en su forma natural como recta o modificándolo para lograr varios tipos de curvatura; estas operaciones se emplean en las siguientes propuestas de diseño, para los recorridos: estructura helicoidal, estructura a partir de paraboloides y ala y para el elemento articulador: central de arcos y tejido.

a. Estructura helicoidal

Esta propuesta, para recorrido, se basó en la estructura de la cadena de ADN, a partir de dos ejes directrices: el primero una hélice y el segundo, una curva a nivel de suelo, los dos ejes se conectan mediante elementos rectos en bambusa vulgaris que se disponen para que las plantas puedan trepar y con el fin de dar estabilidad a la estructura.

En cuanto a espacios relacionados a la función de la pérgola se plantea que las zonas altas de la estructura son para recolectar muestras y para actividades relacionadas con investigación, las zonas bajas para estar, observar y mantenimiento y espacios a manera de umbrales de paso para atravesar la estructura (**Fig 5**).

Las variables que se establecieron para la propuesta fueron la cantidad de giros de la hélice, radio de giro, espesor de la guadua, cantidad de elementos rectos y espacio de los umbrales de paso.

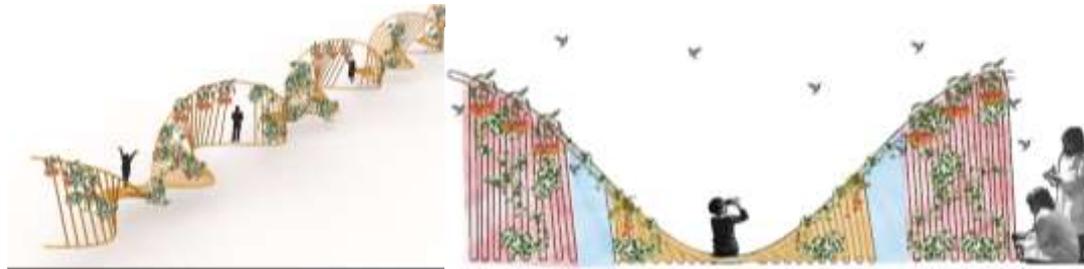
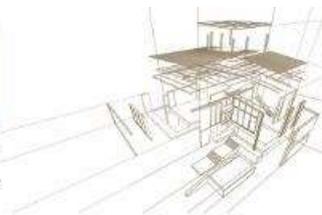


Figura 5: Propuesta helicoidal.

b. Estructura a partir de paraboloides



Figura 6: Propuesta con paraboloides.

Para esta propuesta (**Fig 6**) se consideró la estructura recta que presenta la bambusa vulgaris y se utilizó el paraboloides, una posibilidad geométrica de generar curvas visualmente a partir de una sucesión de rectas que se mueven en el espacio siguiendo dos trayectorias en cada uno de sus extremos. La estructura hace las veces de cubierta y está elevada por apoyos que conforman estructuras triangulares que dan mayor estabilidad al conjunto.

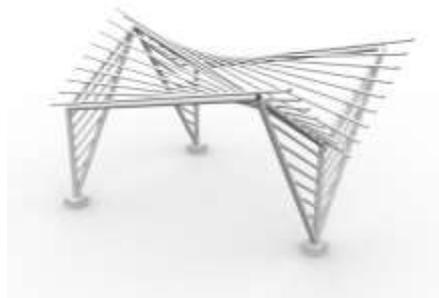


Figura 7: Módulo propuesta con paraboloides.

Por requerimientos de diseño y construcción, se diseñó un módulo (**Fig 7**) susceptible de repetirse las veces que sea necesario hasta completar el recorrido. Los parámetros modificables son: el ancho del módulo, la altura de la cubierta con respecto al suelo, la altura del paraboloides, el número de viguetas del paraboloides, el ancho de los aleros del paraboloides, la separación entre apoyos y el diámetro de los elementos.

c. Ala

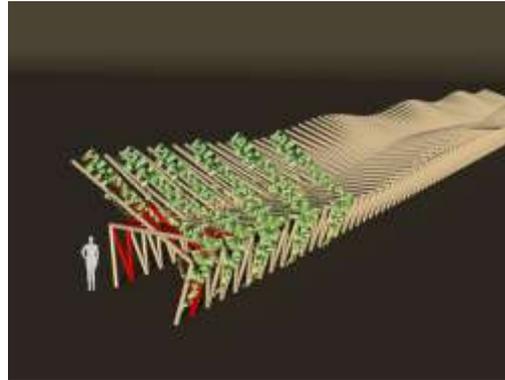
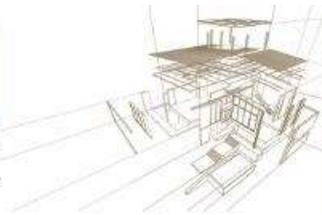


Figura 8: Propuesta Ala

Esta propuesta (**Fig 8**) se enfocó en el trayecto, utilizando dos estructuras trianguladas, cada una a un costado del eje, apoyándose entre sí generan un arco en forma de pentágono irregular y dos cubiertas sobresalientes en cada costado. La repetición de este módulo genera el recorrido, donde cada iteración modifica la altura de la cubierta sobresaliente. La modificación está basada en el aleteo de los colibríes buscando generar distintas ondulaciones para el análisis de las trepadoras.

Los variables de diseño son: ancho de la galería, altura quiebre de la estructura, ancho del módulo, la función del aleteo de la cubierta, diferencia entre la cubierta y la galería.

d. Central de arcos

Esta propuesta (**Fig 9**) está pensada para el módulo central en el que se interceptan los ejes del proyecto. Se construye a través de la curvatura de la *Bambusa* en arcos que se unen en dos círculos: uno exterior y el otro interior. En medio de estos se plantea la circulación que permite cambiar de eje en el recorrido. En el centro se generan espacios al aire libre para dictar clases o dar generalidades acerca de las instrucciones en el proceso de investigación, como fue requerido.



Figura 9: Propuesta central de arcos.

Los parámetros modificables son el radio de las circunferencias, la cantidad de divisiones de cada circunferencia -divisiones que conformarán los arcos- y el espesor del bambú.

e. Tejido



Esta propuesta está pensada para el punto central en la intersección de los ejes; Su exploración arranca inspirada la forma de un árbol y de algunas estructuras laminares tipo sombrilla, inicialmente con elementos curvos (**izq, Fig 10**) que se unían por medio de tres anillos (inferior, medio y superior), pero por facilidades constructivas se migró a una propuesta con elementos rectos (**der, Fig 10**), basada en la geometría de un hiperboloide de revolución. Esta está compuesta de dos circunferencias: una superior y otra inferior y entre las circunferencias elementos rectos. Como parámetros modificables tiene: tamaño círculo superior, tamaño círculo inferior, altura y número de elementos.

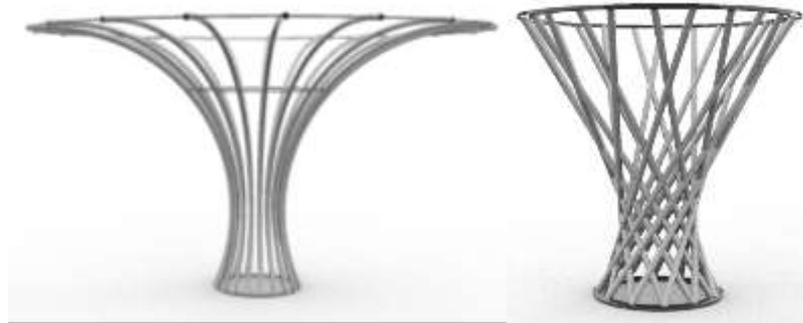


Figura 10: Propuesta central de Tejido.

4. Conclusiones

El diseño paramétrico como herramienta proyectual permite la exploración formal de los proyectos a partir de parámetros establecidos, (técnicos, arquitectónicos, estructurales). También se utilizan las herramientas adicionales que facilitan la construcción de las estructuras; el software genera el cálculo de las piezas necesarias para la materialización y ensamblaje del objeto diseñado a partir de las dimensiones del bambú.

La exploración permitió obtener propuestas arquitectónicas y estructurales poco convencionales para las construcciones en Bambú, con geometrías complejas. La construcción del prototipo se encuentra pendiente debido a que se encuentra en trámite los recursos económicos para su ejecución.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en colaboración con el Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y en el marco del Grupo de Investigación de Madera y Guadua de la misma institución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Francis, J (1993). *Bambusa vulgaris* Schrad ex Wendl. Common bamboo. SO-ITF-SM65. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.



García, R.; Lyon, A. (2013). Diseño paramétrico en Arquitectura. ARQUISUR Revista, 3(3), 20-31.

Lucila Aguilar Arquitectos (2018). Manual de construcción con Bambú.

Marquín, X.(2017). La Naturaleza como laboratorio: La influencia Alemana en las ciencias biológicas.

Navarrete, S. (2014). Diseño paramétrico: El gran desafío del siglo XXI. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (49), 63-72.

Roa,R. (2014).El diseño paramétrico aplicado a las soluciones y detalles constructivos.

Romero Méndez, M., Rodríguez Ortiz, J., Lara Compeán, I., Betancourt Urbina, M., Alcalá Jáuregui, J., Villarreal Guerrero, F., & Cárdenas Martínez, A. (2017). Prototipo de invernadero con estructura de bambú: selección de materiales, diseño e impacto ambiental. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1059-1072.

Valero, S. W., Reyes, E., Contreras, W (2005). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del Bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del Río Chama, municipio Francisco Javier Pulgar, Estado Zulia, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, (37) 87+.