



El Diseño Paramétrico como herramienta de proyectual para la generación geométrica y optimización estructural

FERNÁNDEZ SAIZ, María del Carmen

Arquitecta, Taller de Investigación y Diseño Estructural, T.I.D.E., Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, mfernandezsaiz@yahoo.com.ar

CULASSO, Gabriela

Ingeniera Civil, Taller de Investigación y Diseño Estructural, T.I.D.E., Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, inggculasso@gmail.com

GHEZÁN, Nahuel

Arquitecto, Taller de Investigación y Diseño Estructural, T.I.D.E., Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, soy_nahuel@hotmail.com

KLEIN, Karin

Arquitecta, Taller de Investigación y Diseño Estructural, T.I.D.E., Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, karinklein_2k@hotmail.com

Resumen

El empleo de la tecnología digital ha propiciado el surgimiento de nuevas estrategias proyectuales como recurso para la generación de la forma arquitectónica-estructural, revolucionando la propia génesis del diseño arquitectónico basado en el desarrollo de una ARQUITECTURA PROCESUAL.

Diseñar programando es una alternativa en la educación del arquitecto, en especial para el proyecto y fabricación de geometrías complejas.

El Modelado Paramétrico es un importante recurso para el diseño estructural, ya que permite elaborar múltiples variaciones sobre la base de un mismo modelado en función del control de las variables que definen cada componente y su relación con el sistema.

Esto exige un cambio en las prácticas del diseñador que debe incluir la definición de los elementos y sus relaciones como fase imprescindible en su proceso de diseño.

El presente trabajo describe una experiencia de modelado para la generación y racionalización de geometrías complejas con software específicos. Se obtienen modificaciones simultáneamente en la forma y dimensiones de las piezas que conforman la estructura, mediante el uso de variables paramétricas que definen características particulares de cada elemento y su vinculación dentro del sistema. Todo este proceso, vinculado a una red de conectores que permite ver, paso a paso, resultados en tiempo real y realizar ajustes para un diseño más eficiente.

PALABRAS-CLAVE:

estructura, generación geométrica, diseño



1 INTRODUCCIÓN

El TIDE (Taller de Investigación de Diseño Estructural), se creó en 1992 con la dirección del Arq. Daniel Moisset de Espanés. Surgió como taller de investigación, enfocándose principalmente en el diseño de las formas y mecanismos estructurales.

Desde el año 2012 se vienen desarrollando investigaciones sobre generación geométrica, profundizando en el empleo de las tecnologías digitales con aplicaciones directas dentro del campo estructural. Se trabaja en la formulación de alternativas de organización estructural adecuadas al diseño arquitectónico, con la aplicación de herramientas computacionales específicas para la generación geométrica y la obtención de solicitaciones en estructuras.

El presente trabajo es parte del proyecto de investigación *“Los medios digitales como herramientas proyectuales. Generación geométrica, verificación y optimización de estructuras no convencionales”*, en el que se indaga sobre los efectos que la utilización de las herramientas digitales tienen en la generación y evaluación de los aspectos estructurales y tecnológicos del proyecto. Se describe una experiencia de modelado de geometrías complejas generadas por diseño paramétrico, su optimización y verificación con el apoyo de software de cálculo.

2 CONTEXTO

El diseño de la estructura y su materialidad se entiende como parte de un proceso de diseño integral, y no sólo como desarrollo técnico de resolución y cálculo. En él la estructura colabora en la definición del proyecto arquitectónico, aportando consideraciones formales y compositivas.

Las nuevas estrategias proyectuales destacan el rol fundamental de las estructuras en el desarrollo de un planteo arquitectónico-tecnológico sustentable, como respuesta a nuevos paradigmas en cuanto a materiales, y posibilidades de conformación de los tipos estructurales, partiendo de la geometría como elemento generador de la forma arquitectónica-estructural mediante la utilización de recursos y herramientas computacionales, que permiten primero generar y luego analizar gráficamente el comportamiento de las estructuras en el espacio.

El advenimiento del uso de las herramientas digitales ha revolucionado la propia génesis del pensamiento proyectual y la práctica del diseño arquitectónico. Se ha evidenciado que su influencia ha socavado todas las etapas del quehacer disciplinar desde las primeras etapas de la generación conceptual, basándose en un proceso evolutivo y dinámico caracterizado por la definición de múltiples variables, pasando por el desarrollo de la materialización posible donde existe una



evolución de la producción automatizada de sus componentes, no necesariamente estandarizados, mediante el empleo de las interfaces de CAD-CAM, hasta la definición de las lógicas constructivas cada vez más complejas.

En el panorama actual dentro de esta rama investigativa podemos mencionar que el empleo de la tectónica digital ha sido un *“paso fundamental para la sustitución de los modelos físicos tradicionales, como única herramienta de diseño conceptual para calcular estructuras resistentes por forma, en modelos digitales tridimensionales más sofisticados”* (Pugnale, Alberto, Tesis doctoral). Los modelos así generados devienen en una evolución natural de los modelos canónicos empleados por Gaudí, pasando por los exhaustivos estudios realizados por Frei Otto y Füller. Actualmente podemos destacar los contemporáneos ensayos realizados por el grupo de geometría avanzada de Ove Arup Engineering, encabezados por el Ing. Cecil Belmont, los estudios digitales realizados por John Frazer, Alberto Pugnale, Hani Rashid y los proyectos desarrollados por Schailch Bergerman, Kas Oosterhuis, y Ben Van Berkel, sólo por citar algunos profesionales referentes en la materia.

En resumen, nos encontramos frente a un cambio de paradigma proyectual potenciado por el uso de los recursos digitales que han modificado las prácticas disciplinares de la arquitectura y la ingeniería en donde se hace necesario cada vez más el trabajo interdisciplinario, la capacidad de adaptación y una actitud crítica en el uso de las tecnologías que posibiliten el desarrollo de proyectos sostenibles.

En esta línea de investigación enfocada principalmente en el estudio del empleo de las geometrías generadas por diseño paramétrico durante las primeras etapas de la fase conceptual, se pudo constatar la multiplicidad de ejemplos y el gran abanico de respuestas arquitectónicas que dependían fundamentalmente de la selección de los criterios adoptados para su definición. Se analizaron proyectos definidos a partir de la búsqueda de la eficiencia estructural, los que fueron elegidos como casos de estudio.

Como una segunda etapa se trabajó profundizando en el empleo de las tecnologías digitales pero con aplicaciones directas dentro del campo estructural, indagando sobre las nuevas aplicaciones experimentales con las tecnologías digitales en la generación de estructuras de geometrías complejas.

3 DESARROLLO DE ENSAYOS PROYECTUALES

Se profundizó en el dominio conceptual y técnico del diseño generativo, y el pensamiento paramétrico orientado al desarrollo de hipótesis de generación de la forma-estructural mediante el modelado procesual.



Como escenario complementario de prácticas y ensayos de la presente investigación, se trabajó en la formulación de alternativas de organización estructural adecuadas al diseño arquitectónico, con la aplicación de herramientas computacionales específicas para la generación geométrica y la obtención de solicitaciones en estructuras.

Las principales herramientas o medios de abordaje para el diseño de arquitectura paramétrica fueron software 3d basados en scripting y algoritmos como Rhinoscript o Grasshopper. Este método permitió evaluar el proceso, la generación de alternativas variables, la parametrización de alguna de ellas y resultado específico para cada una, analizando las potencialidades y dificultades en las geometrías alcanzadas para realizar el ajuste de los algoritmos necesario reformulándolos hasta encontrar la solución más adecuada.

Estrategia Estructural

En cada caso, se realizó una búsqueda de la **eficiencia estructural**, a partir de la definición de la forma seccional y sus dimensiones de manera que la forma elegida no resultara de un capricho formal, siempre considerando el proyecto como un diseño integral.

Lógica Paramétrica. Vinculación Excel-Grasshopper y Excell-Rhinoceros

Permite modificaciones simultáneas en la forma y dimensiones de las piezas que conforman la estructura, mediante el uso de variables paramétricas que definen características particulares de cada elemento, relacionando secciones con las solicitaciones que deberá resistir.

4 CASO DE ESTUDIO: PASARELA SOBRE LA CAÑADA

Se propone un cruce peatonal sobre la Cañada como conexión o paso alternativo, pero que a la vez desempeñe la función de mirador, estar urbano, espacio de relax en un sector de la ciudad caracterizado por un intenso tránsito y actividad permanente (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Desarrollo de la Cañada - Zona de intervención.



Fuentes: Los barrios de Córdoba de Efraim Bischoff.

Premisas arquitectónicas

El proyecto consiste en una intervención respetuosa de las preexistencias del sector, (naturales y construidas); utiliza el arco como tipología por excelencia, respetando el galibo de los puentes existentes de valor patrimonial, y localiza la expansión al centro del paso, en correspondencia con la frondosa vegetación (añosas tipas) que contribuye a generar un microclima ideal (Figura 2).

Figura 2. Premisas arquitectónicas



Fuentes: Google maps. Los barrios de Córdoba de Efraim Bischoff.



Estrategia estructural

Como estrategia de diseño estructural, se realizó una búsqueda de la **eficiencia estructural**, a partir de la definición de la forma seccional y sus dimensiones de manera que la forma elegida no resultara de un capricho formal.

La estructura de la pasarela está compuesta por dos arcos, como ejes longitudinales, a modo de “columna vertebral” estructurante, a lo largo de la cual se desarrolla la sección transversal conformada por una sucesión costillas con voladizos variables, que van modificando su geometría y altura como respuesta a las solicitaciones estructurales (Figuras 3 y 4).

Figura 3. La estructura como generadora de la forma

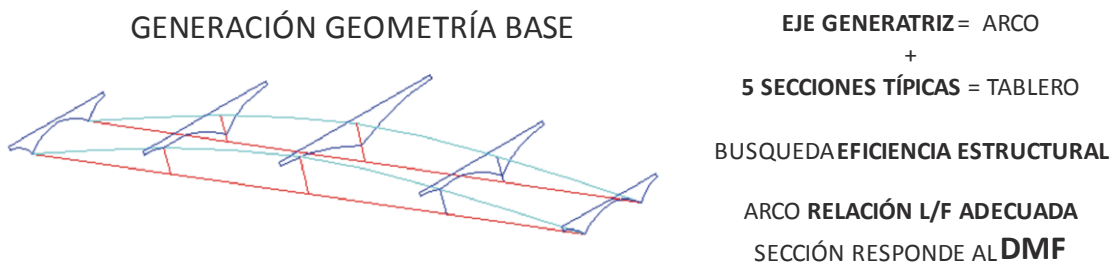
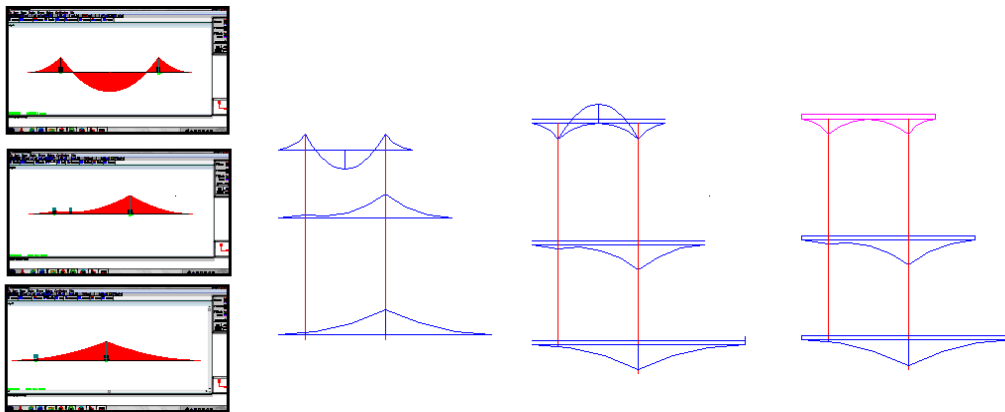


Figura 4. Variación de sección transversal de costillas según solicitaciones.



Lógica paramétrica

Vinculación Excel - Grasshopper

Esta estructura ha sido generada con el software Rhinoceros, en un constante ejercicio de retroalimentación entre el diseño de la forma, y el de la estructura que la sostiene, ligando los dos elementos mediante parámetros con el plugin “Grasshopper”.



El primer paso del proceso fue plantear los ejes donde se vincularía la estructura del tablero a partir de dos arcos de 15 m de longitud con una relación flecha/luz de 1/15. Luego se generó una superficie orgánica en Rhinoceros a partir de cinco perfiles extraídos de planillas Excel, diseñadas especialmente, que relacionan las secciones de los elementos a flexión con las solicitaciones que deberán resistir. Se utilizó un plugin llamando: “lunch.box” que permite hacer una conexión entre planillas Excel y la “rutina de grasshopper”.

Variables Excel

Se determinan: altura de cada costilla en función de la luz entre apoyos y luz del voladizo, ancho de la sección, separación entre costillas, carga aplicada y material (Figuras 5, 6, 7 y 8).

Figura 5. Procesamiento de datos – Excel.

DATOS

VALOR CARGA UNIFORME

ARCO

DISTANCIA ENTRE APOYOS

SECCION :

- MATERIAL - MODULO DE ELASTICIDAD
- ANCHO

COSTILLA

DISTANCIA ENTRE COSTILLAS

DISTANCIA TRAMO

LONGITUD VOLADIZOS

SECCION :

- MATERIAL - MODULO DE ELASTICIDAD
- ANCHO



SALIDAS

CONFIGURACIÓN EN PLANTA DEL TABLERO

ARCO

ALTURA SECCIÓN

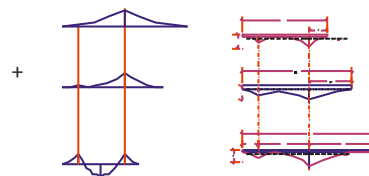
(VERIFICACIÓN RESISTENCIA-DEF)

COSTILLA

ALTURA SECCION EN APOYOS

(VERIFICACIÓN RESISTENCIA-DEF)

DMF = PERFIL COSTILLA



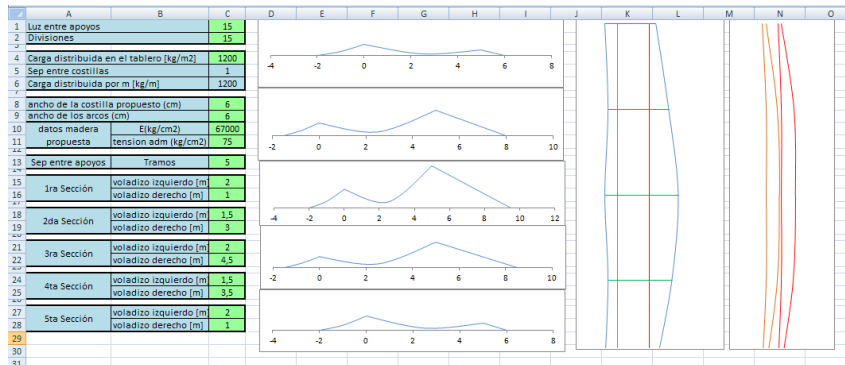
De esta manera su manipulación determina la configuración del tablero en proyección horizontal y de las secciones típicas determinando una serie de modelos análogos.

Para este ejercicio se diseñó la estructura de la pasarela construida con madera de pino, con un Modulo de elasticidad $E = 67000 \text{ kg/m}^2$, y una tensión admisible de 75 kg/m^2 . Para la confección de las planillas se consideraron las Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601.

En la alternativa 1 (Figura 6) se fija una separación entre arcos de 5 metros. La altura y geometría de las costillas se modifica en las diferentes secciones de corte correspondiéndose con la variación de las luces de los voladizos, que aumentan en el sector central de la pasarela.

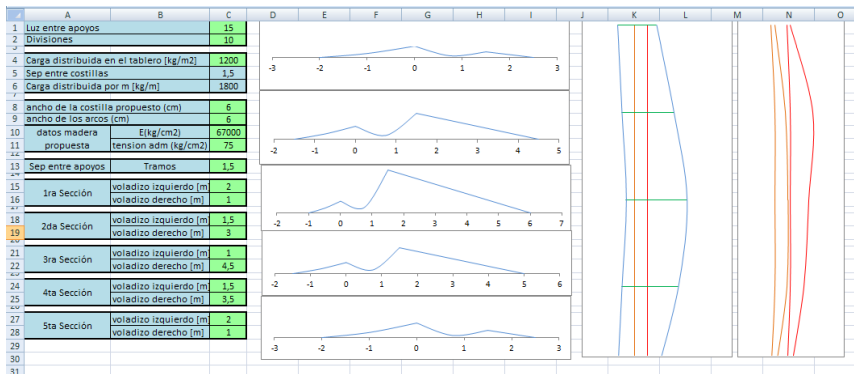


Figura 6. Variables Geométricas definidas por Excel. Alternativa 1.



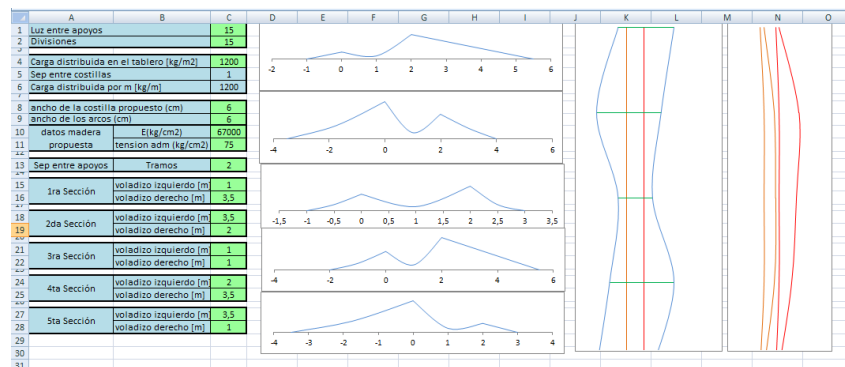
En la alternativa 2 (Figura 7) para la misma estructura de arcos se define una separación de 1,5 metros, manteniendo las mismas luces en los voladizos de las costillas transversales.

Figura 7. Variables Geométricas definidas por Excel. Alternativa 2.



La alternativa 3 (Figura 8) presenta variaciones geométricas, para la misma estructura de arcos con separación de 2 metros entre sí y variación en las luces de los voladizos, que crecen hacia los ingresos de la pasarela.

Figura 8. Variables Geométricas definidas por Excel. Alternativa 3.

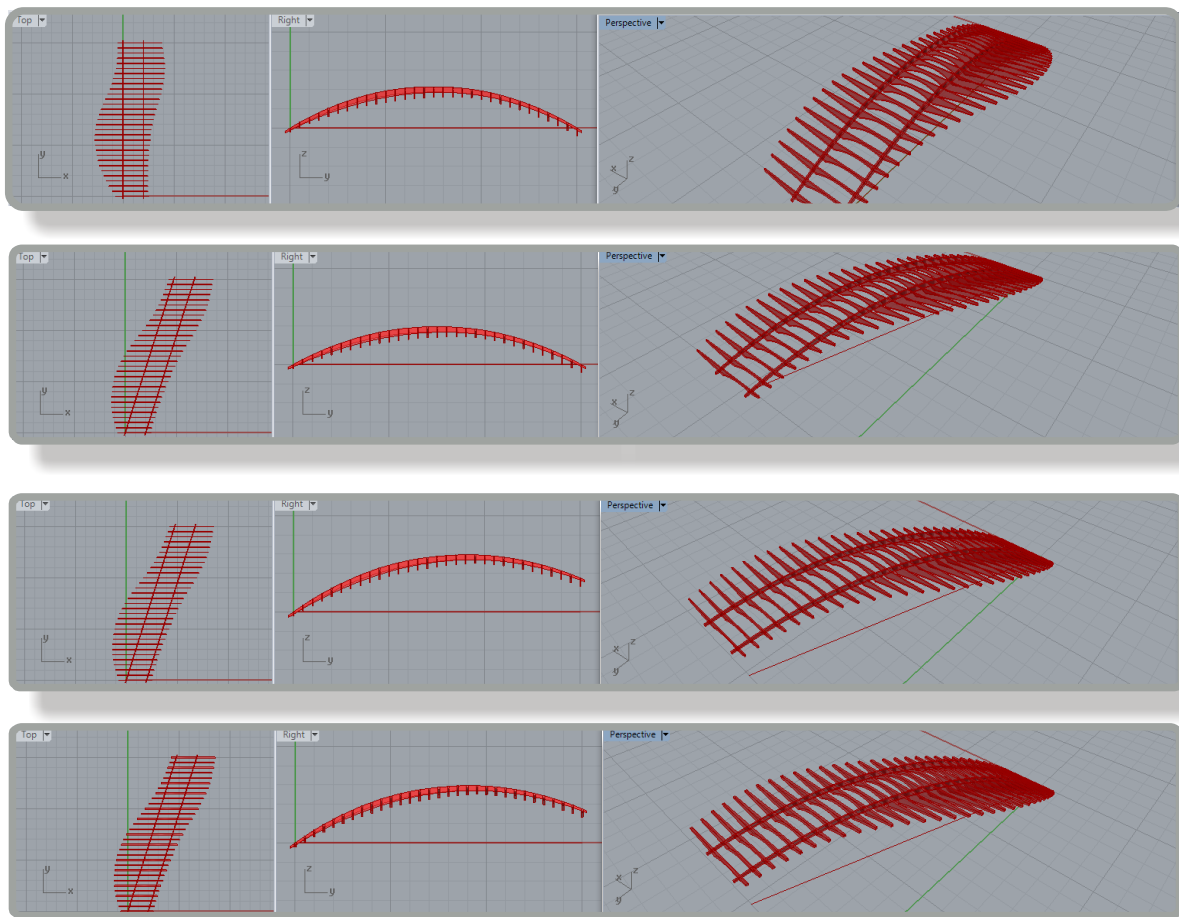




Variables Rhinoceros

A su vez se definen otras variables a controlar directamente desde la rutina de Grasshopper como son la relación fecha/luz del arco (Figura 9, alternativa a) en función del comportamiento estructural y de las pendientes mínimas para la pasarela, la posición de uno de los apoyos tanto en su eje X (Figura 9, alternativa b), como Z (Figura 9, alternativa c), para adaptarlo a diferentes bordes de la cañada, y por último el espesor de las costillas con un mínimo restringido por el procesamiento de verificación seccional en Excel (Figura 9, alternativa d).

Figura 9. Variables geométricas. Alternativas a, b, c, d.



Interacción Excel- Rhinoceros

La generación en el modelo virtual, se realizó relacionando los elementos por medio de componentes variables y modificadores numéricos, lo que permitió ajustes de la forma con la simple alteración del valor numérico asignado a cada uno, permitiendo una ida y vuelta más dinámica.



Se articuló Grasshopper con Planilla Excel que permite determinar la altura de cada componente en función de la luz entre apoyos y luz del voladizo, ancho de la sección, separación entre costillas, la carga aplicada y el material.

Al introducir cambios en las variables, alterando las curvas generadoras (por medio de sus puntos de control en el software), se pueden observar modificaciones simultáneas en la forma y las dimensiones de los elementos que componen la estructura. Todo este proceso de generación geométrica está ligado en una red de conectores que muestran las transformaciones paso a paso, permiten ver los resultados en tiempo real, y realizar los ajustes necesarios para un diseño más eficiente (Figuras 10 y 11).

Figura 10. Rutina de Generación Geométrica – Grasshopper.

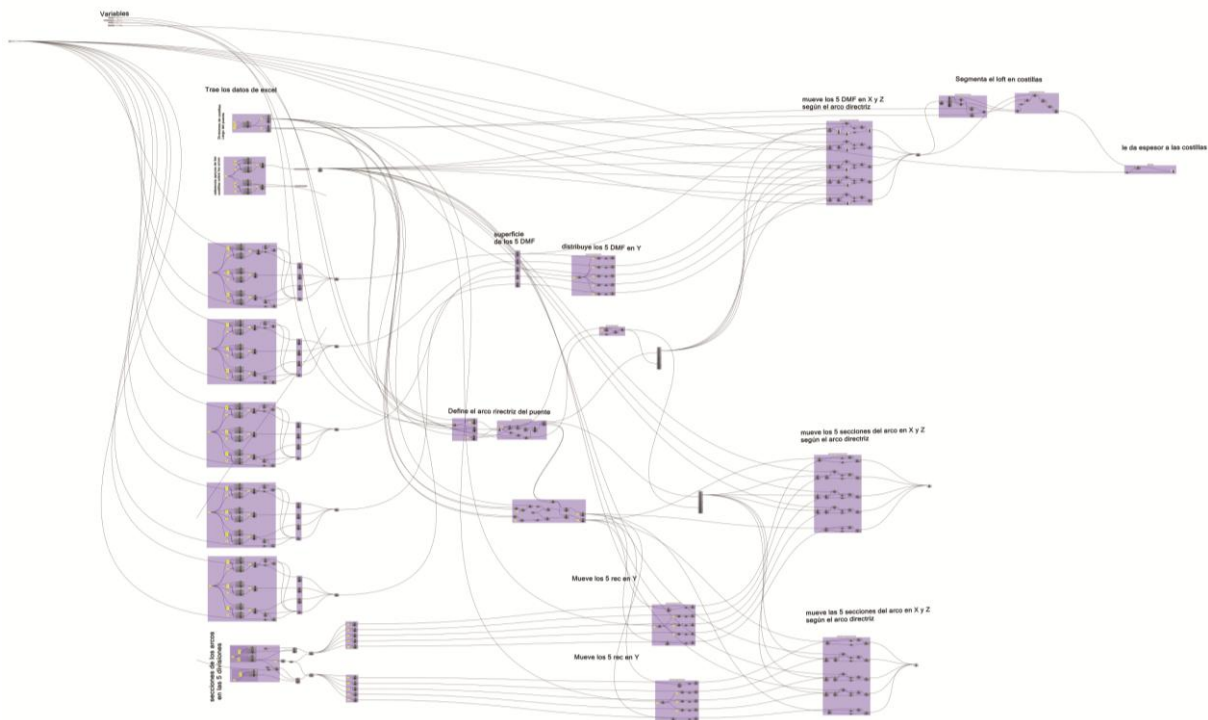
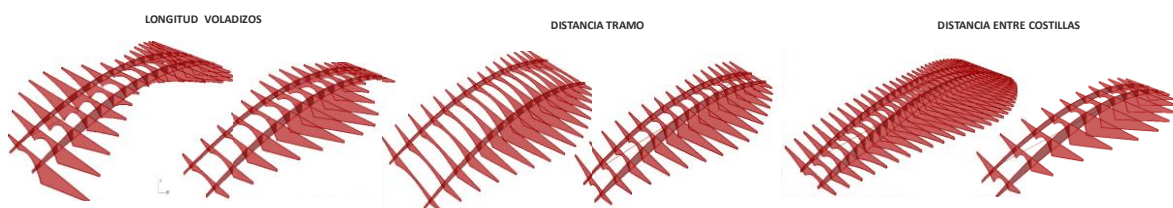


Figura 11. Evaluación de familia de modelos. Alternativas.



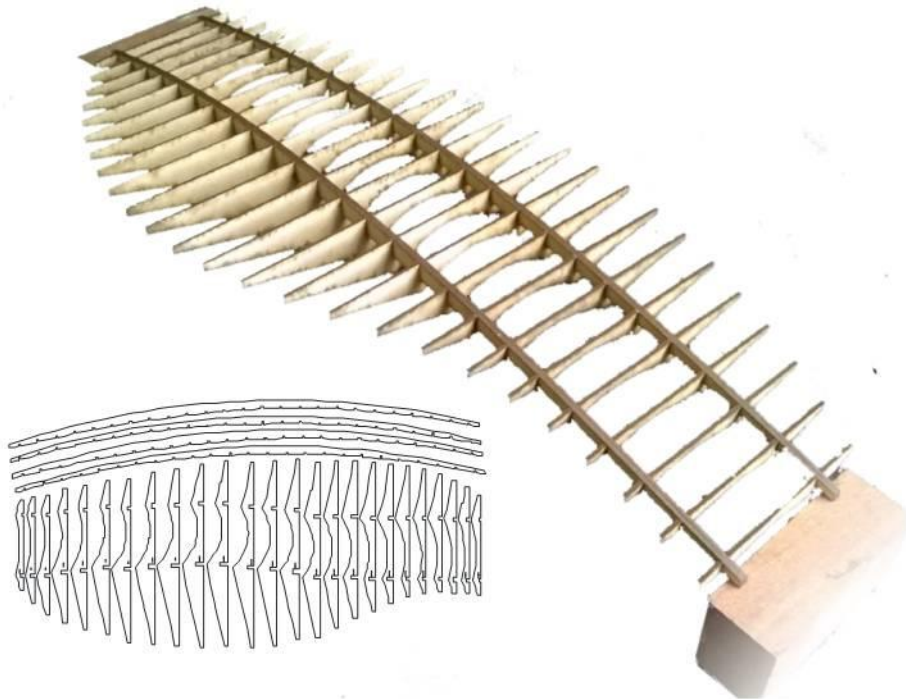


Construcción del modelo

Este proceso de generación de la forma-estructura con el apoyo de herramientas digitales, concluyó con la materialización de un modelo a escala mediante sistemas de control numérico.

Para la fabricación de los elementos estructurales se confeccionaron patrones para maquinas de corte laser. Las diferentes secciones se cortaron en MDF y posteriormente se ensamblaron para la construcción de una maqueta en escala 1:50 (Figura 12).

Figura 12. Modelo construido y elenco de componentes.



Resolución final

La estructura principal sobre La Cañada, se define a partir de dos arcos de 15 m de longitud con una relación flecha/luz de $1/15$ sobre los que se apoyan una serie de costillas de sección variable separadas de acuerdo al material traslúcido que define el tablero luego de haber seleccionado la ubicación final de la pasarela sobre el sector analizado (Figura 13).



Figura 13. Propuesta arquitectónica.



4 CONCLUSIONES

La manipulación espacial y formal que aportan las nuevas herramientas informáticas se verifica en lo complejo del proceso de ideación y la multiplicidad de respuestas generando sistemas proyectuales dinámicos.

En el caso de ensayo proyectual presentado se obtienen modificaciones simultáneamente en la forma y dimensiones de las piezas que conforman la estructura, mediante el uso de variables paramétricas que definen características particulares de cada elemento y su vinculación dentro del sistema.

De allí la importancia de la adecuación de los recursos y herramientas computacionales que permiten innovar en el diseño estructural en arquitectura desde la génesis del proceso proyectual mediante la elaboración de criterios de optimización estructural a partir del uso de lógicas generativas.

El Modelado Paramétrico es un importante recurso para el diseño estructural, ya que permite elaborar múltiples variaciones sobre la base de un mismo modelado en función del control de las variables que definen cada componente y su relación con el sistema, lo que posibilita comparar diferentes alternativas antes de seleccionar la más adecuada.

Diseñar programando es una alternativa en la educación del arquitecto, en especial para el proyecto y fabricación de geometrías complejas.



Esto exige un cambio en las prácticas del diseñador que debe incluir la definición de los elementos y sus relaciones como fase imprescindible en su proceso de diseño.

5 REFERENCIAS

- DUNN, N. (2012). *Proyecto y Construcción Digital en Arquitectura*. Ed. Blume. Barcelona, España.
- PUGNALE, A. (2010). *Engineering Architecture. Advances of a technological practice*. Politécnico de Torino, Italia. On line.
- BERNABEU LARENA, A. (2007) *Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El trabajo de Cecil Balmond*. Univ. Politécnica de Madrid. E T S A. On line.
- FERRATER, C. & ASOCIADOS (2006) *Sincronizar la Geometría*. Editorial ACTAR. Barcelona, España.
- KRAUEL, J. (2010). *Arquitectura Digital - Innovación y Diseño*. Editorial Links, Barcelona.
- TERZIDIS, K. (2006), *Algorithmic Architecture*. Oxford, UK, Architectural Press Elsevier.
- INTI-CIRSOC 601 (2016). *Reglamento argentino de estructuras de madera*. INTI, Bs. As.