

MÉTODOS PARAMÉTRICOS DE RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE SUPERFICIES PARABÓLICO HIPERBÓLICAS EN LA ARQUITECTURA DE FÉLIX CANDELA

PARAMETRIC METHODS FOR VIRTUAL RECONSTRUCTION. THE HYPERBOLIC PARABOLOIDS DESIGNED BY FÉLIX CANDELA

Federico Luis del Blanco García. Universidad Politécnica de Madrid. ⁽¹⁾

Laura P. Lupi. Universidad Politécnica de Lausanne. ⁽²⁾

⁽¹⁾ federicoluis.delblanco@upm.es; Calle de Garibay, nº 10, C.P. 28007, Madrid, Madrid

⁽²⁾ laura.perezlupi@epfl.ch; Calle Mirto nº4, Portal 6, Bajo A, 28231 Las Rozas, Madrid

© UNIVERSIDAD DE SEVILLA, SEVILLA 2018

RESUMEN

El artículo describe el proceso llevado a cabo para la realización de un proyecto de investigación cuyo objetivo era la reconstrucción de superficies parabólico-hiperbólicas de una selección de proyectos no construidos de Félix Candela.

El flujo de trabajo seguido para la reconstrucción se ha basado en un proceso de automatización. Tras definir las variables necesarias y establecer un diseño procedural, se han podido obtener las variaciones de los proyectos de Candela.

La reconstrucción virtual se ha llevado a cabo mediante modelos parametrizados realizados con Grasshopper y de manera experimental con Houdini FX.

Los resultados son válidos no solo para su discusión científica, sino que también pueden tener un papel educativo en la geometría y la comunicación.

Palabras Clave (máx. 4):

Candela, geometría, reconstrucción, hyper

ABSTRACT

The paper explains the process used in a research project whose objective was the reconstruction of the hyperbolic-parabolic surfaces of a selection of non-built projects designed by Félix Candela.

The workflow was based on an automation process. After setting up the variables and define a procedural design, it has been

possible to obtain the variation of the projects designed by Candela.

The virtual reconstruction was done using models parameterized with Grasshopper and experimentally with Houdini FX.

The results are valid not only for their scientific debate but also can have an educational role in the fields of geometry and architectural communication.

Keywords (max. 4):

Candela, geometry, reconstruction, hyper

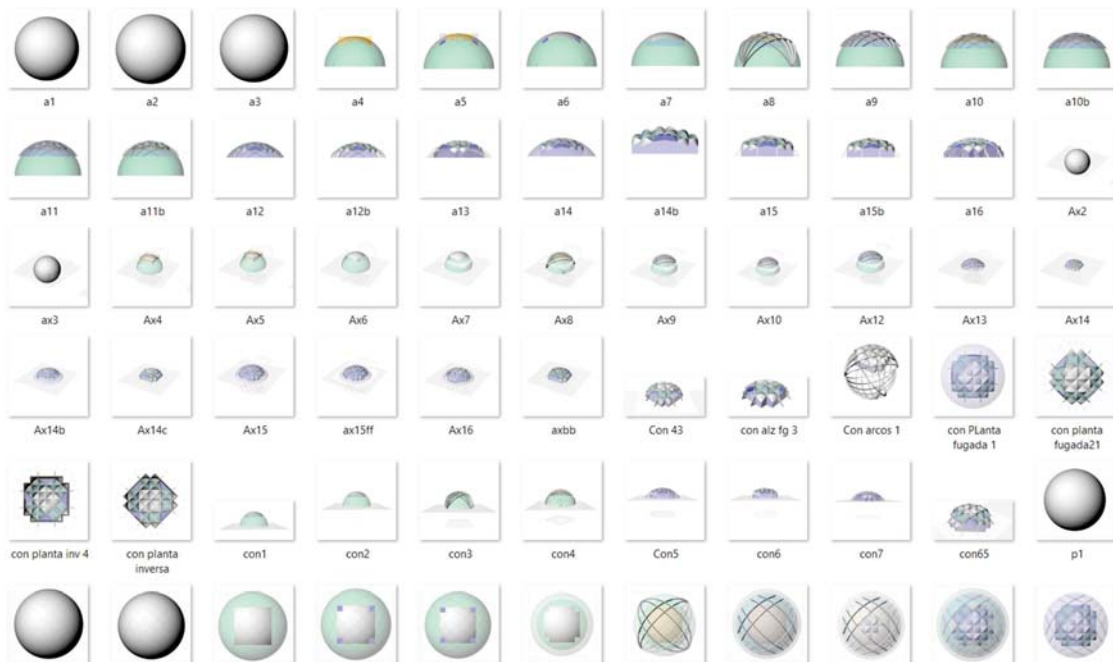


Fig. 1: Subdivisión de una esfera en arcos para insertar un cerramiento de paraboloides hiperbólicos. Variación de la cúpula para el Estadio Olímpico de México, 2015. Fuente: Imágenes del autor.

INTRODUCCIÓN

El “Parametricismo” ha recibido mucha atención desde que Patrik Schumacher lo elevara a la categoría de estilo arquitectónico en su Manifiesto “Parametricism as a Style” (1). El autor establecía al “Tectonicismo” como la vertiente más madura de este -según palabras del autor- nuevo estilo contemporáneo de arquitectura (2).

A pesar de que la obra de Candela es previa a la era de los ordenadores y el diseño computacional, si atendiéramos a los principios establecidos por Schumacher, los proyectos diseñados por Candela serían uno

de los antecedentes más directos del “Tectonicismo”.

No es objeto de este artículo discutir acerca de los estilos arquitectónicos, sino mostrar las posibilidades que ofrece un proceso basado en diseños procedurales para la reconstrucción virtual de arquitectura.

Como define Sean Ahlquist (3), un diseño procedural se basa en una aproximación computacional mediante una serie de instrucciones siguiendo una secuencia para finalmente generar una forma.

Existen infinidad de posibilidades para el diseño, estudio o análisis

basados en esta metodología. La que nos interesa en este caso es la posibilidad de automatizar procesos.

Las características de la arquitectura de Candela han favorecido en gran medida esta metodología de trabajo, pues el carácter pragmático del arquitecto le llevó a establecer una tipología constructiva sobre la que realizaría variaciones para perfeccionarla o adaptarla a los condicionantes del lugar (figuras 1, 2 y 3).

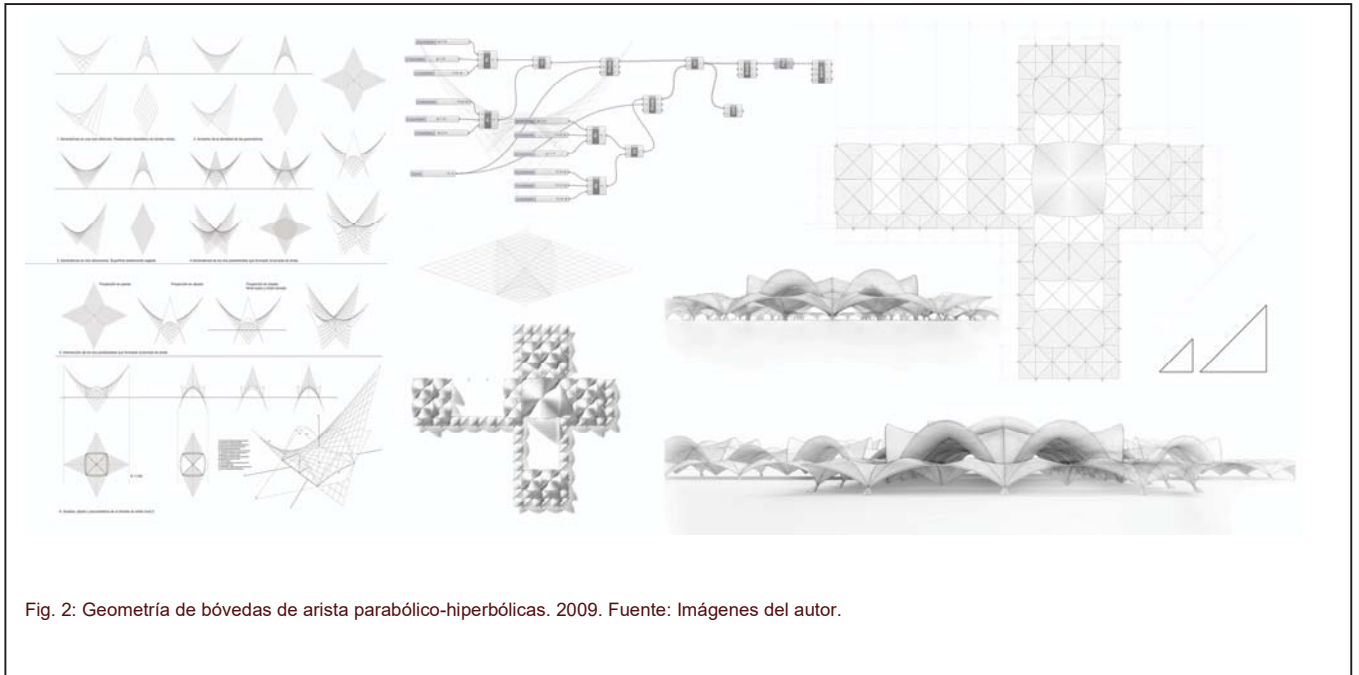


Fig. 2: Geometría de bóvedas de arista parabólico-hiperbólicas. 2009. Fuente: Imágenes del autor.

OBJETIVO

El trabajo que se presenta a continuación parte con el objetivo principal de realizar una reconstitución virtual de los proyectos no construidos de Félix Candela.

A partir de estos se ha podido entender la evolución del arquitecto, mostrando una visión completa de su obra y trayectoria, incompleta si tenemos en cuenta solamente su obra construida.

Por otra parte, las reconstrucciones han permitido la realización de análisis y simulaciones de los proyectos.

Se han recopilado proyectos inéditos clave de dicha evolución, y su reconstrucción gráfica ha

permitido a su vez apreciar como hubieran sido de haberse llegado a construir.

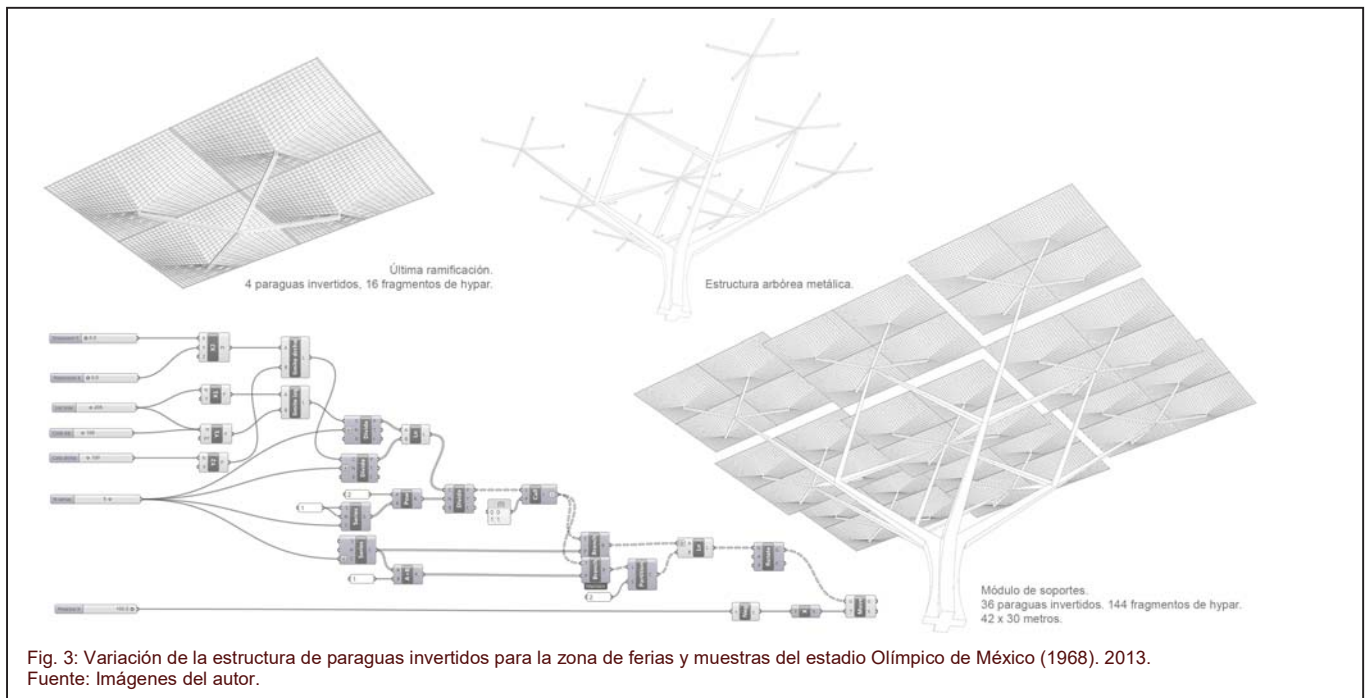
Debido al gran número de reconstituciones realizadas, fue necesario establecer un sistema de codificación atendiendo a los parámetros geométricos empleados por Félix Candela. La parametrización de las superficies empleadas por Candela ha permitido por un lado, la sistematización y rápida realización de variaciones de los proyectos, y por otro un estudio de su geometría bajo condicionantes vinculados a la programación.

CONTEXTO

Durante la década de los años 60 y parte de los 70, Félix Candela llegó a construir más de 800 proyectos

mediante estructuras laminares. Formadas mediante fragmentos de superficies parabólico-hiperbólicas que reducían los esfuerzos a tracción, las estructuras laminares de Candela se erigieron con espesores de tan solo 4 centímetros para salvar luces de hasta 30 metros.

En 1968, en pleno apogeo de su carrera, Candela realiza la que se ha considerado como su última gran obra construida, el Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México. Una obra que nada tiene que ver con la trayectoria del arquitecto y que rompe con la coherencia constructiva de sus proyectos previos.



La investigación de los proyectos no construidos de Félix Candela nos ha permitido completar la trayectoria de este, apareciendo proyectos inéditos que completan las lagunas de información de su obra publicada.

La obra de Félix Candela ha sido extensamente publicada, aunque esta afirmación solo es del todo cierta en lo que se refiere a su obra construida, es decir al Palacio de los Deportes de México y a sus anteriores estructuras laminares. No sucede lo mismo con los proyectos no construidos. Este hecho ha dado lugar a malinterpretaciones, al existir una visión sesgada sobre los proyectos de Félix Candela, y es uno de los motivos principales que impulsaron este trabajo.

DOCUMENTACIÓN ORIGINAL

Los documentos originales de Félix Candela se encuentran repartidos en los fondos de la “Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia, el archivo de la Universidad de Princeton y el fondo de la UNAM. Estos fondos han servido como base para las publicaciones realizadas acerca de Félix Candela.

Sin embargo, existen en España dos fondos documentales inéditos en torno a la figura de Félix Candela en los Colegios Oficiales de Arquitectos de Madrid y Cataluña. Éstos han sido fundamentales para entender la evolución de la arquitectura de Candela, y un recurso valioso para la

reconstrucción virtual de los proyectos.

Por estos motivos gana especial relevancia la recopilación de los planos inéditos, permitiendo a su vez la posterior reconstitución y análisis de estos.

PROCESOS

Durante el proceso de reconstitución virtual de los proyectos se establecieron diferentes tipos de familias paramétricas.

Por un lado, se agruparon las diferentes tipologías de estructuras laminares realizadas durante la década de los años 50 y 60. Los criterios de agrupación se establecieron atendiendo a los condicionantes geométricos. De

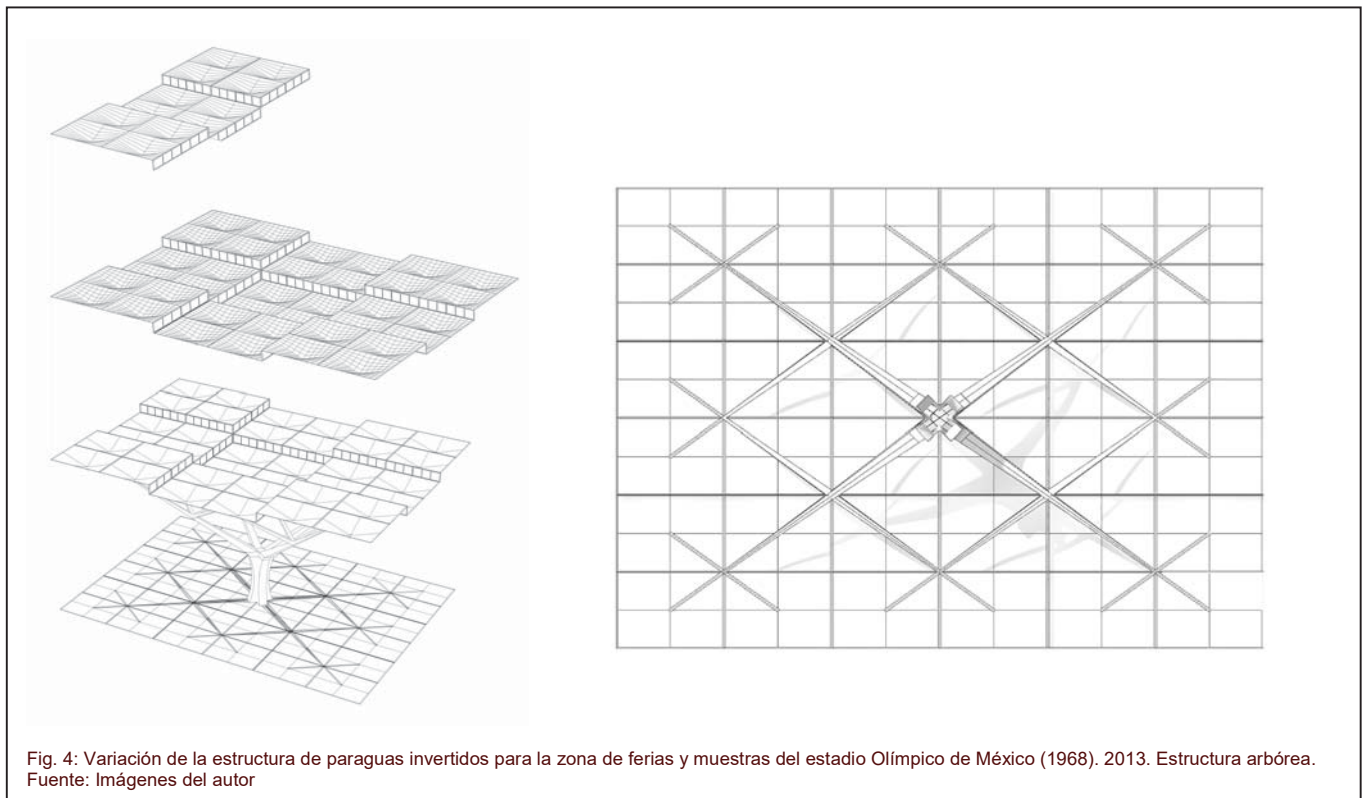


Fig. 4: Variación de la estructura de paraguas invertidos para la zona de ferias y muestras del estadio Olímpico de México (1968). 2013. Estructura arborea. Fuente: Imágenes del autor

esta manera, se ha diferenciado entre los grupos de paraguas invertidos (fig. 4 y 5), bóvedas de arista parabólico-hiperbólicas o cáscaras realizadas mediante un solo fragmento de paraboloides hiperbólico. Cada una de estas familias sigue el mismo patrón geométrico, pudiendo realizar variaciones entre diferentes proyectos cambiando el código generado o introduciendo modificaciones en el mismo.

El software Houdini FX permite alternar código de programación con programación visual, facilitando el proceso. Llega un momento en el que la programación visual se vuelve poco eficiente, obliga al usuario a realizar demasiados

rodeos y a utilizar código redundante. Tal como escribe Wassim Jabi (4), "tarde o temprano, creo que el diseño paramétrico tiene que ser explorado desde el pensamiento algorítmico y eso implica que el diseñador necesita alcanzar un cierto nivel de comodidad con los lenguajes de programación. Una vez que aprendes los fundamentos de la programación, la sintaxis se convierte en un obstáculo mucho menos difícil de superar."

Por otro lado, los proyectos realizados por Candela posteriores a las estructuras laminares (5) no permiten esta fácil manipulación. Las cúpulas realizadas por el arquitecto poseen dos

características comunes esenciales: su estructura principal está realizada por arcos esféricos y el cerramiento se conforma mediante fragmentos de paraboloides hiperbólicos (fig. 6).

Sin embargo, no se puede establecer una relación mediante variables parametrizadas entre unas y otras, por lo que para la reconstitución virtual de cada proyecto ha sido necesario establecer una definición independiente. En este caso, el diseño procedural de los proyectos ha expandido las posibilidades en su análisis, así como el fácil desglose de este en sus componentes geométricos.

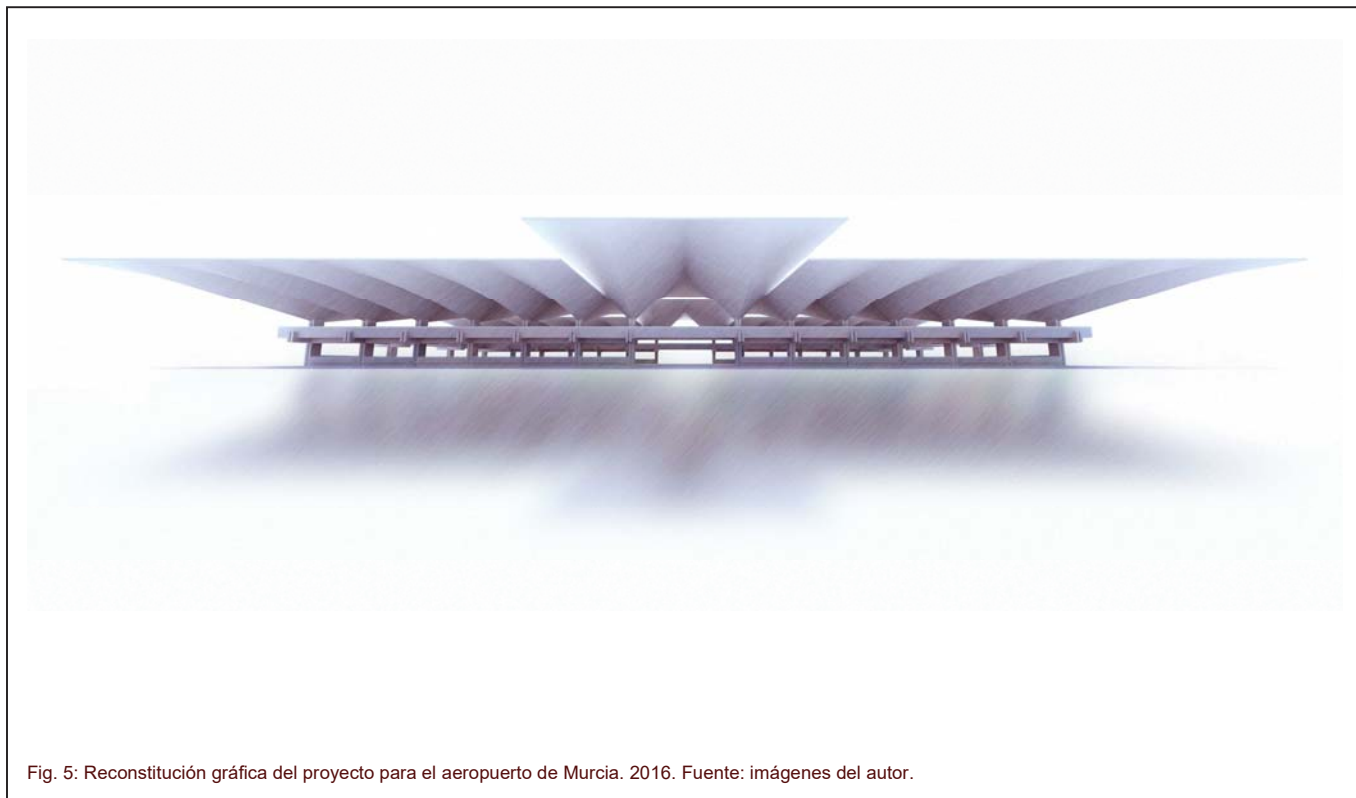


Fig. 5: Reconstitución gráfica del proyecto para el aeropuerto de Murcia. 2016. Fuente: imágenes del autor.

En ambos casos, la metodología empleada favorece su posterior empleo en laboratorios de fabricación digital o sistemas inmersivos de realidad virtual.

PARAMETRIZACIÓN DE SUPERFICIES PARABÓLICO HIPERBÓLICAS

Para la parametrización de cada una de las familias anteriormente descritas, se ha establecido una única definición base. Sobre esta, y atendiendo a sus características geométricas, se han añadido nuevas variables que han dado lugar a las diferentes variaciones de los proyectos.

Las bóvedas parabólico-hiperbólicas, realizadas por primera vez en la historia por Félix Candela para la Bolsa de Valores de México, surgen como la intersección de dos paraboloides hiperbólicos cuya intersección formaba dos arcos parabólicos (6).

La bóveda original de cuatro lóbulos evolucionó en un principio bajo condicionantes constructivos y estructurales. Los fragmentos de paraboloides se seccionaron para introducirlos en la geometría de un cuadrado en su proyección en planta, estableciéndose dos ejes de simetría que eliminaban los esfuerzos laterales. El siguiente paso fue liberar al borde de cargas, utilizando los arcos parabólicos de

intersección se podían transmitir los esfuerzos de las láminas de hormigón hasta el suelo. De esta manera las vigas de borde desaparecieron y la esbeltez de la estructura se podía percibir desde el exterior.

Una vez la estructura estaba optimizada, Candela realizó variaciones de la bóveda cambiando el número de lóbulos, el peralte y su luz, llegando a salvar un máximo de 30 metros con espesores de tan solo 4 centímetros.



Fig. 6: Reconstitución gráfica de la cúpula para las instalaciones deportivas de la Universidad Brown. 2014. Fuente: imágenes del autor.

La realización de la superficie geométrica mediante variables vinculadas paramétricamente permite, a partir de un archivo base, variar el número de lóbulos, el peralte, la luz, o el vuelo de la lámina (fig. 7). De esta manera se han podido reconstruir virtualmente las docenas de proyectos del arquitecto en tiempos razonables.

La mayor complicación a la hora de realizar estos sistemas radica en mantener las condiciones geométricas reales intactas, de manera que, al introducir estas variaciones, las superficies deben seguir siendo doblemente regladas y mantener su doble curvatura. Para la realización de los proyectos mediante paraguas invertidos ha

sido necesaria una definición diferente. La estructura de paraguas invertido supuso, en palabras de Candela, su mayor aportación a la arquitectura (Faber, 1963). Debido a su bajo coste de ejecución y fácil modulación, México cuenta con cientos de proyectos que siguen este tipo estructural.

Desde el punto de vista geométrico, la superficie de los paraguas invertidos consta de cuatro fragmentos de paraboloides hiperbólicos, simétricos a dos ejes y apoyados sobre un único soporte. Las docenas de variaciones con las que experimentó Candela modificaban la flecha de los paraguas, las dimensiones de este y su vuelo. Posteriormente, y

alejándose de la eficiencia de los paraguas

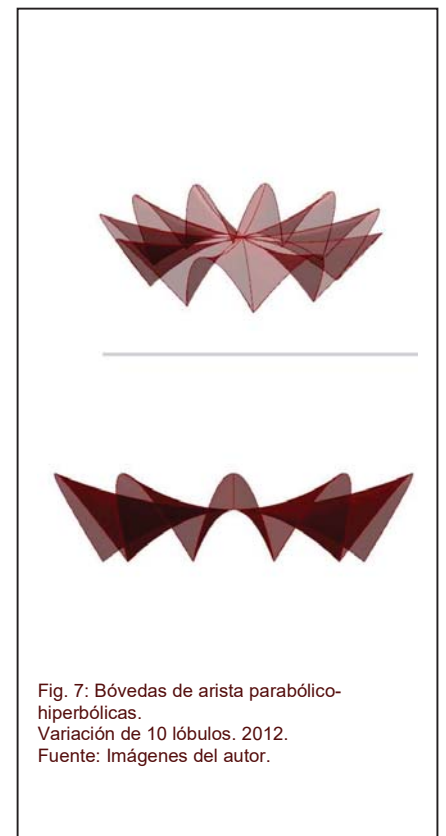


Fig. 7: Bóvedas de arista parabólico-hiperbólicas. Variación de 10 lóbulos. 2012. Fuente: Imágenes del autor.



Fig. 8: Reconstitución gráfica de la cúpula para las instalaciones deportivas de la Universidad Brown. 2015. Fuente: imágenes del autor.

originales, Candela planteó soluciones en las que introducía un mayor número de fragmentos de hyper, variando desde tres (para adaptar su geometría a un triángulo) hasta doce.

El máximo voladizo que llegó a proyectar Candela fue de 12 metros para el proyecto no publicado de la terminal de aeropuerto en Murcia (fig. 5). Los paraguas de mayores dimensiones fueron de 30 metros de altura para el proyecto de la Catedral de Villahermosa, también sin construir.

De nuevo, la definición de estos proyectos mediante un diseño procedural permite introducir variables para alterar el peralte de

los paraguas, su altura, su vuelo y el número de fragmentos que lo componen.

Las complicaciones geométricas para establecer este sistema de trabajo vuelven a ser las mismas: encontrar un sistema que permita esas variaciones y mantenga intactas las propiedades de las superficies parabólico-hiperbólicas.

Debido a la gran cantidad de proyectos realizados por Candela mediante este sistema, la codificación de la geometría en datos ha sido especialmente eficiente.

La última familia reconstituida dentro de los proyectos de

estructuras laminares, consiste en los proyectos realizados por un único fragmento de superficie parabólico-hiperbólica. Se trata de la solución más sencilla, pues basta con introducir las variables que componen a un paraboloide hiperbólico y modificarlas para obtener sus variaciones. Los cortes efectuados sobre la superficie original suponen variables que han de ser introducidas con carácter singular, al no existir un patrón de repetición.

La etapa de las estructuras laminares es la de máximo apogeo, la que le otorgó prestigio



internacional y la que le permitió construir casi un millar de proyectos, la mayoría en México.

Tras los cambios económicos sufridos en México tras 1964, Félix Candela comienza una nueva etapa de proyectos, la mayoría sin construir, caracterizados por el uso del paraboloide hiperbólico como un elemento secundario (fig. 9). De estos proyectos destacan las cúpulas que diseñó tras el Estadio Olímpico de México.

Al contrario de lo sucedido con los proyectos realizados mediante láminas autoportantes de hormigón, la geometría de subdivisión y cerramiento de las cúpulas no presenta variables que permitan pasar de unas a otras mediante un

diseño procedural, al menos de manera eficiente. Como consecuencia, ha sido necesario realizar una definición de las variables a parametrizar para cada una de las cúpulas.

Esto ha supuesto un incremento notable del tiempo necesario para su realización, habiendo sido más eficaz el modelado tradicional para este tipo de proyectos. Sin embargo, nos ha permitido realizar análisis y simulaciones de los diferentes elementos geométricos y sus relaciones. A su vez, permite gran flexibilidad a la hora de generar documentos gráficos o adaptar el modelo para la fabricación digital de los diferentes elementos del proyecto.

A pesar de no haberse podido establecer relaciones paramétricas entre las diferentes cúpulas, sí se han podido plantear hipótesis de variaciones del desarrollo de la geometría empleada en las cúpulas sobre cubiertas planas.

CONCLUSIONES

La metodología empleada para la realización de las reconstrucciones virtuales ha permitido llevar a cabo el proyecto de investigación, que concluyó con más de 2000 dibujos acerca de la obra no construida de Félix Candela.

El flujo de trabajo basado en la automatización de procesos supone un incremento notable en el tiempo inicial de preparación. Sin embargo,

ese tiempo se amortiza cuanto más extenso sea el trabajo a realizar.

Por otro lado, los modelos obtenidos pueden volver a ser empleados en futuras investigaciones, para generar entornos inmersivos mediante realidad virtual, para la obtención de planos de los proyectos, o la reconstrucción de modelos reales mediante fabricación digital. La parametrización de los proyectos facilita su análisis geométrico y la simulación de superficies bajo diferentes condicionantes.

Se pretende proseguir el proyecto estudiando las relaciones y posibilidades entre la geometría computacional y las superficies arquitectónicas; entre la geometría real y la virtual.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Schumacher, Patrik. 2008. *A New Global Style for Architecture and Urban Design*. AD Architectural Design - Digital Cities, Vol 79, No 4.

(2) Schumacher, Patrik. 2016. *Parametricism 2.0*. AD Architectural Design. Rethinking Architecture's Agenda for the 21's Century. Vol 86, No 2.

(3) Ahlquist, Sean. 2016. *Procedural Design*. Acadia, Computer Aided

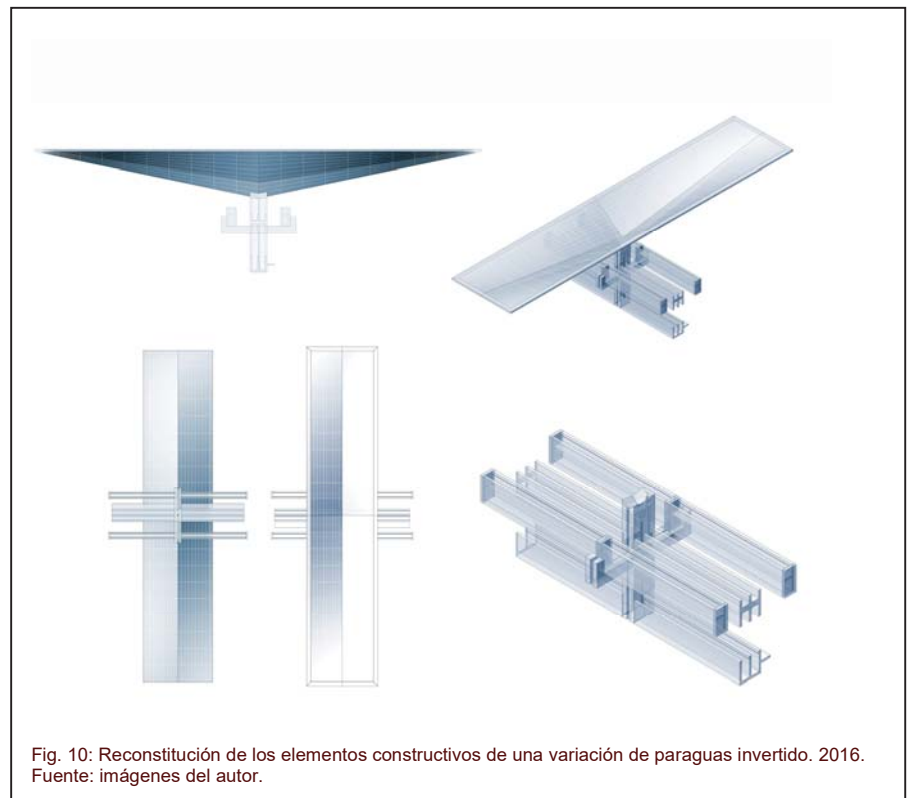


Fig. 10: Reconstitución de los elementos constructivos de una variación de paraguas invertido. 2016. Fuente: imágenes del autor.

Architectural Design. Massachusetts, pp. 9-10.

(4) Jabi, Wassim. 2013. *Parametric Design for Architecture*. Laurence King.

(5) del Blanco García, Federico Luis. García Ríos, Ismael. 2016. *De las estructuras laminares a las estructuras metálicas en la arquitectura de Félix Candela. Análisis y reconstitución de la sala de exposiciones para el concurso del Palacio Olímpico de los Deportes, México 1968*. RITA, Revista Indexada de Textos Académicos vol 5, pp 98-106.

(6) Cueto, José Ignacio del. 2010. *Félix Candela 1910-2010*. IVAM, SECC.

Design. Candela, Félix. Noviembre 1963 *Arquitectura y estructuralismo*. Arquitectura, nº 59. Madrid.

Faber, Colin. 1963. *Candela, the Shell builder*. Architectural Press. London.

Piker, Daniel (2014). *Dynamic remeshing*.

<http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/dynamic-remeshing-now-with-feature-preservation-curvature>

SIDE EFFECTS Houdini documentation, VEX language reference.

<http://www.sidefx.com/docs/houdini/vex/lang>