

**DESDE LA GEOMETRÍA HASTA LA REPRESENTACIÓN  
GENERATIVA. La búsqueda de una solución optimizada  
en el proyecto del Club Táchira (Caracas, 1955)**

**FROM GEOMETRY TO GENERATIVE REPRESENTATION.  
The search for an optimized solution in the Club project  
Táchira (Caracas, 1955)**

*Mara Capone, Eliana Nigro*

doi: 10.4995/ega.2017.8873







1. Imagen realizada por los autores

1. Image made by the authors

La construcción de formas de la geometría compleja procede, a menudo, de la búsqueda de una solución “optimizada” con referencia a un determinado parámetro elegido. Ese método es perfectamente reconocible en el proyecto del Club Táchira. A través del análisis de la génesis geométrica del proyecto y de la reconstrucción del modelo utilizando instrumentos de representación paramétrica, la investigación quiere demostrar cómo el empleo de estos instrumentos puede hacer visible un proceso al alcance sólo de

algunos, también a diseñadores no especializados, que puedan controlar la complejidad sin ignorar los principios de eficiencia.

**PALABRAS CLAVE: REPRESENTACIÓN PARAMÉTRICA. MODELIZACIÓN GENERATIVA. CÁSCARAS DELGADAS. GEOMETRÍAS COMPLEJAS. EDUARDO TORROJA**

*Complex geometry construction often derives from the research of an optimised solution compared with a defined parameter chosen as reference. This approach is entirely*

*recognisable in the project of the Club Tachira by Eduardo Torroja. The research proposes the geometrical genesis analysis and the three-dimensional construction of the cited study case using parametric representation tools. It is therefore proved how they make a process available to not-specialised users, who are able to control complexity taking into account the principles of efficiency.*

**KEYWORDS: PARAMETRIC REPRESENTATION. GENERATIVE MODELLING. SHELL. COMPLEX GEOMETRY. EDUARDO TORROJA**

## Introducción

El proyecto del venezolano Fruto Vivas identifica la belleza como verdad estático-estructural, presidida por las intrínsecas propiedades analíticas, geométricas y mecánicas.

El imagiario arquitectónico se condensa en un cuadro de objetos dotados de peculiaridades propias, dispuestos según una armonía común: las entidades dialogan entre sí aún permaneciendo diferenciadas. En el proyecto, resalta la forma sinuosa de dos cubiertas, desplegadas sobre la hierba como cuerpos femeninos (Fig. 2). De las dos sólo se completó el Rancho Club, cuyo interés cultural fue declarado con ocasión de su cincuentenario. Mientras este último tiene una estructura metálica, el segundo es una lámina de hormigón armado inspirada a un paño dejado caer libremente. Ésta se abre hacia un jardín colgante y, a lo lejos, hacia el centro urbano 1, sometido al doble propósito de maximizar el

bienestar de los usuarios y su integración con el exterior, de acuerdo con la moderna capacidad técnica de combinación para la múltiples niveles espaciales.

La configuración definitiva se consiguió sólo con la intervención del ingeniero español Eduardo Torroja, que concretó y racionalizó 2 el ingenuo anteproyecto de Vivas, que, en esa época, era todavía estudiante en la Universidad Central de Venezuela. De hecho, la idea de la flexibilidad de un velo que roza el terreno en pendiente fue reconducida al rigor matemático (Figs. 3-4).

Torroja reconoce, de hecho, unos cánones de belleza en las curvas descritas por la matemática y considera imperfectas las que no están reglamentadas por una ley intrínseca o matemática.

El apego a realidades indiscutibles se extiende hacia el principio de cohesión entre instancias estéticas y características estáticas, según el cual, el gesto arquitectónico dota de capacidad resistente 3.

## Introduction

Club Tachira, project by Venezuelan architect Fruto Vivas, is a manifesto of beauty as structural truth, governed by intrinsic analytic, geometrical and mechanical proprieties. Architectural imaginary is condensed in a frame of several objects placed in order to reach a common harmony: the entities communicate despite distinguishability persists. Sinuous form of two canopies emerges, like female bodies lying on the grass (Fig. 2). Among the two shells the only completed was the Rancho Club, whose cultural interest was declared in occasion of its fiftieth anniversary. Compared to the latter one, which has a metal load-bearing structure, Club Tachira is a concrete shell inspired by a handkerchief in free fall. It opens to a roof garden and, in the distance, towards the town 1, enslaving the dual aim of maximizing the comfort of the users and their integration with the outside world, according to modern technical ability to combine multiple spatial levels.

The final configuration is achieved only after the intervention of the Spanish engineer Eduardo Torroja, who leads back to reality and rationality 2 the naive architectural suggestion of VIVAS, who, at that time, was still a student of the Central University of



Venezuela. Consequently the idea to the flexibility of a veil that touches lightly a sloping terrain is reduced by the engineer to the mathematical precision (Figs. 3-4). Torroja recognizes, in fact, standards of beauty in the curves described by mathematics and considers as defective those not regulated by intrinsic or mathematic laws.

Adherence to incontrovertible truth extends the principle of cohesion between aesthetic and static instances, according to which the architectural gesture gives resistant capacity **3**. In the design process, these aims are pursued through the choice of a geometric shape in order to increase the resistant attitude without recurring any increasing of the section or concentration action **4**.

The occurrence of bending stresses requires a shell to be an integral and inseparable unit: cuts and openings involve alterations homogeneity **5**. However, as already mentioned, the aesthetic and functional aim is osmosis between the interior and surrounding landscape, also encouraged by the favourable climate of Caracas; then it follows the arduous search for a shape that corresponds to the lines of force along which tensions are distributed, avoiding the introduction of some other expedients such as edge beams and post-tensioned reinforcement.

In December 1956, about two years after the announcement of the competition, the preliminary project has been completely blind northward, intersected by a cylindrical surface on the opposite prospectus and variously inclined planes on the remaining fronts. The version having as generatrix line a catenary curve differs from a second option with parabolic curve only for an increasing of the covered area (Fig. 5a).

During the third experiment in January, all section surfaces are perpendicular to the floor and grow in number: the plan appears more regular and the angularity is mitigated. Even the directrix undergoes a correction, while

En el proyecto, estas finalidades se persiguen por medio de la elección de una configuración geométrica para incrementar la capacidad de resistencia sin necesidad de recurrir a ningún aumento de sección o de concentración de acciones **4**.

El comportamiento de las sollicitaciones flexionales requiere que una "cáscara" sea una unidad solidaria e inseparable: cortes y perforaciones conllevan alteraciones en la homogeneidad **5**. Sin embargo, como se ha dicho antes, la finalidad de carácter estético y funcional es la ósmosis entre el interior y el paisaje circundante, alentada también por el clima favorable de Caracas; sigue, por lo tanto, la ardua búsqueda de un perfil que corresponda a las líneas de fuerza sobre las que se distribuyen las tensiones, flanqueado por la introducción de otros elementos tales como vigas de borde y armaduras postesadas.

En diciembre de 1956, a casi dos años desde la convocatoria del concurso, el proyecto se presenta completamente ciego hacia el norte, intersecado por una superficie cilíndrica en la fachada opuesta y por planos inclinados de forma diferente sobre los restantes frentes. La versión que tiene como generatriz una curva catenaria se diferencia de una segunda opción con curva parabólica únicamente por un incremento de la superficie cubierta (Fig. 5a).

En el tercer experimento, que remonta al mes siguiente, todas las superficies de sección son ortogonales al plano útil e incrementan

su número: la planimetría aparece como más regular y la angulosidad se mitiga. También la directriz sufre una corrección, mientras se confirma la catenaria como generatriz. Está especificada, además, está también definida la presencia de vigas y de pilares a lo largo de los bordes (Fig. 5b).

El proyecto de ejecución de mayo confirma el perfil sinusoidal en el alzado principal y en el diseño de planta, mientras hace verticales todos los soportes (Fig. 5c).

A partir de los estudios gráficos del proyecto, resulta invariante el principio geométrico: se contempla la traslación de un perfil a lo largo de una curva que no reside en un plano.

Las características están eficazmente resumidas como sigue:

La cubierta se diseñó con un espesor constante de 10 cm y tiene un revestimiento externo de mosaico, y una capa de aislamiento acústico en el interior. Para evitar los efectos de retracción la zona de cimentación continua de la parte trasera descansa sobre apoyos deslizantes con barras de unión. Dichas barras soportan los esfuerzos horizontales al nivel del suelo. La fisuración se evita mediante un pretensado longitudinal en estos apoyos deslizantes **6**.

La progresiva ejemplificación, la atipicidad y la esbeltez de la forma imponen una prueba experimental: el *Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción de Madrid* realiza un modelo a escala 1:10 de hormigón armado, averiguando cómo se distribuyen los esfuerzos aplicando cargas –simétricas



2. Proyecto final para el Club Táchira (Fruto Vivas) en *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.

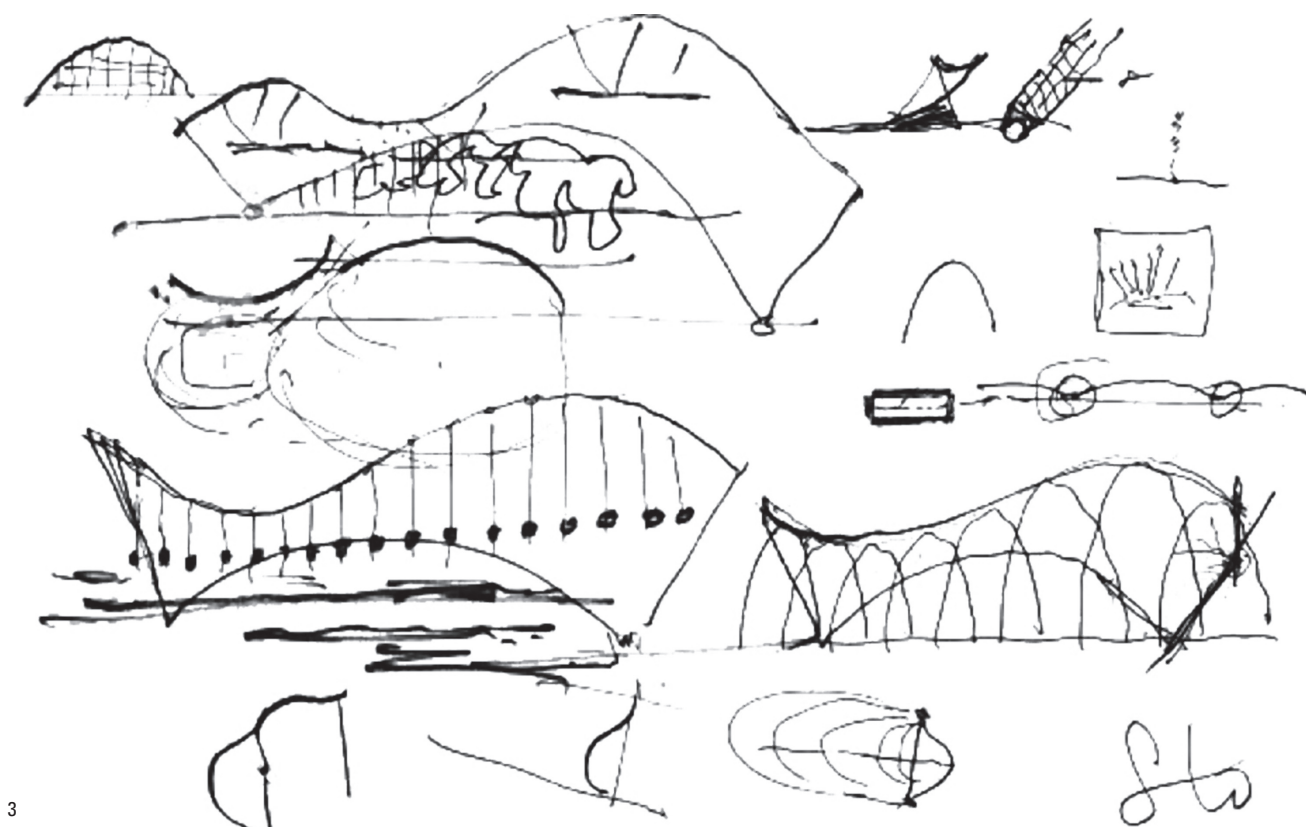
3. Alzados, secciones y detalles de la cubierta de hormigón de Táchira (FrutoVivas). En *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.

4. Planta de la cubierta con las plataformas colgantes en su interior y detalle del cerramiento a base de cables de los que cuelgan los contenedores de la vegetación (FrutoVivas). En *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.

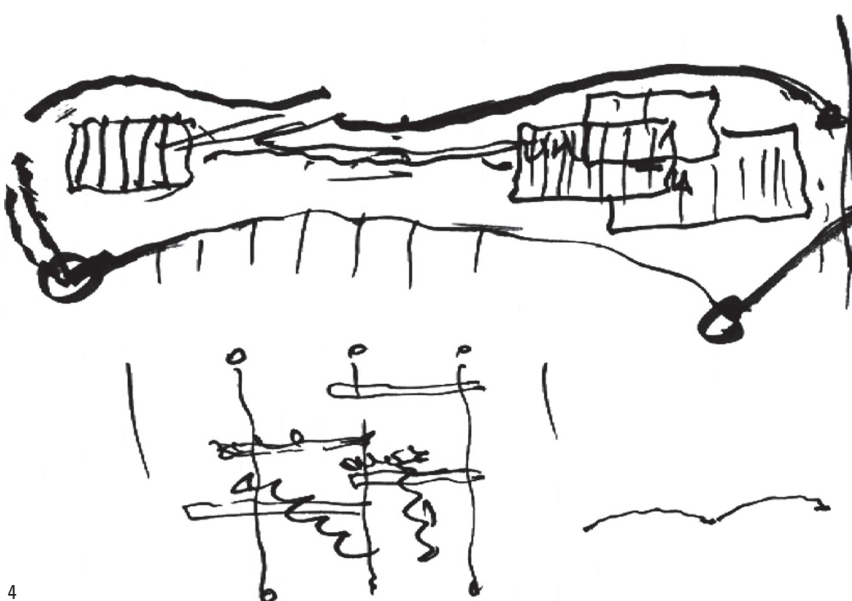
2. Final project for the Táchira Club (Fruto Vivas) of *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.

3. Elevations, sections and details of the concrete vault of Táchira (FrutoVivas) of *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.

4. Plan of the shell with its interior platforms and detail of the enclosure cables that hangsome containers of vegetation (FrutoVivas) of *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas* cit.



3



4

the catenary as generatrix line was confirmed. It is also specified the presence of beams and pillars along the edges (Fig. 5b).

The executive project of May confirms the sinusoidal profile and the plan design, while making vertical all vertical elements (Fig. 5c).

The project drawings show that the geometric principle is unchanged: the surface is generated by profile translation along a non-planar curve.

The features are effectively summarized by Torroja:

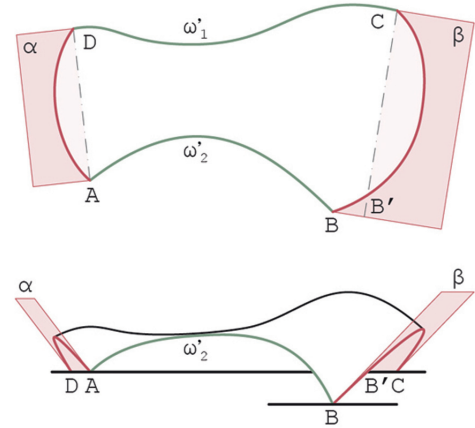
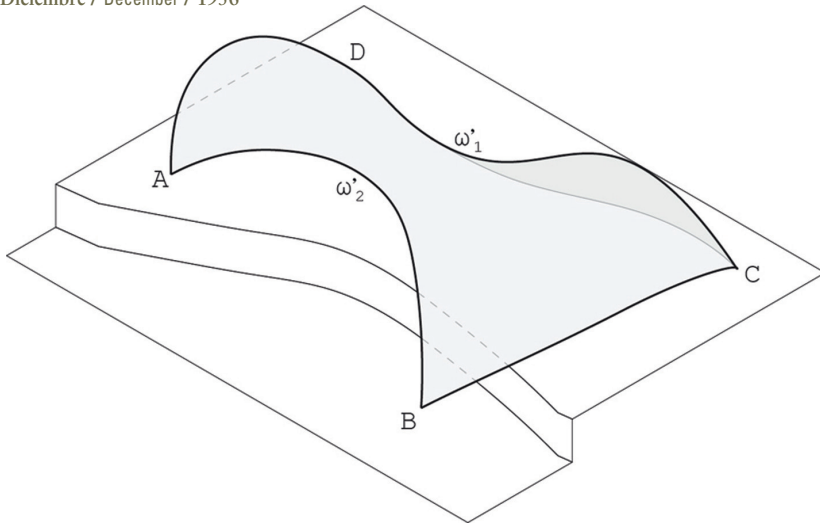
The canopy was designed with a constant thickness of 10cm, and has been covered externally with mosaic, as well as a layer of soundproofing in the interior. In order to avoid the effects of retraction, the foundations zone continues on the back side, and rests upon sliding supports with connecting bars. These bars absorb the horizontal charges on the ground level. Cracking is avoided by means of a pre-tensed longitudinal element on these sliding supports. **6.**



5a. Anteproyecto (Diciembre 1956)  
 5b. Tercerexperimento (Enero 1957)  
 5c. Proyecto ejecutivo (Mayo 1957) (Autores)

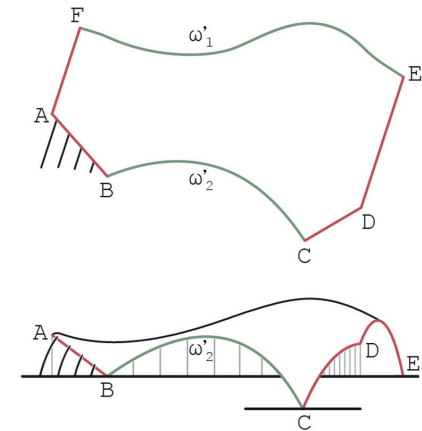
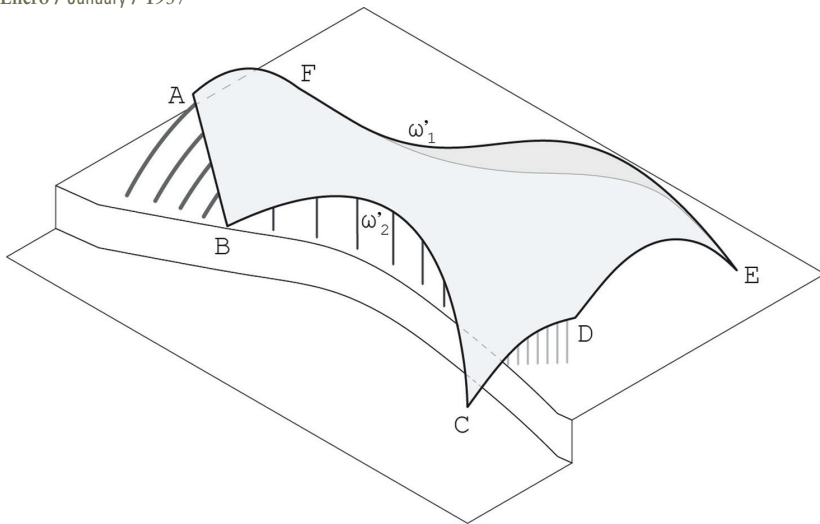
5a. Preliminary draft (December 1956)  
 5b. Third experiment (January 1957)  
 5c. Executive project (May 1957) (Authors)

● Diciembre / December / 1956



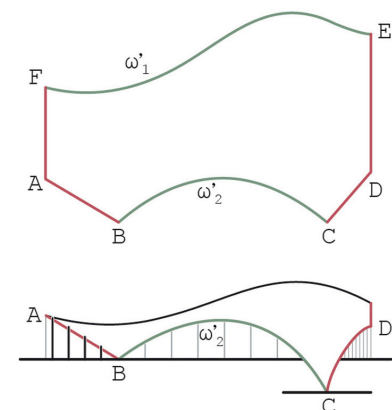
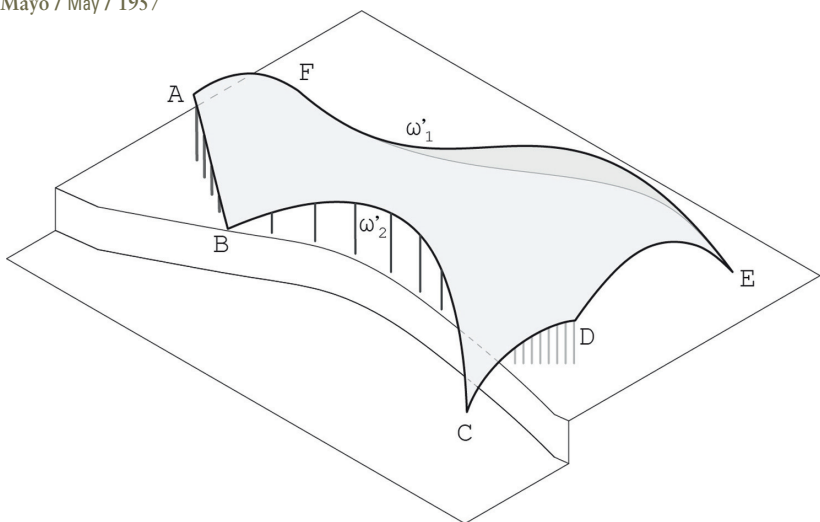
5a

● Enero / January / 1957

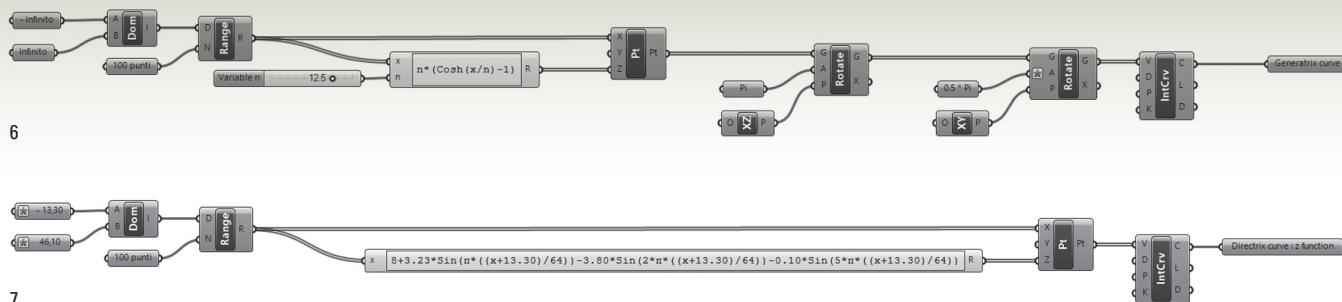


5b

● Mayo / May / 1957



5c



cas y asimétricas–, y las diferencias de temperatura entre el intradós y el trasdós de la cáscara 7.

### Fundamentos del método

La complejidad de la génesis formal, fruto de la intuición, la indagación concreta y la gestión del conocimiento previo, es acorde con la más avanzada práctica arquitectónica de la época.

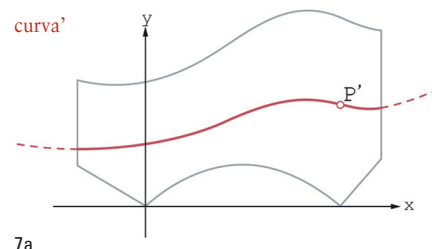
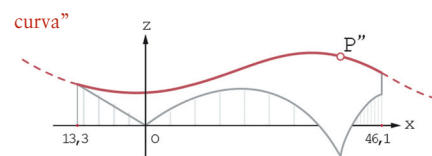
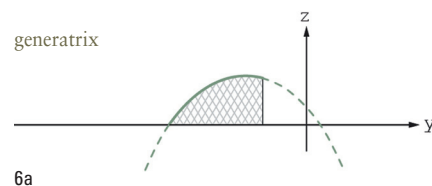
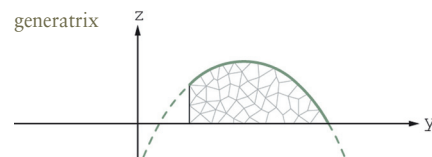
Fruto de secuencias lógicas progresivas, esa cáscara se puede explicitar a través de un algoritmo lineal, identificando vínculos y relaciones además del dominio multidimensional de su existencia, como simples variables de un problema. En su estado actual, *Grasshopper*, plug-in de *Rhinoceros*, permite el acceso a esta tipología de modelización. Este programa utiliza las potencialidades de los *scripting languages*, abandonando, sin embargo, las dificultades de los códigos a favor de componentes visuales más claros e intuitivos, que desarrollan cada una de las operaciones lógico-matemáticas requeridas. Esta modalidad de definición del proyecto no sólo asegura la exploración de las ilimitadas soluciones del problema al ir variando el valor asignado a los parámetros, sino que es también un indispensable fundamento para la búsqueda de la forma más conveniente, de acuerdo con un criterio específico, en otras palabras, más eficaz, siguiendo estrategias de *Form Improvement*. Ése funciona de manera análoga a la evolución darwiniana, palabras clave son: mecanismos de selección, acoplamiento y factor de mutación.

### Aplicación y desarrollo

*Grasshopper* permite la exacta reproducción del proceso geométrico. De manera análoga a cualquier programa de modelización tridimensional, es posible definir la superficie a la que pertenece la bóveda, a través de un único mando de extrusión de una curva generatriz a lo largo de una directriz: estos son los datos en partida del problema. Aunque sea posible deducir las dos curvas de los diseños originales e importarlas, *Grasshopper* ofrece la extraordinaria oportunidad de explicitar y controlar por completo, todas las fases de ideación. En ese caso es preciso un esfuerzo mental de comprensión del proceso lógico implícito, el algoritmo. En el caso de que algunos elementos sean variables, éste describe el conjunto de formas que lo cumplen. Esto implica que la ecuación de la generatriz se pueda escribir como sigue:

$$f(x) = n \left( \text{ch} \frac{x}{n} - 1 \right)$$

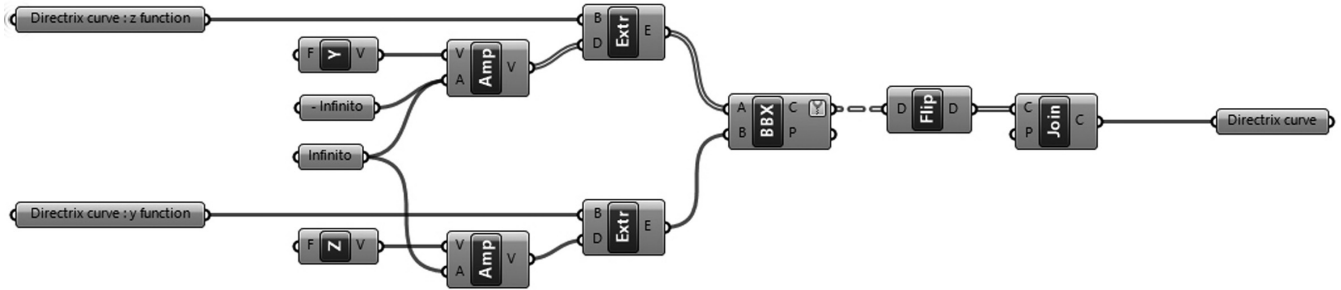
Consiguientemente, la catenaria seleccionada por Torroja, que tiene  $n = 12.5$ , se identifica como caso peculiar en una colección de curvas que responden a la misma ley matemática. En el presente caso, la definición del intervalo de valores que el parámetro puede adquirir para que la configuración conclusiva resulte adecuada a cuestiones de carácter tecnológico, constructivo y estético, recubre un papel primario. Como resulta evidente en la figura 6, la realización de la curva con *Grasshopper* requiere múltiples pasajes



6. Realización de la curva generatriz con *Grasshopper* (impostación del dominio de existencia y la interpolación de puntos)  
 6a. Proyecciones ortogonales de la catenaria sobre el plano YZ (Autores)  
 7. Definición analítica de la curva sinusoidal c'' con *Grasshopper* (impostación del dominio de existencia y la interpolación de puntos)  
 7a. Proyecciones ortogonales de la directriz c sobre los planos XY y XZ (Autores)

6. Realization of the generatrix curve with *Grasshopper* (imposition of the domain of existence and interpolation of points)  
 6a. Orthogonal projections of the catenary on the YZ plane (Authors)  
 7. Analytical definition of the sinusoidal curve C'' with *Grasshopper* (setting of the domain of existence and interpolation of points)  
 7a. Orthogonal projections of the guideline c on the XY and XZ planes (Authors)





8

Despite the progressive exemplification of the project, it has been necessary an experimental verification because of the atypical and thin shape: Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción de Madrid realizes a 1:10 scale reinforced concrete model, verifying how applied loads –symmetric and asymmetric loads– distribute and the difference temperature between the intrados and the extrados of the shell 7.

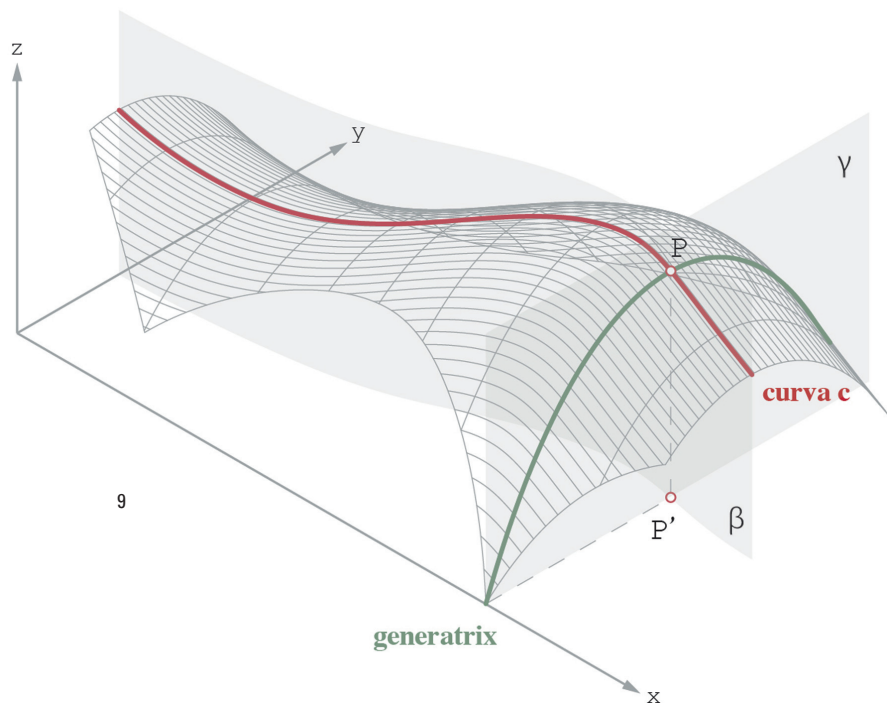
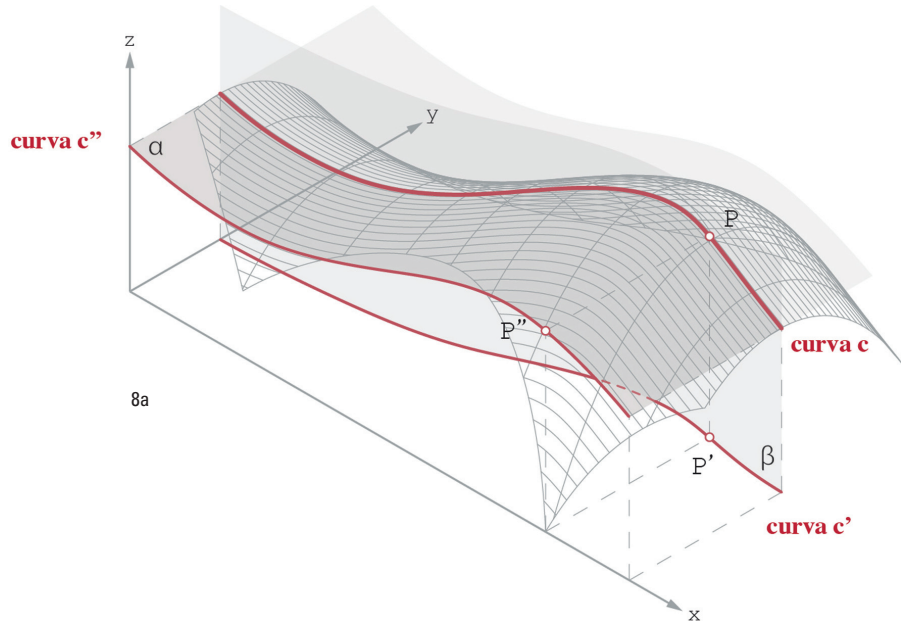
### Basis of the method

The *Club Tachira* geometric complexity is the result of intuition, of applied research and prior knowledge management: it is comparable to the most advanced architectural design.

The shell was generated by progressive logical sequences; it can be explained through a linear algorithm, identifying constraints and relationships as well as the multidimensional domain of existence, such as simple variables of a problem. At present *Grasshopper*, plug - in of *Rhinoceros*, makes available this kind of modelling. This software uses the potential of scripting, removing, however, the level of complexity of the codes in favour of visually clear and intuitive components that perform each of the logical-mathematical operations required. This way of designing, not only ensures the exploration of the infinite solutions of the problem that change according to the value assigned to the parameters, but it is an indispensable basis for the research of the most convenient form in relation to a specific parameter, also known as *Form Improvement*. This method works in a similar way to Darwinian evolution. Selection mechanism, coupling algorithm and mutation factor are the keywords.

### Application

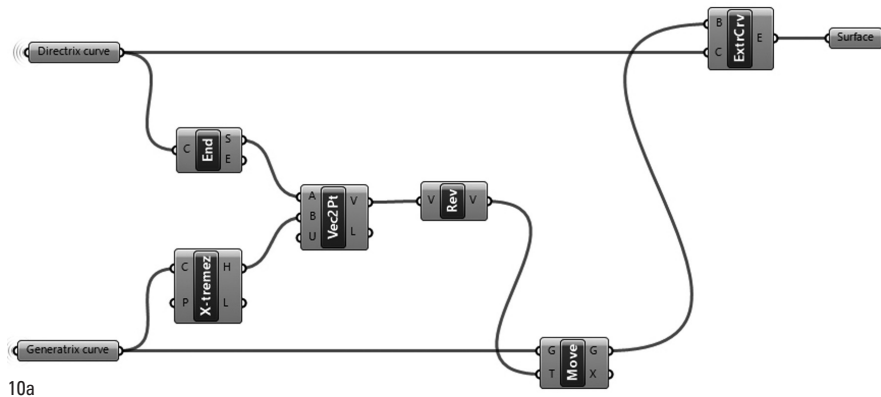
*Grasshopper* allows an exact duplication of the geometric process that generates the shell. Similarly to any other 3D model software, the surface is generated through a single extrusion command of a generatrix



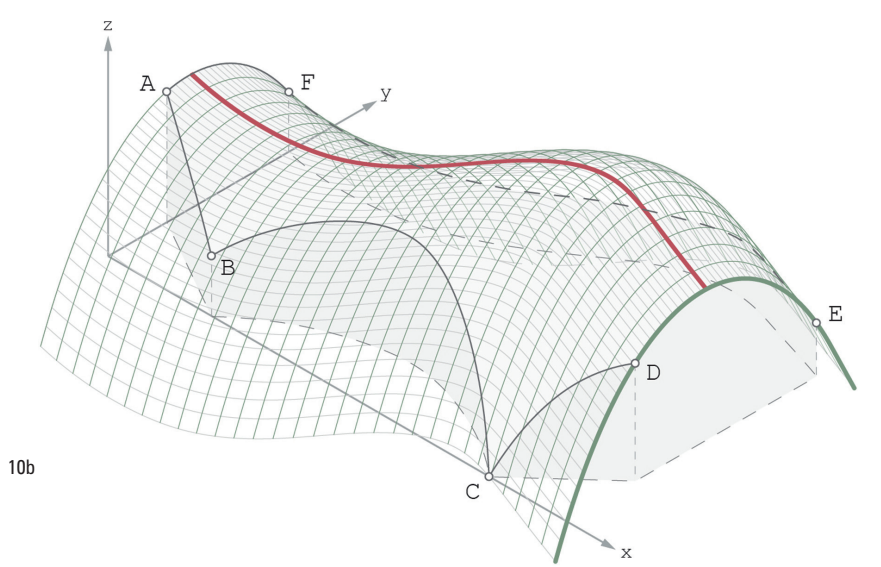


- 8. Intersección de las dos superficies  $\alpha$  y  $\beta$ , obtenidas, respectivamente, trasladando  $c'$  hacia  $z$  y  $c''$  hacia  $y$  con *Grasshopper* (8) y con axonometría (8a) (Autores)
- 9. Axonometría de la catenaria (Autores)
- 10a. Traslación de la catenaria a lo largo de la directriz  $c$  con *Grasshopper* (Autores)
- 10b. Traslación de la catenaria a lo largo de la directriz  $c$  con axonometría (Autores)

- 8. Intersection of the two surfaces  $a$  and  $b$ , obtained, respectively, by transferring  $c'$  towards  $z$  and  $c''$  towards  $y$  and with *Grasshopper* (8) and with Axonometry (8a) (Authors)
- 9. Axonometry of the catenary (Authors)
- 10a. Translation of the catenary along the guideline  $c$  with *Grasshopper* (Authors)
- 10b. Translation of the catenary along the guideline  $c$  and axonometry (Authors)



10a



10b

intermedios entre la impostación del dominio de existencia y la interpolación de puntos. Esto reduce la inmediatez del programa y aliena la reflexión: cualquier operación requiere la máxima atención.

En realidad, si pensamos que, tradicionalmente, para diseñar un número  $m$  de puntos es necesario iterar la misma acción  $m$  veces, y que, en *Grasshopper* el sólo comando *Construct Point* permite acceder a la misma nube de puntos (Fig. 6), ya se puede comprender cómo el relativo incremento de dificultad sea ampliamente compensado. Además las sucesivas rotaciones están obli-

gadas, sólo en este caso específico, para orientar la concavidad hacia abajo, y mover los puntos desde el plano XZ hacia el YZ, como es requerido por la geometría del proyecto, suponiendo que el prospecto principal sea relativo al plano XZ. Como demostración de esto se puede observar la sucesiva porción del algoritmo en la figura 7, que además excluye la variación que se superpone con la fórmula:

$$f(x) = 8 + 3,23 \sin \pi \frac{x + 13,3}{64} + -3,8 \sin 2\pi \frac{x + 13,3}{64} - 0,1 \sin 5\pi \frac{x + 13,3}{64}$$

curve along a directrix curve: they are the input data of the problem. Although it is possible to deduce the two curves from the original drawings and import both, *Grasshopper* provides a unique opportunity to fully explain and control all phases of conception. In this case it must be a mental effort of understanding the underlying logic process, the algorithm. If some elements are made variable, it describes the set of shapes that satisfies it. Although it is possible to deduce the two curves from the original drawings, *Grasshopper* provides a unique opportunity to fully explain and monitor, all concept phases. In this case we have to do a mental effort of understanding logical process: the algorithm. If some elements are made variable, it is able to show the set of shapes that satisfy him. Therefore, the generatrix equation can be written as follows:

$$f(x) = n \left( ch \frac{x}{n} - 1 \right)$$

Consequently, the catenary used by Torroja, having  $n = 12.5$ , is a special case chosen between curves generated by the same mathematical rule. The definition of values interval that the parameter can assume so that the final configuration is the best in relation to technological, constructive or aesthetic issues plays a key role in the case study. As shown in figure 6, the construction of the curve with *Grasshopper* requires multiple intermediate steps between the existence domain setting and the interpolation of points. This reduces the immediacy of the software and stimulates a reflection: any operations require maximum attention to define the best strategy. Actually, traditionally in order to draw  $m$  points you must iterate  $m$  times the same action, using *Grasshopper* the only *Point Construct* is able to define the same point cloud (Fig. 6). This shows how the increasing of difficulty is fully repaid.

In the case study, the rotations enables it to direct the concavity downwards and move the points from the XZ plane to YZ, according to the project, assuming that the main elevation is relative to the XZ plane. You can observe the next portion of the algorithm in figure 7, which excludes the variation of the curve described by the function:





$$f(x) = 8 + 3,23 \sin \pi \frac{x + 13,3}{64} +$$

$$-3,8 \sin 2\pi \frac{x + 13,3}{64} - 0,1 \sin 5\pi \frac{x + 13,3}{64}$$

This is the analytical definition of the sinusoidal curve  $c''$  that delimits the elevation (Fig. 8).  $c''$  is the orthogonal projection of the directrix curve which is not a plane curve. It belongs to the translational surface  $\alpha$  obtained by extruding the trigonometric curve  $c''$  in the  $y$  direction. Note the first projection  $c'$ , the directrix is generated by the intersection of the two cylindrical surfaces  $\alpha$  and  $\beta$  respectively obtained by translating  $c'$  in the direction  $z$  and  $c''$  in the  $y$  direction. As a result of such operations (Fig. 9), it is necessary only to match the vertex of the catenary, previously defined, with one end of the directrix curve. It therefore performs a shift of the same curve according to the vector passing through the two points (Fig. 10a). Finally, the planar catenary translates parallel to itself by generating the double-curved surface, more rigid and resistant than a single curvature surface (Fig. 10b). In this way it is obtained a flexible, dynamic, light and resistant form surface. The EF edge and the curve  $b$ , to which it belongs the support B, are determined by intersecting with a horizontal plane located at 0,00 elevation. The point B is uniquely determined by the distance from the ends (Fig. 11a). Known the alignment between the points B and C and the elevation of the last one, the point C was determined (Fig. 11b). The positions of A, D and H on the respective isocurve (Fig. 11c), the interval and the number of pillars were considered variables. The edges of the surface are determined using the cylindrical surfaces generated by the orthogonal projections (Fig. 12). The construction of the parametric model allows to obtain a series of different spatial configurations that meet the same requirements as invariable. In this way we can choose, between different solutions, the optimized solution with respect to a certain parameter. In the case study, the structural optimization is the main goal. Strain energy, weight, stiffness or stress, can be calculated in *Grasshopper* with *Karamba*. Such *add-on* plays a key role in structural finite element analysis. It allows real-time values updating of stresses, strains,

11. Proceso lógico por identificación de los bordes y los puntos:

11a. Borde EF y curva  $b$  (h 0.00 m), a la que pertenece el punto B

11b. Punto C, alineamiento entre B y altura -6,50 m

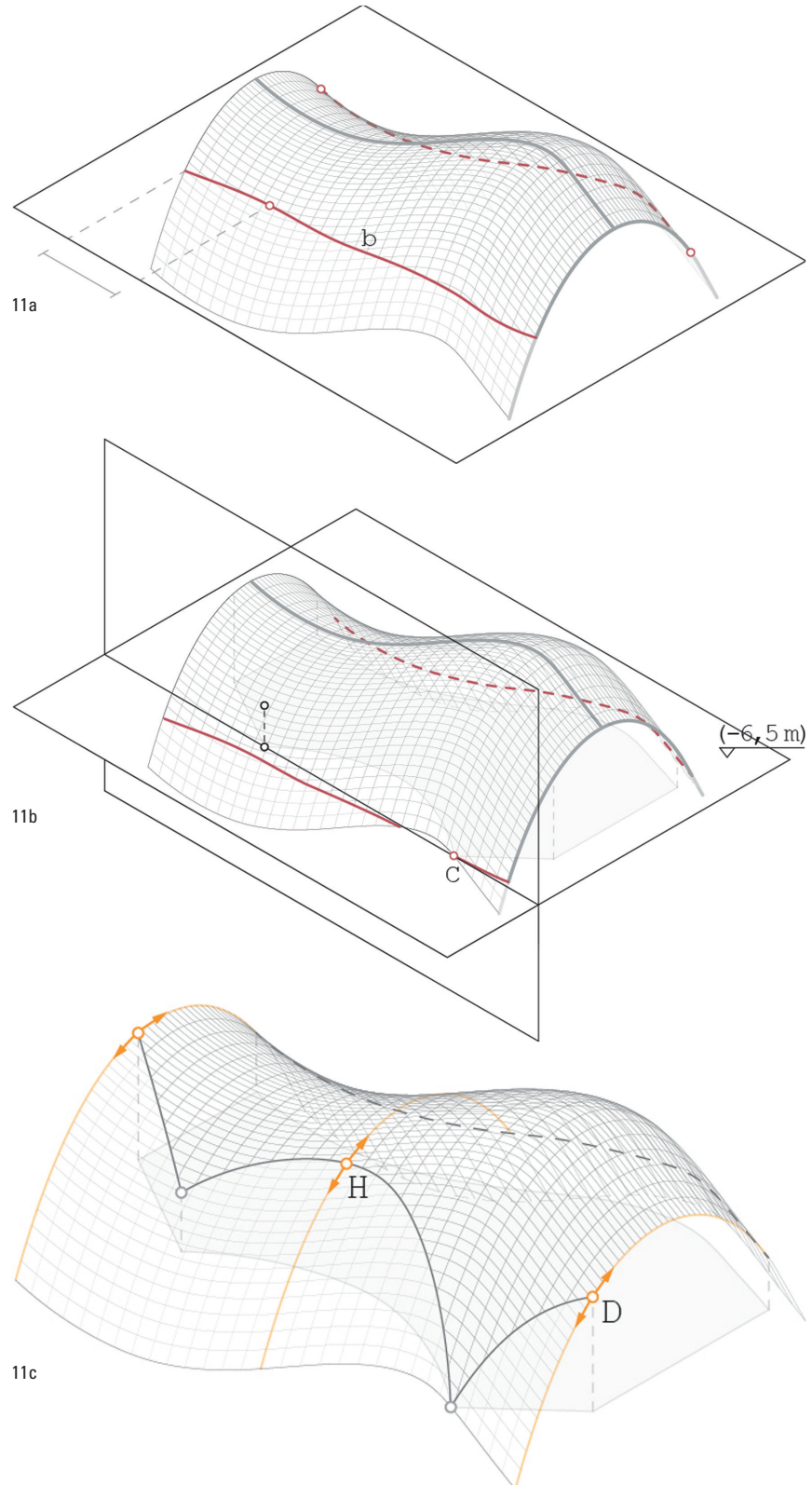
11c. Puntos A, D, H, variables en las respectivas curvas iso-paramétricas (Autores)

11. Logical process by identification of the edges and points:

11a. Edge EF and curve  $b$  (h 0.00 m), to which the point B belongs

11b. Point C, alignment between B and height -6.50 m

11c. Points A, D, H, variables on the respective iso-parametric curves (Authors)





12. Intersección de la superficie, según las proyecciones de los bordes sobre la misma (Autores)

12. Intersection of the surface, according to the projections of the edges on the (Authors)

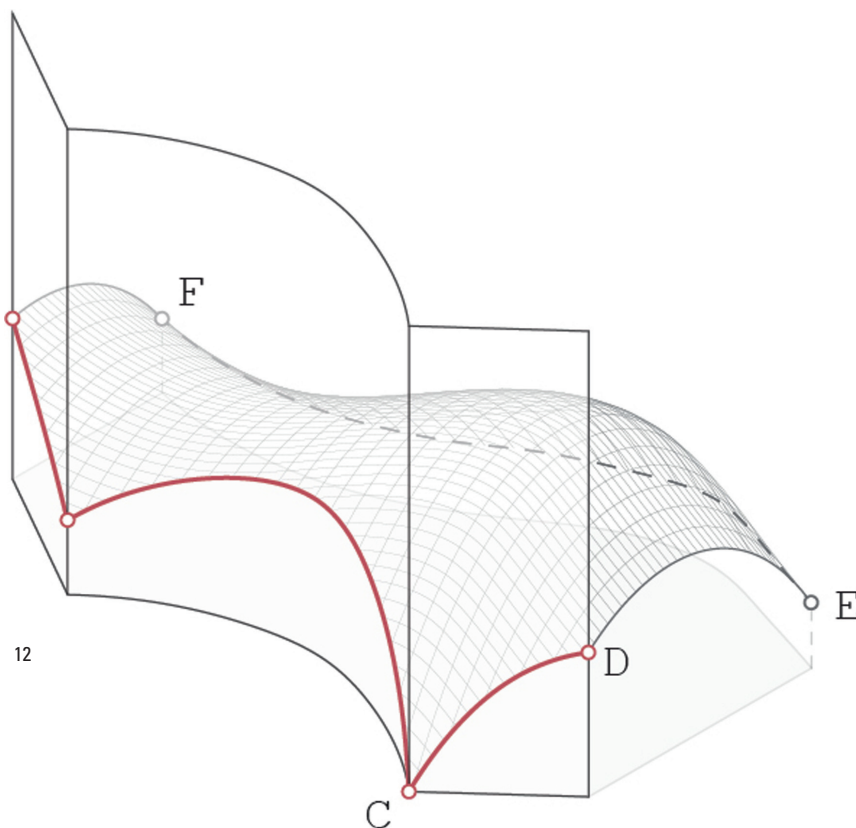
Se trata de la definición analítica de la curva sinusoidal  $c''$ , que delimita el prospecto mencionado arriba (Fig. 8). Sin embargo, como se ha anticipado, la directriz no yace sobre un plano. A partir de esta hipótesis, estamos seguros que pertenece a la superficie de traslación a obtenida extruyendo la curva trigonométrica  $c''$  hacia  $y$ . Conocida la primera proyección  $c'$ , la directriz  $c$  es restituida por la intersección de las dos superficies cilíndricas  $\alpha$  y  $\beta$ , obtenidas, respectivamente, trasladando  $c'$  hacia  $z$  y  $c''$  hacia  $y$ . Tras estas operaciones (Fig. 9), es necesario, exclusivamente, hacer coincidir el vértice de la catenaria, definida previamente, con un extremo de la directriz. Se realiza, por lo tanto, un desplazamiento de la misma según el vector que pasa por los dos puntos (Fig. 10a). Al fin, la catenaria plana se desplaza paralelamente a sí misma sugiriendo la gracia de la bóveda y asegurando la doble curvatura, que garantiza una mayor rigidez y resistencia con respecto a una superficie de curvatura única (Fig. 10b). Están verificadas, de este modo, la flexibilidad, la dinamicidad, la ligereza y la resistencia de forma. A continuación, la intersección de la superficie con un plano horizontal, a cota de 0.00 m, restituye el borde EF y la curva  $b$ , a la que pertenece el sostén B. Conocida la distancia de B desde los extremos, éste es determinado unívocamente (Fig. 11a). Fijada la alineación entre B y el punto C y la altura del mismo con respecto al suelo, también C es planteado (Fig. 11b). Asimismo, se hacen variables las posiciones de A, D y H en las respectivas curvas iso-paramétricas (Fig. 11c), además del intervalo y de la cantidad de pilares. La superficie se interseca, entonces, según

las proyecciones de los bordes sobre la misma (Fig. 12). La fuerza de la parametrización del modelo yace, sustancialmente, en la predisposición de un surtido de configuraciones espaciales que satisfacen la misma lógica. arquitectónica, de modo que se pueda elegir la que mejor satisfaga un determinado criterio. En el caso de estudio, en el que las razones de carácter estructural tienen un papel central, las funciones a optimizar pueden ser la energía de deformación, el peso, la rigidez o el esfuerzo, que se pueden calcular una vez más en *Grashopper* con *Karamba*. Este *add.on* desarrolla análisis estructurales de elementos finitos. Eso permite la actualización en tiempo real de los valores de solicitaciones, tensiones, deformaciones, en paralelo con

deformación, in relation to parameters modification that define the geometry, that must be reduced in nodes, segments, and mesh. The increased complexity is in the discretization process of the surface, in lines and points of discontinuity, while there is a great simplicity in constraint conditions variation, material and characteristics of the section change, to which *Karamba* responds immediately. In this way it is possible to overcome the gap between the 3d modelling software and traditional software for the structural analysis, and then the gap between architecture and engineering, each overcoming its limitations.

Conclusion

Parametric representation stimulates many new expectations: these tools open up a new architectural stage where the architect is able to create and control complex shapes in an easier way. In particular parametric modelling helps the designer during the







course of the ingenious and mutually design process, which inevitably meets and clashes with technical, economic, aesthetic requirements of costumers and different professional figures involved in the project. This design method supports the search and check of real scale configurations in a virtual space, without any costs in terms of material used. This is a great agreement between freedom and full control. ■

#### Notes

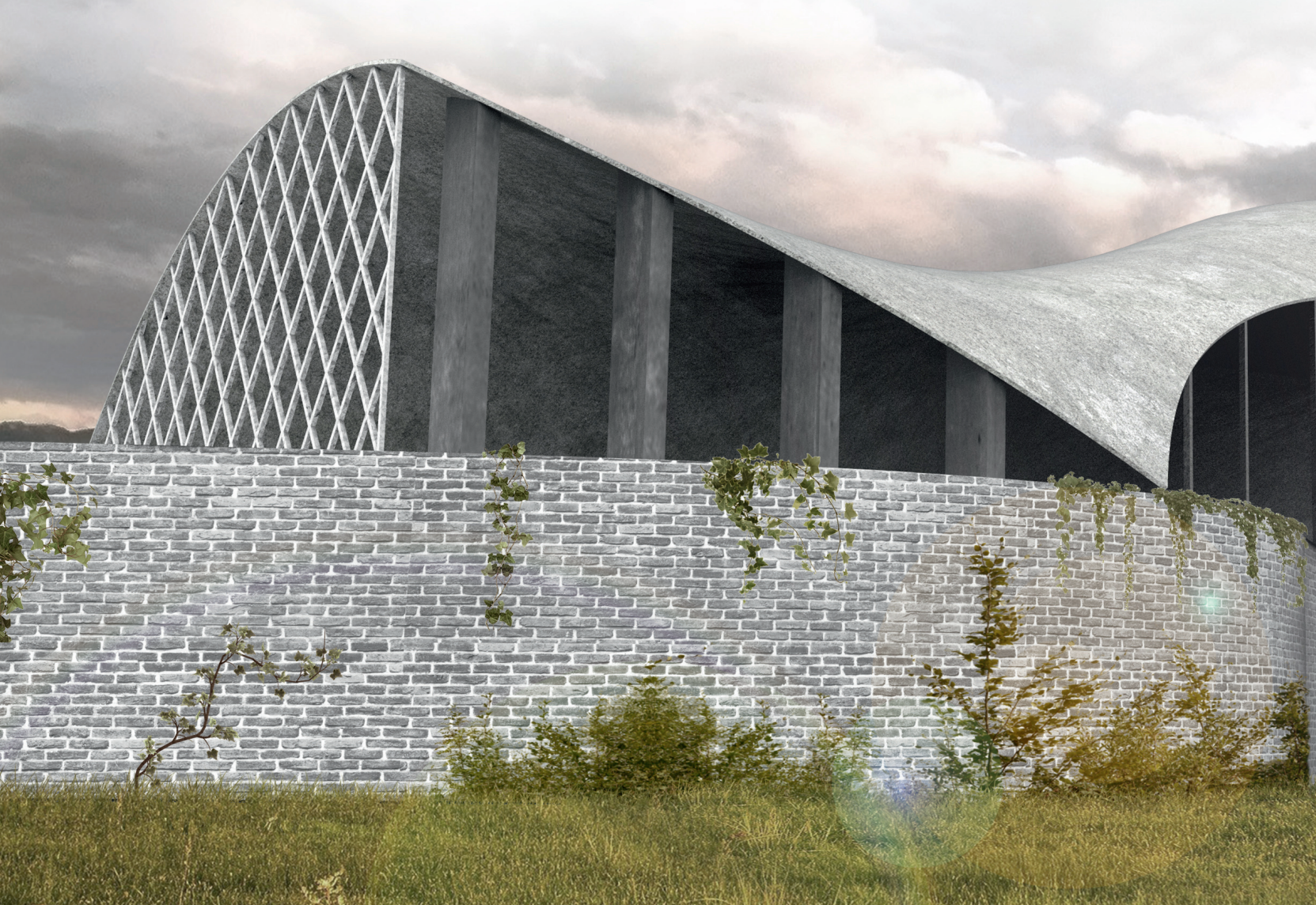
1 / "Imaginemos el aire necesario que los envuelve, y una ventana gigante, en este caso un jardín colgante, para mirar la ciudad deslumbrante. Entonces dejemos caer un pañuelo desde el espacio, que cubra estas áreas y que tome la forma lógica, apoyada sobre las dos variables: los espacios recreativos y el paisaje" Cfr. F. Escrig, J. Sánchez, *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas*, Informes de la Construcción, Vol. 57, ne 499-500, septiembre-octubre/noviembre-diciembre 2005, p. 135

2 / "Eduardo Torroja, con quien trabajé en el diseño de la cubierta del Club Táchira, aún no construida. De él aprendí a manejar la lógica de los tipos estructurales, a descubrir que

el cambio de los parámetros que determinan la geometría, siempre que ésta última sea traducida en nudos y segmentos de una malla. La mayor dificultad se encuentra justo en el acto de discretización en líneas y puntos de discontinuidad, mientras que, hay una excepcional sencillez en la variación de condiciones de vínculo, material y características de la sección; en este caso *Karamba* responde inmediatamente. Se supera, así, la clara división entre la modelización y el análisis de programas tradicionales, y, por así decir, la escisión entre arquitectura e ingeniería, que vencen sus propias limitaciones, perfeccionándose mutuamente.

## Conclusión

Las promesas de digitalización son extraordinarias: los instrumentos informáticos inauguran una era arquitectónica en la que la creación y manipulación de irregularidades y complejidades generales ya no representan una utopía. En particular, la modelización paramétrica se pone al lado del diseñador a lo largo del oscilante y variable desarrollo de la idea, la que, ineludiblemente, se encuentra y se enfrenta con exigencias de carácter técnico, económico y estético de los proyectos y de los perfiles profesionales implicados. Esta tipología de diseño permite la búsqueda y la verificación de configuraciones en escala real en un







13. Imagen realizada por los autores

13. Image made by the authors

espacio abstracto, sin ningún gasto en términos de materiales utilizados además de un óptimo equilibrio entre libertad y control total. ■

Notas

- 1/ “Imaginemos el aire necesario que los envuelve, y una ventana gigante, en este caso un jardín colgante, para mirar la ciudad deslumbrante. Entonces dejemos caer un pañuelo desde el espacio, que cubra estas áreas y que tome la forma lógica, apoyada sobre las dos variables: los espacios recreativos y el paisaje” Cfr. F. Escrig, J. Sánchez, *La Bóveda de hormigón del club Táchira en Caracas, Informes de la Construcción*, Vol. 57, pp. 499-500, septiembre-octubre/noviembre-diciembre 2005, p. 135
- 2/ “Eduardo Torroja, con quien trabajé en el diseño de la cubierta del Club Táchira, aún no construida. De él aprendí a manejar la lógica de los tipos estructurales, a descubrir que la maestra de todas las estructuras óptimas es la naturaleza, aprender a observar las ramas de las palmeras y el vuelo de las gaviotas o la magia delirante de un colibrí o una libélula para luego aplicarlo a la dura realidad del mundo en que vivimos”, Cfr. F. Vivas, *Félix Candela: constructor de sueños de papel*, Encontrado en Internet, 2016, ([http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/ar\\_quitextos/13.155/4712](http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/ar_quitextos/13.155/4712)).
- 3/ “La capacidad estática es la consecuencia directa de curvaturas y arrugamientos dados a una superficie, cuyo espesor siempre permanece muy pequeño respecto a la dimensión del conjunto. La eficiencia

- de esas estructuras es más bien el fruto de la forma y de una difusa actitud resistente, y no de la concentración de acciones agentes y de secciones resistentes a lo largo de cada uno de los elementos, como en los más corrientes sistemas de nervaduras principales y secundarias.” P.L. Nervi, *Costruire Correttamente*, Milano, Hoepli, 1965, p. 42.
- 4/ M. Salvadori, *Why Buildings Stand Up*, W. W. Norton & Company, New York 1980, trad. it., *Perché gli edifici stanno in piedi*, Strumenti Bompiani, Milano 2010, pp. 203-232.
- 5/ En realidad el estado de la membrana es alterado no sólo por discontinuidad, sino también por cargas asimétricas o concentrados que inducen un régimen flexional. Esta dificultad se intuye de manera inmediata tomando como referencia la cáscara por antonomasia, la cáscara del huevo, que se rompe por solicitaciones puntuales y tiene una resistencia casi nula en la proximidad de bordes cortados.
- 6/ Cfr. E. Torroja, *Las estructuras de Eduardo Torroja, Ministerio de Fomento*, Centro de Publicaciones, 1999, pp. 44-46
- 7/ El sistema de carga consistió en utilizar un gran número de flotadores unidos a la cubierta, cuya acción se podía modificar uniformemente variando el nivel de agua del tanque en el que se hallaban. La cubierta se ensayó también bajo carga asimétrica, para simular la acción del viento. Asimismo se reprodujo el efecto de una diferencia de la temperatura entre las caras interior y exterior de la lámina, mediante calentamiento artificial. Los esfuerzos máximo en la cubierta no superaron los 8,00 kg/cm<sup>2</sup>.” Cfr. E. Torroja, *Las estructuras de Eduardo Torroja*, cit. - C. L. Marcos, *Algoritmos, Formatividad y abstracción parametrizada*, Expresión Gráfica Arquitectónica, 2010 pp. 94 – 218.

- la maestra de todas las estructuras óptimas es la naturaleza, aprender a observar las ramas de las palmeras y el vuelo de las gaviotas o la magia delirante de un colibrí o una libélula para luego aplicarlo a la dura realidad del mundo en que vivimos”, Cfr. F. Vivas, *Félix Candela: constructor de sueños de papel*, Encontrado en Internet, Barcelona 1999
- 3/ “La capacità statica è diretta conseguenza di curvature o corrugamenti dati ad una superficie, il cui spessore resta sempre molto piccolo rispetto alla dimensione del complesso. L’efficienza di tali strutture è frutto più della forma e di una diffusa attitudine resistente, che non di concentramenti di azioni di azioni agenti e di sezioni resistenti lungo singoli elementi, come si ha nei più usuali sistemi a nervature principali e secondarie.” P.L. Nervi, *Costruire Correttamente*, Milano : Hoepli, c1965. p. 42
- 4/ M. Salvadori, *Why Buildings Stand Up*, W. W. Norton & Company, New York 1980, trad. it., *Perché gli edifici stanno in piedi*, Strumenti Bompiani, Milano 2010, pp. 203-232
- 5/ The membrane state is altered not only by discontinuity, but also by asymmetric or concentrated loads that induce a flexural regime. This difficulty is immeasurable immediately, leading to the shell of the egg, which breaks for punctual stresses and has almost nothing near the edges if it is cut.
- 6/ Cfr. E. Torroja, *Las estructuras de Eduardo Torroja*, Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, 1999, pp. 44-46.
- 7/ “El sistema de carga consistió en utilizar un gran número de flotadores unidos a la cubierta, cuya acción se podía modificar uniformemente variando el nivel de agua del tanque en el que se hallaban. La cubierta se ensayó también bajo carga asimétrica, para simular la acción del viento. Asimismo se reprodujo el efecto de una diferencia de la temperatura entre las caras interior y exterior de la lámina, mediante calentamiento artificial. Los esfuerzos máximo en la cubierta no superaron los 8,00 kg/cm<sup>2</sup>.” Cfr. E. Torroja, *Las estructuras de Eduardo Torroja*, cit.

