

## LA COMPLEJIDAD DE LOS PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS Y LA RIQUEZA DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA IGLESIA SANTÍSIMA TRINIDAD

### THE COMPLEXITY OF THE HYPERBOLIC PARABOLOIDS AND THE RICHNESS OF THE CONSTRUCTION DETAILS OF THE HOLY TRINITY CHURCH

Mariolly Dávila Cordido; orcid 0000-0002-4582-4287

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE BARCELONA ESTE. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

doi: 10.4995/ega.2024.19395

El patrimonio edificado del Movimiento Moderno recoge ejemplos de estructuras a base de superficies regladas. Una de ellas es la cubierta de cuatro paraboloides hiperbólicos de bordes rectos, tres de ellos de eje vertical y el último de eje inclinado, de la Iglesia Santísima Trinidad en Caracas.

El objetivo es la definición arquitectónica de la Iglesia y sus paraboloides hiperbólicos a través de una metodología de visualización arquitectónica que utiliza el modelo 3D y las proyecciones ortogonales en el programa SolidWorks. La metodología se plantea en tres fases, en primer lugar, la búsqueda bibliográfica y planimétrica. En segundo, el desarrollo del modelo 3D y los detalles. Y finalmente, el

análisis geométrico de la cubierta y de los detalles constructivos. Como conclusión se plantea un análisis complejo, inexistente hasta el momento, que permite la modelización de superficies curvas de complejidad geométrica y la obtención de nueva planimetría.

**PALABRAS CLAVE: PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, MODELADO 3D, SOLIDWORKS**

*The built heritage of the Modern Movement includes examples of structures based on ruled surfaces. One such example is the roof of the Santísima Trinidad church in Caracas, composed of four hyperbolic paraboloids with straight edges, three of which have a vertical axis and the fourth an oblique one.*

*The objective is the architectural definition of the church and its hyperbolic paraboloids through an architectural visualisation methodology that uses a 3D model and orthogonal projections in the SolidWorks program. The methodology is proposed in three phases: first, the bibliographical and planimetric research; second, the development of the 3D model and the details; and finally, the geometric analysis of the roof and the construction details.*

*In conclusion, a complex analysis is proposed, which has not existed until now, allowing the modelling of curved surfaces of geometric complexity and the creation of new planimetry.*

**KEYWORDS: ARCHITECTURAL HERITAGE, 3D MODELLING, SOLIDWORKS**



## Planteamiento del problema

De información existente de especialistas en patrimonio sobre la iglesia, la primera noticia que se tiene es del *Instituto de Patrimonio Cultural de Venezuela (IPC)*, quien la declara como Bien de Interés Cultural de la Nación y sugiere que debe ser protegida y conservada, sin descripción arquitectónica. Incluso aparece en los *Catálogos del Patrimonio Cultural Venezolano, 2004-2008*, del mismo IPC, describiéndola con una planta irregular y su techo de concha (Instituto del Patrimonio Cultural de Venezuela & Fundación de la Memoria Urbana, 2005).

Organizaciones en patrimonio como: la Fundación de la Memoria Urbana (2008), DOCOMOMO Venezuela (2021), y la Fundación Arquitectura y Ciudad (2022), repiten la referencia del IPC. Además, Hannia Gómez añade que su planta es irregular, sus techos inclinados llegan hasta el suelo, y tiene curvaturas (Gómez, 2013, p. 4-5).

En la web PEAKD, Benjamín Sánchez Mujica (2022) expone que la planta es irregular, la cubierta tiene diferentes curvaturas y dos paraboloides. Y el Museo de Arquitectura Alemán (2017) hace referencia, en SOSBrutalism, diciendo que tiene una cubierta de dos paraboloides. En ambos casos la indicación de dos paraboloides hiperbólicos puede no ser incorrecta porque hay dos tipologías estructurales: eje vertical y eje inclinado.

Se puede sintetizar que desde el punto de vista arquitectónico, la poca información técnica que existe sobre la geometría y la cubierta de la Iglesia, es errónea.

## Estado de la cuestión

### *Edificaciones con cubiertas de paraboloides hiperbólicos de bordes rectos entre 1955 y 1970*

Según Tonda (2000), utilizando paraboloides hiperbólicos, se elaboraron 1.439 proyectos, de los que se materializaron 896 en el mundo. Habiendo tantos referentes, se analizarán los de bordes rectos en edificaciones de culto.

Desde 1950, en América, la construcción e investigación de *hypars* se realiza gracias a Félix Candela. La tipología estructural de bordes rectos la desarrolla con el acoplamiento de otras unidades, que a su vez tiene repercusiones en la geometría de la planta, ya que pasa de una composición sencilla a estar integrada por varias formas. Entre sus referentes están la Iglesia Nuestra Señora de la Soledad de 1955 en México, con una planta romboidal y una cubierta con un *hypar* (García, 2007); la iglesia de San José Obrero de 1959 en Monterrey, México, con una planta de dos triángulos y una cubierta de dos paraboloides de bordes rectos con inclinación respecto del eje vertical; la Capilla de San Vicente de Paul en Coyoacán, México D.F., de 1959, con una planta de cuatro triángulos y una cubierta de tres paraboloides; y la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe, de 1963, con una planta circular y una cubierta de ocho *hypars* (Manterola, 2010), (Presencia del exilio español en la arquitectura mexicana), (GeoLab. Web de Geometría ETSEM).

Rafael Gerardo Páez (2015) señala que en Venezuela no había tradición constructiva de superficies de doble curvatura y que hubo un retraso en el uso de estas limitándolo a los paraguas invertidos (Páez, 2011, p. 55-60). Únicamente el arquitecto

## Problem Statement

From the existing information provided by heritage specialists on the church, the first mention is that of the Venezuelan Cultural Heritage Institute (IPC), which declares it to be a Cultural Heritage Asset of the Nation and suggests that it should be protected and preserved. However, no architectural description is provided. Furthermore, it is referenced in the 2004-2008 catalogues of Venezuelan Cultural Heritage, published by the same IPC, which describes it as having an irregular floor plan and a shell roof (Instituto del Patrimonio Cultural de Venezuela & Fundación de la Memoria Urbana, 2005). Heritage organisations such as Fundación de la Memoria Urbana (2008), DOCOMOMO Venezuela (2021), and Fundación Arquitectura y Ciudad (2022) have reiterated the IPC reference. Furthermore, Hannia Gómez posits that the building's floor plan is irregular, its sloping roofs extend to the ground, and it exhibits curvatures (Gómez, 2013, pp. 4-5).

In an online article on PEAKD, Benjamín Sánchez Mujica (2022) asserts that the floor plan is irregular, the roof has different curvatures, and there are two paraboloids. The German Architecture Museum (2017) also references this in SOSBrutalism, stating that the roof has two paraboloids. In both cases, the indication of two hyperbolic paraboloids may be accurate, given that there are two structural typologies: vertical axis and inclined axis.

In conclusion, the limited technical information currently available on the geometry and roof of the church is incorrect from an architectural point of view.

## State of the Art

### *Buildings with hyperbolic paraboloid roofs with straight edges between 1955 and 1970*

According to Tonda (2000), 1,439 projects have been developed utilising hyperbolic paraboloids, with 896 of these having been constructed globally. In light of the numerous references, those with straight edges in religious buildings are subjected to analysis.

Since 1950, the construction and research of *hypars* have been carried out in America, thanks to the work of Félix Candela. The structural typology with straight edges was developed through the coupling of other units, which in turn influenced the geometry of the floor plan, moving from a simple composition to integration through various



forms. Among the references are the Church of Nuestra Señora de la Soledad from 1955 in Mexico, with a rhomboidal floor plan and a roof with one hyperboloid (García, 2007); the Church of San José Obrero from 1959 in Monterrey, Mexico, with a floor plan of two triangles and a roof of two hyperbolic paraboloids with straight edges inclined concerning the vertical axis; The Chapel of San Vicente de Paul in Coyoacán, Mexico City, from 1959, features a floor plan of four triangles and a roof of three paraboloids. The Church of Nuestra Señora de Guadalupe, from 1963, has a circular floor plan and a roof of eight hyperboloids (Manterola, 2010), (Presence of Spanish exile in Mexican architecture), (GeoLab). The Web of Geometry (ETSEM).

Rafael Gerardo Páez (2015) notes that in Venezuela, there was no established tradition of utilising double curvature surfaces in constructive applications, and that their use was initially limited to inverted umbrellas (Páez, 2011, pp. 55-60). Only the architect Álvaro Coto Asenjo, who owned the company *Cubiertas Ala de Venezuela S.A.*, a subsidiary and representative of architect Félix Candela's projects, designed and constructed a significant number of hyperbolic paraboloid structures. One example is the 1964 Zulia Medical Association Auditorium roof, which features eight hyperboloids and straight edges. These are the only examples of this type of structure in the country.

### Orthogonal Projection and 3D Models for Visualisation

Two tools that can be employed to enhance the visualisation and comprehension of three-dimensional objects are physical models and orthogonal projection drawings. The representation of a three-dimensional object can be described as a process of prescriptive mathematical three-dimensional modelling. In this manner, the process of ordering modelling serves as a tool for the capture and comprehension of elements such as geometry. (Cumino, Pavignano and Zich, 2023). The utilisation of drawing as a tool for the analysis and synthesis of the relationships between geometric objects in space is evidenced by the fact that their two-dimensional graphical representation consists of a set of correlated orthogonal views (Ching, Juroszek, 2010). These orthogonal projections permit the reconstruction of the geometry of complex shapes, such as parabolas and curves, using multiple projection planes (Cumino et al., 2021). Following the advent of computers, the ordering

### 1. Encofrado cubierta y altar (1969). Archivo Iglesia

Álvaro Coto Asenjo, quien tenía la empresa *Cubiertas Ala de Venezuela S.A.* filial y representante de los proyectos del arquitecto Félix Candela, realizó un buen número de diseños y construcciones de estructuras de paraboloides hiperbólicos. Una de ellas, con bordes rectos, es la cubierta del auditorio del Colegio de Médicos de Zulia de 1964, con ocho *hypars*. Esta y la cubierta de nuestro caso son los únicos ejemplares de este tipo de estructuras en el país.

### Proyección ortogonal y modelos 3D para visualizar

Dos herramientas para mejorar la visualización y comprensión de objetos 3D son: el modelo físico y el dibujo de las proyecciones ortogonales. La representación de un objeto 3D puede describirse como un proceso de modelización tridimensional matemática prescriptiva. De esta manera, el modelado "*que ordena*" se presta como una herramienta para capturar y comprender aspectos, como la geometría (Cumino, Pavignano y Zich, 2023). El uso del dibujo, como herramienta de análisis y síntesis para expresar relaciones entre objetos geométricos en el espacio y su representación gráfica 2D, consiste en un conjunto de vistas ortogonales correlacionadas (Ching y Juroszek, 2010). Estas proyecciones ortogonales permiten reconstruir la geometría de formas complejas, como parábolas, curvas, etc., a través de la utilización de múltiples planos de proyección (Cumino et al., 2021).

Tras la revolución informática, el modelado 3D "*que ordena*" y la proyección ortogonal recurren a los sistemas CAD, que a menudo no son tan sencillos para crear superficies tridimensionales de doble curvatura (Mark, 1999). Para

### 1. Cover and altar formwork (1969). Church Archive

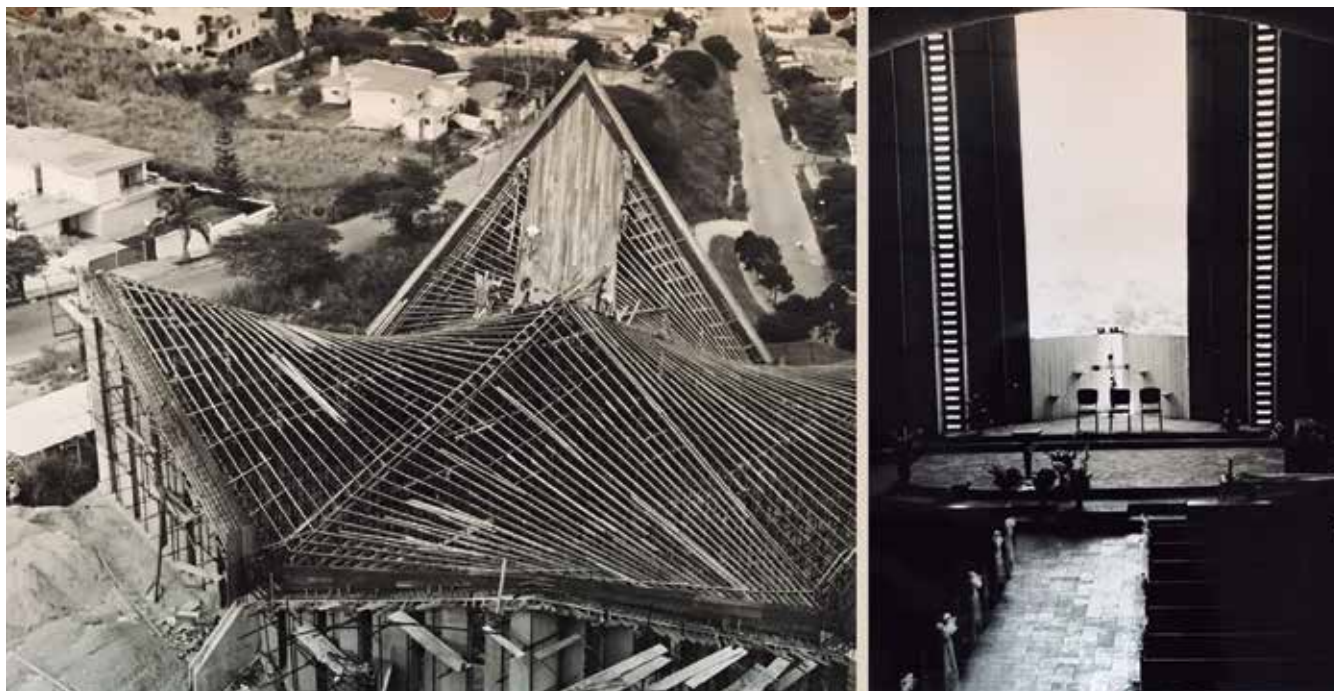
integrar estas ideas se cuenta con el programa SolidWorks, con una exploración limitada en arquitectura. A pesar de ello, existen cuatro trabajos: uno habla sobre la estructuración de los modelos arquitectónicos utilizando el concepto de componentes estándar en el diseño de componentes mecánicos (Yuqing, Jing y Xiaoyan, 2009a.); otro, con una simulación sobre el proceso constructivo de un edificio (Yuqing et al., 2009b); el 3° sobre los antiguos métodos de construcción de la región Jinshanling, la Gran Muralla China (Yang et al., 2017); el 4° para reproducir animaciones dinámicas de cuerpos rígidos (Akharas, Hennessey y Tornoe, 2020).

### Metodología

La metodología, basada en el *Uso de la Proyección Ortográfica y los Modelos tridimensionales para Visualizar* (Cumino et al., 2021), se desarrolla en tres fases: con la revisión bibliográfica y planimétrica; la construcción del modelo 3D, las vistas ortogonales y los detalles en el programa SolidWorks, y finalmente, con el análisis del contenido y de detalles constructivos, junto a la información planimétrica.

### Fase I—Bibliográfica y planimétrica:

En 1963 se iniciaron las conversaciones sobre el levantamiento de un templo en la urbanización Prados del Este, en Caracas, en una parcela de 4.200m<sup>2</sup>, la cual fue entregada a un grupo de sacerdotes de la *Sociedad de San Edmundo*, encabezada por el reverendo Lawrence Lyons, cuyo nombre es "*Iglesia la Santísima Trinidad*" (Fig. 1).



1

Desde 1964 la Sociedad ha invitado a 10 sacerdotes y ha tenido 4 párrocos en sus más de 50 años de historia. Uno de ellos, Edward Dubriske, quien estuvo más de 46 años en la parroquia, facilitó toda la información histórica y gráfica. En el archivo se encuentran los presupuestos, contratos, fotografías y planos del proyecto, que se dividen en arquitectura, instalaciones y estructura, de donde se han obtenido los datos métricos para el modelado. Del conjunto de planos, que según presupuesto de 22 de junio de 1967 hace referencia el arquitecto, solo restan: siete de arquitectura, cuatro de estructuras, cinco de instalaciones.

El edificio fue diseñado por los arquitectos Andrés E. Betancourt Silva y José Antonio Ron Pedrique, conjuntamente con los ingenieros Frederick Klindt Marcellini y Omar Sotillo Parilli, encargados de los cálculos estructurales. Asimismo, en las instalaciones eléctricas, la compañía Lima & Rodríguez Soto S.A. y Augusto Mendoza. Por las fechas de los planos, el proyecto se realizó entre los años 1968 y 1969, pero acabado en 1976.

### *Fase II-Modelo 3D:*

A continuación, un procedimiento para modelar, extraer rápidamente la geometría y generar vistas ortogonales con el software SolidWorks. Este programa enumera cuatro características esenciales: la generación de superficies de doble curvatura, alcanzando una alta precisión métrica; un programa paramétrico que establece relaciones entre sus dimensiones; su motor gráfico y finalmente, la generación de las vistas ortogonales. Las etapas son:

1. *Planimetría:* cabe señalar que el dibujo en la planimetría de arquitectura e instalaciones se ha simplificado, prescindiendo de vistas básicas, como elevaciones, secciones y detalles, lo que produce errores en las dimensiones y en los espesores de los elementos. En la Fig. 2, se observa cómo en la planta de instalaciones, el lucernario presenta diferentes dimensiones y en el plano de estructura, aparece totalmente simétrico.
2. *Geometría:* se conoce que la arquitectura del movimiento moderno parte de la relación entre forma y función. El primer criterio es

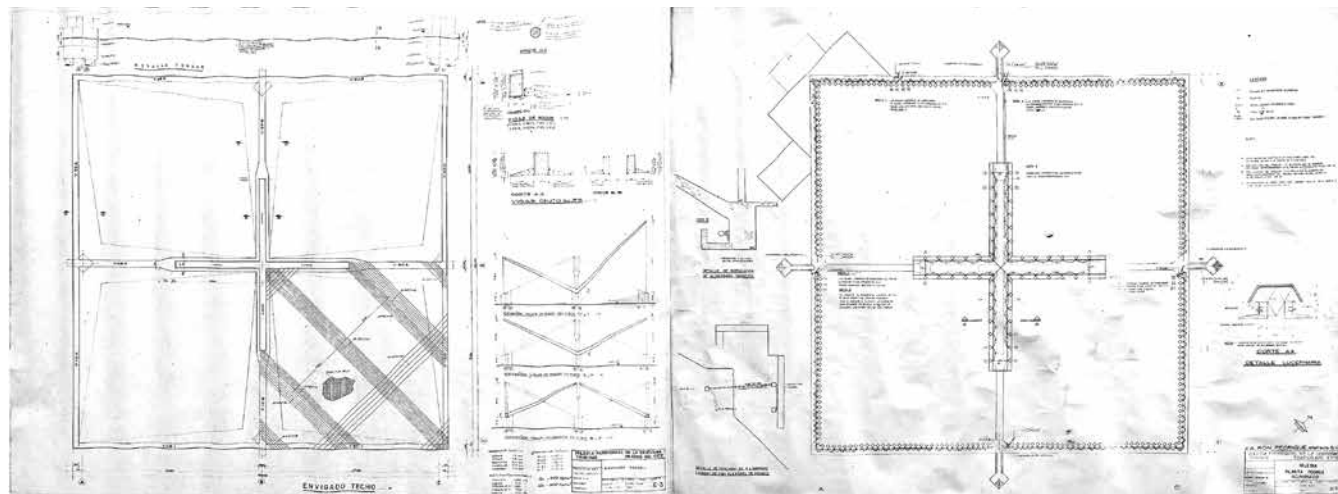
of three-dimensional modelling and orthogonal projection has been largely relegated to CAD systems, which are often not straightforward to use for the creation of three-dimensional double-curvature surfaces (Mark, 1999). Integration of these ideas is possible with the use of SolidWorks, although the extent to which this has been explored in the field of architecture is limited. Notwithstanding, four works are available, one of which discusses the structuring of architectural models using the concept of standard components in the design of mechanical components (Yuqing, Jing and Xiaoyan, 2009a.); another involves a simulation of the construction process of a building (Yuqing et al., 2009b); the third covers the ancient construction methods of the Jinshanling region, the Great Wall of China (Yang et al., 2017); and the fourth is used to reproduce dynamic animations of rigid bodies (Akharas, Hennessey and Tornøe, 2020).

### *Methodology*

The methodology, which is based on *The use of orthographic projection and three-dimensional models for visualisation* (Cumino et al., 2021), was developed in three phases. The first phase involved a bibliographical and planimetric review. The second phase entailed the construction of the 3D model, orthogonal views and details in the SolidWorks programme. Finally, the third phase consisted of an analysis of the content and constructive details, together with the planimetric information.

### *Phase I-Bibliographic and planimetric:*

In 1963, discussions began regarding the construction of a temple in the Prados del Este urbanisation



2

in Caracas, on a plot of 4,200 m<sup>2</sup>. This plot was handed over to a group of priests from the *Society of Saint Edmund*, led by Reverend Lawrence Lyons, and the temple is named "Church of the Holy Trinity" (Fig. 1).

Since its inception in 1964, the Society has extended an invitation to 10 priests and has had four parish priests over the course of its more than 50-year history. One of the priests, Edward Dubriska, who served in the parish for over 46 years, provided all the historical and graphic information. The archive contains a variety of materials, including budgets, contracts, photographs, and project plans. These have been divided into three categories: architecture, installations, and structure. The metric data required for modelling has been obtained from these materials. From the set of plans, which according to the budget dated 22 June 1967, the architect referenced, only seven architectural, four structural, and five installation plans remain. The architectural design of the building was undertaken by Andrés E. Betancourt Silva and José Antonio Ron Pedrique, with the structural calculations being the responsibility of Frederick Klindt Marcellini and Omar Sotillo Parilli, both engineers. Additionally, Lima & Rodríguez Soto S.A. and Augusto Mendoza were engaged in the electrical installations. The project was initiated between 1968 and 1969, but was not completed until 1976.

### Phase II-3D Model:

The following procedure outlines the methodology for modelling, rapid extraction of geometry, and the generation of orthogonal views utilising the SolidWorks software. The program lists four essential features: the generation of double-curvature surfaces with high metric precision; a parametric program that establishes relationships between dimensions; its graphic engine; and finally, the generation of orthogonal views. The following stages are to be observed:

ubicar el cuadrado de 28 x 28m en su centro en relación con la planta y el alzado (vistas diédricas), en el punto de origen, siendo este el medio de sus diagonales.

3. *Estructura*: se toma como referencia, "el diseño de modelos arquitectónicos" (19), y se modelan en cinco archivos-piezas para acoplarse en un archivo-ensamblaje, son:

3.1. *Forjados*: dibujados con *líneas 3D* y *Extruidos* con su grosor.

3.2. *La cubierta*: para crearla de manera rápida y con precisión, se han dibujado las *líneas 3D* sobre las cuatro vigas (sólidos), como geometría de referencia, y con ellas y el comando *Rellenar* se han realizado los *hypars*. Además, se han colocado: como *Límite de parche: optimizar superficie* y en *Opciones/Reparar límite*. No se ha hecho uso de la herramienta *Superficie Reglada* porque requiere tener un sólido continuo para detectar las aristas, si no produce error.

3.3. *La envolvente*: el cerramiento opaco se ha dibujado con *Croquis* en planta y se ha *Extruido* hasta la altura en pendiente de la cubierta. El tipo *brise-soleil* se ha dibujado en el plano perpendicular a los opacos y con *Matriz lineal* y una dirección horizontal se han copiado.

3.4. *Desagüe de aguas pluviales*: se ha creado un elemento y con *Matriz circular* se coloca el resto.

3.5. *Detalle lucernario*: igualmente al anterior.

3.6. *Ensamblaje*: todos los archivos-piezas se han añadido al archivo-ensamblaje para realizar una descomposición con *Vista Exploración* (Fig. 3, 4).

4. *Planos*: las vistas ortogonales han sido dibujadas en SolidWorks y luego han sido acabadas en CAD (Fig. 5, 7, 8 y 9).

### Fase III-Análisis

#### 1. Análisis:

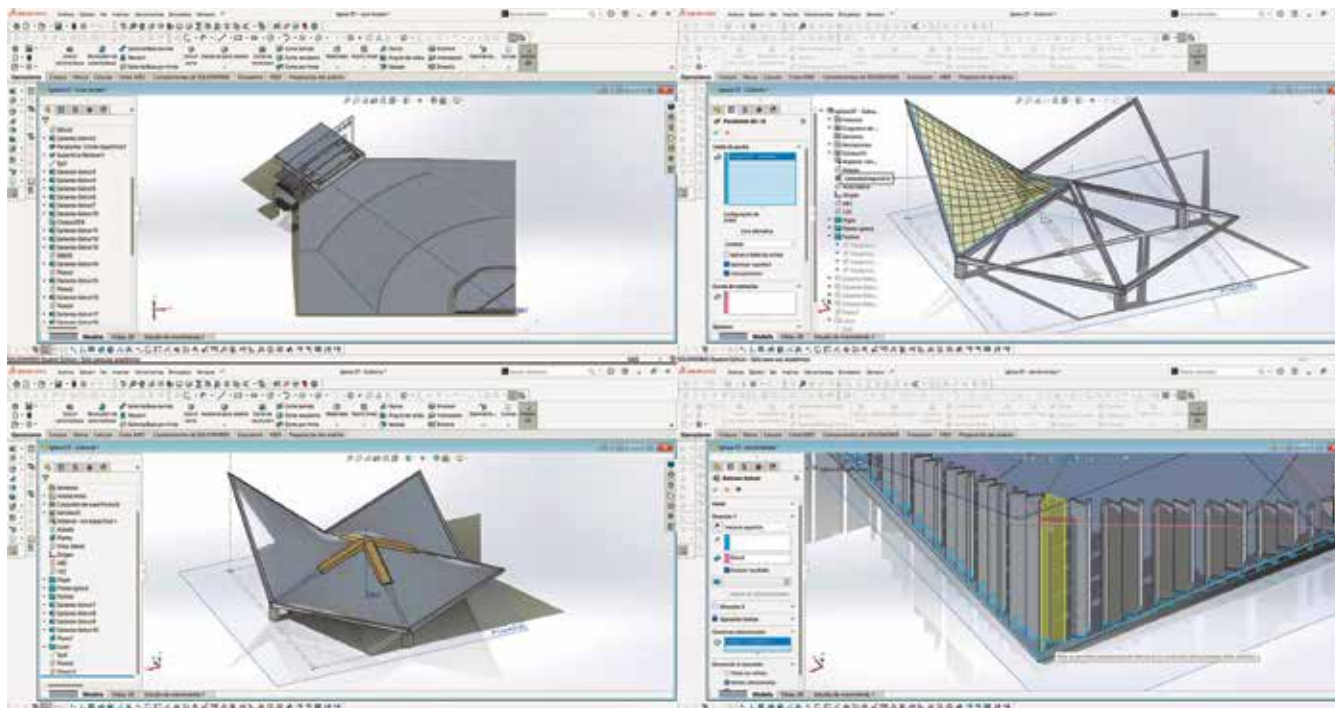
La Iglesia está compuesta por dos volúmenes, el espacio religioso y su acceso. El de acceso, de planta rectangular, de 8,40 x 8,10m, se incorpora al volumen principal, de planta cuadrada, de 28 x 28m, dentro de la misma cubierta, con un área de 784m<sup>2</sup>. El eje axial de la iglesia está dispuesto en su diagonal, de oeste a este.

El acceso principal comienza en el eje axial, en la cota 965,45m. Este elemento contiene la sacristía y el acceso al coro, en su segunda planta. El eje axial, en pendiente hasta la cota 965m, continúa con el espacio donde se ubican los feligreses, rematando con el altar en la cota 965,45m. En los otros dos vértices perpendiculares se ubican el confesionario, al norte, y el sagrario, al sur. Posee dos accesos adicionales, el norte, con dos escaleras que conducen al estacionamiento, y el sur, que comunica con un jardín.

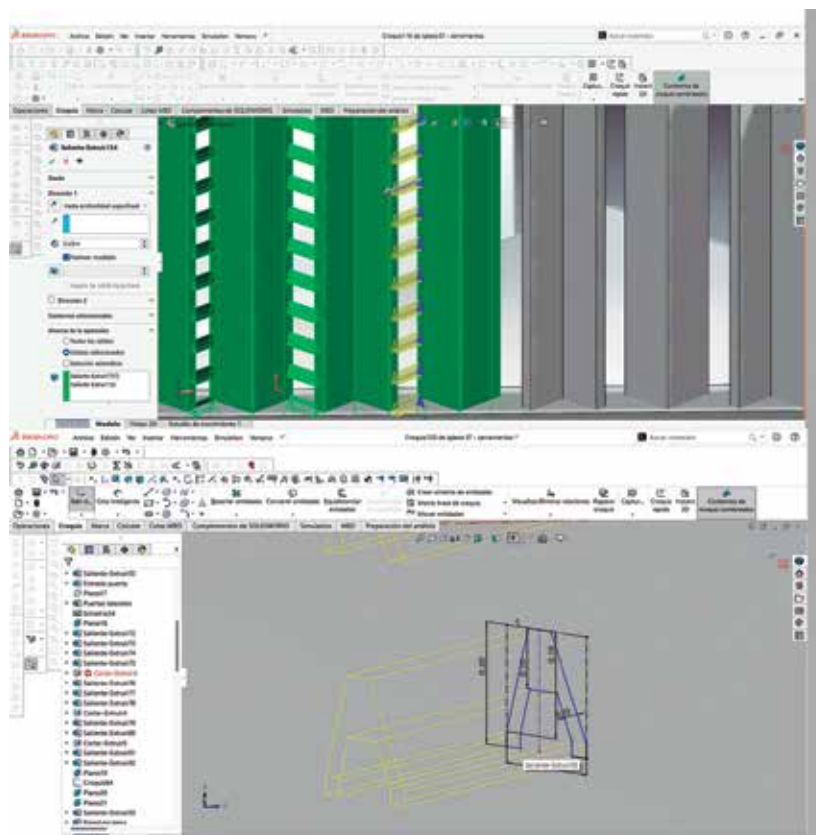


- 2. Planos de estructura e instalaciones (1969). Archivo Iglesia
- 3. Archivos SolidWorks: forjados, cubierta y cerramientos. Elaboración propia
- 4. Archivos SolidWorks: Cerramiento y bloque, Ensamblaje. Elaboración propia

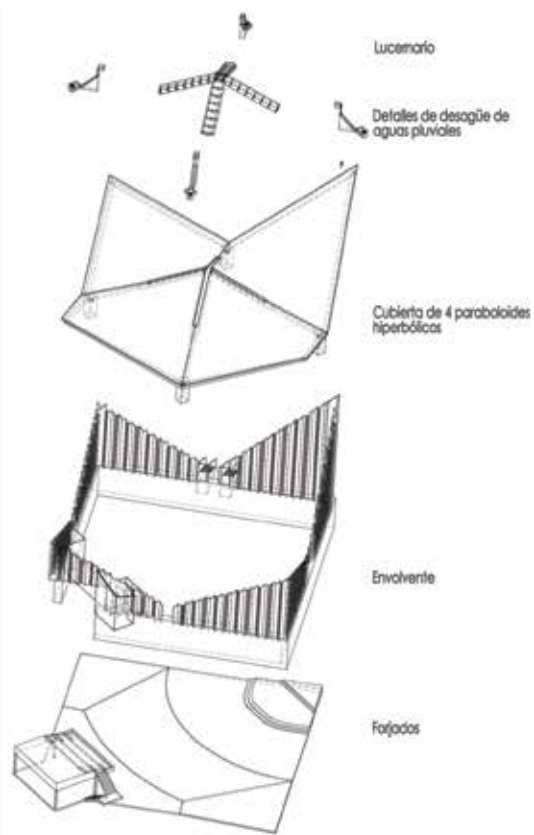
- 2. Structure and facility plans (1969). Church Archive
- 3. SolidWorks files: slabs, roof and enclosures. Own elaboration
- 4. SolidWorks files: Enclosure and block, Assembly. Own elaboration

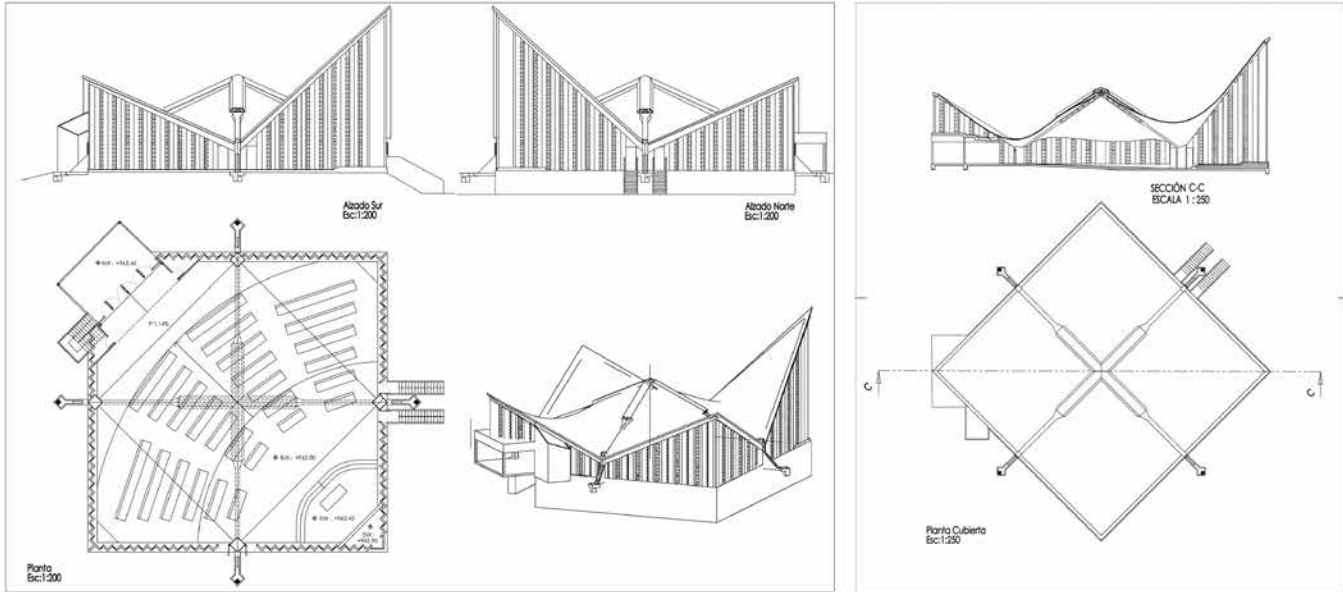


3



4





5

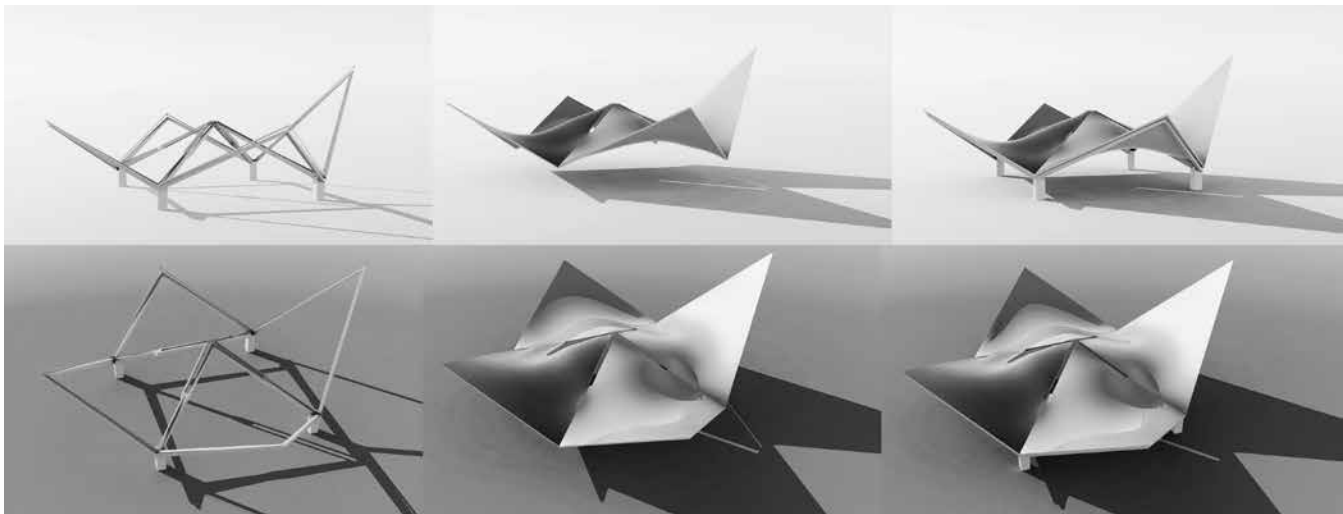
1. *Planimetry*: It should be noted that the drawing in the architectural and installation planimetry has been simplified, omitting basic views such as elevations, sections, and details, which results in errors in dimensions and the thicknesses of elements. In Figure 2, it can be observed that the skylight in the installation plan has different dimensions, whereas in the structural plan, it appears completely symmetrical.
2. *Geometry*: It is known that modern movement architecture is based on the relationship between form and function. The first criterion is to locate the 28 x 28m square at its centre about the plan and the elevation (dihedral views), at the point of origin, which means the mid-point of its diagonals.
3. *Structure and facility plans (1969)*. *Church Archive Structure: Taking "the design of architectural models"* as a reference (19), the models are created in five-part files to be assembled in an assembly file. They are:

Su estructura tiene dos sistemas, el de los *hypars* de bordes rectos, y el tradicional, de vigas y pilares. La cubierta está compuesta por cuatro *hypars* de hormigón armado que apoyan en cuatro pilares girados respecto a sus ejes, cada uno apoya en dos pilares, que miden 1m x 1m y 2,7m, en una planta cuadrada de 28 x 28m. El voladizo central deja paso a un vacío para el lucernario.

Cada *hypar* se apoya en cuatro vigas ubicadas en su periferia, dos de borde y dos centrales. El ancho en planta de las vigas de borde es de 0,4m y de las vigas centrales 0,5m. Cuando aparece el lucernario, la viga central se bifurca en dos

de 0,25m permitiendo un vacío de 0,5m. En las elevaciones, el canto de las vigas de borde y centrales es variable, en los pilares de 0,70m y en los voladizos de 0,30m (Fig. 6).

Los *hypars* de bordes rectos miden 14 x 14m en planta, en alturas se clasifican en dos tipos; el primer de eje vertical, tres de ellos, en donde dos de sus vértices de borde se encuentran a 8,50m y los otros dos a 2,00m (cabeza de pilares). El segundo de eje inclinado, es el *hypar* que cubre el altar, con dos vértices de borde a 8,50m, otro a 2,00m (cabeza de pilares) y el que está más al este, a 15m. La lámina tiene un grueso mínimo de 0,06m.



6

5. Planimetría Iglesia. Elaboración propia  
6. Renders cubierta. Elaboración propia

5. Church Planimetry. Own elaboration  
6. Roof Renders. Own elaboration

## 2. Detalles constructivos:

Es de especial interés el diseño de los cerramientos, el desagüe de aguas y el lucernario, que se analizarán a continuación con el objetivo de entender sus principios de diseño y geométricos.

- Cerramientos:

La edificación, ubicada en un clima templado, permite la abertura de la envolvente para su iluminación y ventilación. Los cerramientos de hormigón prefabricados ubicados en el perímetro de la planta de 28 x 28m, tienen forma de zigzag en planta y su altura está definida por la pendiente de la cubierta. Son de dos tipos, los elementos opacos y los tipos *brise-soleil*. La geometría en planta de los elementos opacos viene dada porque están dispuestos en V en todo el perímetro de la planta, con un ángulo de 45°. A cada lado de cada elemento opaco (V) aparecen los tipos *brise-soleil*, que hace de unión. Los bloques tipo *brise-soleil* no aparecen en la planimetría, pero se conoce que están dispuestos a 0,30m en altura. Su altura total se ajusta a la geometría de la cubierta.

Para modelar el cerramiento, según su función y su geometría, según la planta cuadrada, los vértices que están en el eje axial son elementos abiertos, el acceso y el altar. Los otros vértices perpendiculares son elementos opacos, el confesionario y el sagrario. Además, se conoce que en los puntos medios del cuadrado se encuentran los pilares junto a los desagües de aguas y dos accesos. En el resto de la fachada se desarrollan las dos tipologías (Fig. 7).

- Desagüe de aguas:

En Caracas, los índices de pluvio-metría son elevados, por lo que este detalle es importante. Los cua-

tro pilares que soportan la cubierta contienen, en su vértice, una pared doble con una pendiente de 45° que va desde 2,70m hasta 0,55m, al recolector, ubicado en la parte inferior y que hace 0,45 x 0,45 x 0,60m de largo, del que sale un tubo para conectar con el sistema de aguas.

Para modelar, se conoce que en planta estos elementos están ubicados fuera del cuadrado de 28 x 28m, en el vértice del pilar. Desde planta, el pilar y el recolector tienen la misma forma y proporción, cuadriláteros girados a 45°, y las paredes funcionan como unión entre ambos (Fig. 8).

- Lucernario:

Para el estudio del lucernario, se parte de un detalle en corte transversal y planta. Del corte se analiza que está apoyado en las vigas centrales y tiene una estructura triangular que soporta el material traslúcido. En planta, de las dimensiones longitudinales, poco se puede advertir, porque el dibujo no está en verdadera magnitud.

La geometría del lucernario viene dada porque está ubicado en los ejes de simetría del cuadrilátero mayor, alineado con el detalle del desagüe. En altura, apoya en las vigas centrales, donde el punto más alto es de 8,8m y su punto más bajo de 2,70m. Para modelar se hace una propuesta de dimensión longitudinal; sabiendo que toda la geometría tiene relación, con el plano de estructura donde es simétrico y analizando las fotografías, se plantea 7m. Además, se ha sugerido la ubicación de los soportes (Fig. 2 y 9).

## Conclusiones

Este trabajo ha permitido corroborar que la visualización arquitectónica es una herramienta para

3.1. *Slabs*: Drawn with *3D lines* and *extruded* to their thickness.

3.2. *The roof*: to create it quickly and accurately, *3D lines* have been drawn over the four beams (solids) as reference geometry, and using these lines and the *Fill* command, the *hypars* have been created. In addition, the following settings were used: as *Patch Boundary*: optimise surface and in *Options/Repair boundary*. The *Ruled Surface* tool was not used because it requires a continuous solid to detect the edges, otherwise it produces an error.

3.3. *The Envelope*: the opaque enclosure was drawn with *Sketches* in the plan and *Extruded* to the sloped height of the roof. The *brise-soleil* type was drawn on the plane perpendicular to the opaque ones and copied using the *Linear Pattern* tool in a horizontal direction.

3.4. *Rainwater Drainage*: one element was created and the rest were placed using the *Circular Pattern* tool.

3.5. *Skylight Detail*: similar to the previous step.

3.6. *Assembly*: All the part files were added to the assembly file to perform a decomposition with the *Exploded View* (Fig. 3, 4).

4. *Drawings*: The orthogonal views were drawn in SolidWorks and then finished in CAD (Fig. 5, 7, 8 and 9).

## Phase III-Analysis

### 1. Analysis

The church is comprised of two distinct volumes: the religious space and its access. The access volume, with a rectangular floor plan measuring 8.40 x 8.10m, is incorporated into the main volume, which has a square floor plan of 28 x 28m, within the same roof, covering an area of 784m<sup>2</sup>. The axial axis of the church is oriented along a diagonal from west to east.

The principal entrance is located at an elevation of 965.45m along the axial axis. This element contains the sacristy and the access to the choir on the second floor. The axial axis, which slopes down to an elevation of 965m, continues into the space where the congregation is located, ending at the altar at an elevation of 965.45m. In the other two perpendicular vertices, the confessional is located to the north, while the tabernacle is situated to the south. The church has two additional entrances: the north entrance, which is accessed via two staircases leading to the parking area, and the south entrance, which connects to a garden.





7. Detalle cerramientos. Elaboración propia  
 8. Detalle desagüe de aguas. Elaboración propia  
 9. Detalle lucernario. Elaboración propia

7. Detail of enclosures. Own elaboration  
 8. Water drainage detail. Own elaboration  
 9. Skylight detail. Own elaboration

The structure is comprised of two systems: a straight hyper system and a traditional beam and column system. The roof is composed of four reinforced concrete hypars, which are supported by four columns that are rotated around their axes. Each hyper is supported by two columns measuring 1m x 1m and 2.7m in height, arranged in a square plan measuring 28 x 28m. The central overhang allows for the installation of a skylight. Each hyper is supported by four beams, two of which are located at the edges and two at the centre. The edge beams have a width of 0.4 metres, while the central beams are 0.5 metres wide. At the point where the skylight is visible, the central beam bifurcates into two beams of 0.25m, thus creating a 0.5m gap. In the elevations, the depth of the edge and central beams varies. At the columns, the depth is 0.70m, while at the overhangs it is 0.30m (Fig. 6).

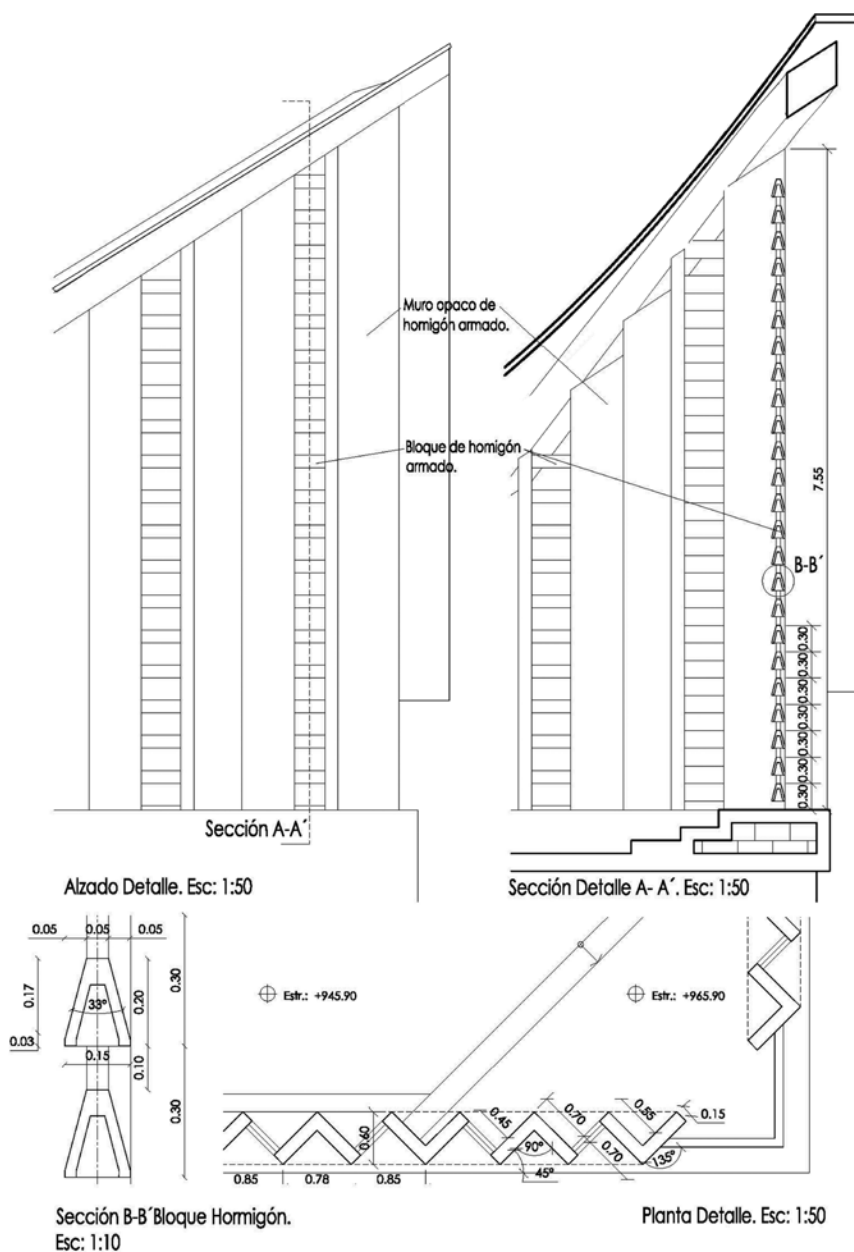
The straight-edged hypars measure 14 x 14m in the plan. In terms of height, they are classified into two types: the first, with a vertical axis, includes three hypars where two of their edge vertices are at 8.50m and the other two at 2.00m (column heads). The second type, with an inclined axis, is the hyper covering the altar, with two edge vertices at 8.50m, another at 2.00m (column head), and the easternmost one at 15m. The slab has a minimum thickness of 6 mm.

## 2. Constructive Details

It is of particular interest to analyse the design of the enclosures, the rainwater drainage system, and the skylight in order to gain an understanding of their design and geometric principles.

### • Enclosures:

The building is situated in a temperate climate, allowing for the opening of the envelope for lighting and ventilation. The prefabricated concrete enclosures are arranged around the perimeter of the 28 x 28m. They have a zigzag shape and the roof's slope determines their height. There are two types: opaque elements and brise-soleil types. The geometry in the plan of the opaque component is determined by their arrangement in a V shape around the perimeter of the plan, at a 45° angle. On each side of each opaque element (V), brise-soleil types serve as connections. The brise-soleil blocks are not shown in the planimetry, but it is known that they are arranged at a height of 0.30m. Their total height adjusts to the geometry of the roof. Based on the square plan, the vertices on the axial axis are open elements, which serve to model



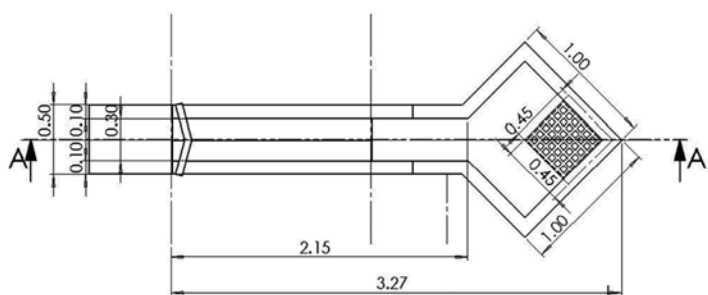
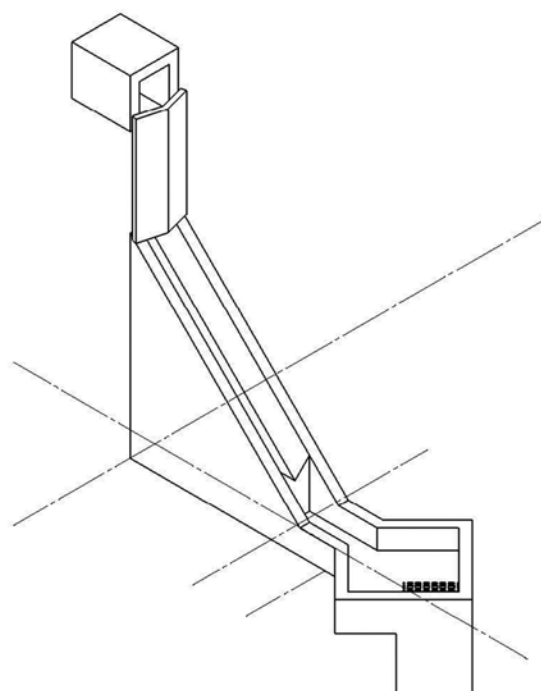
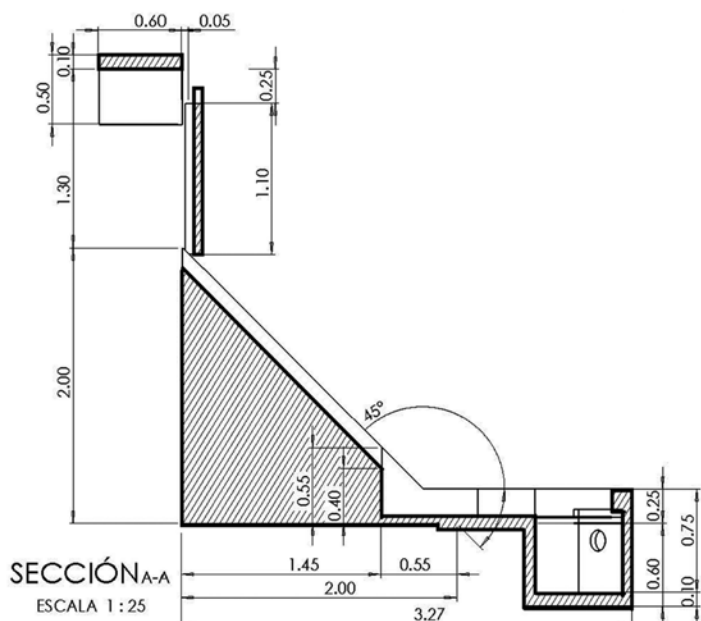
7

entender una geometría compleja, definir un elemento y obtener un análisis arquitectónico.

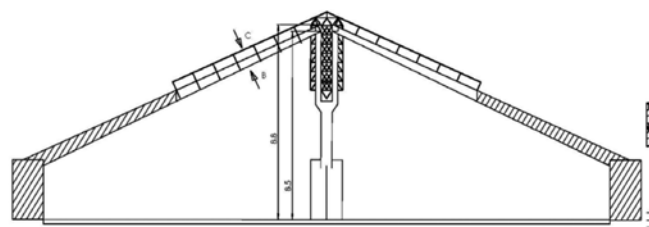
1. Modelado 3D: para este análisis se ha utilizado el programa SolidWorks, poco habitual en arquitectura. Entre las ventajas, se encuentra la generación de los hypars y la obtención rápida de la proyección ortogonal, lo que ha mejorado y ampliado la planimetría y sus detalles constructivos. Además, se ha beneficiado en tres aspectos: con un diseño ágil y eficiente para la generación de *hypars*; vinculando las dimen-

siones entre sí y su modificación durante y después del modelado; y, finalmente, en la construcción de las vistas ortogonales con la verificación de las dimensiones de los elementos. Como inconvenientes, la falta de lenguaje arquitectónico del software.

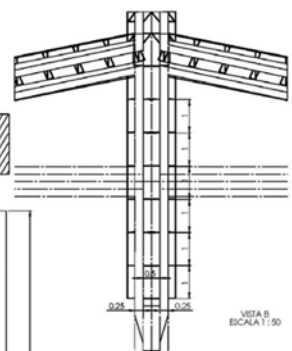
2. Análisis: modelar el edificio en detalle a partir de la planimetría existente ha permitido entender su geometría y clarificar las problemáticas surgidas durante su diseño y construcción, especialmente en la resolución de encuentros y definición de elementos. El dibujo



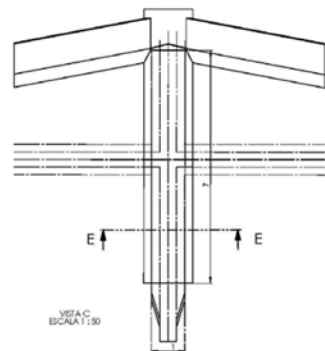
8



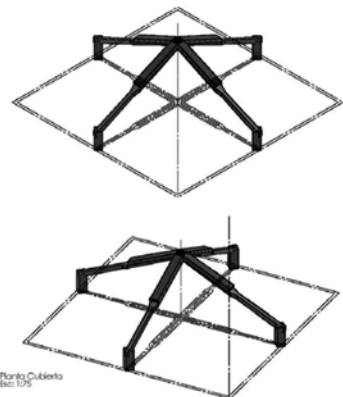
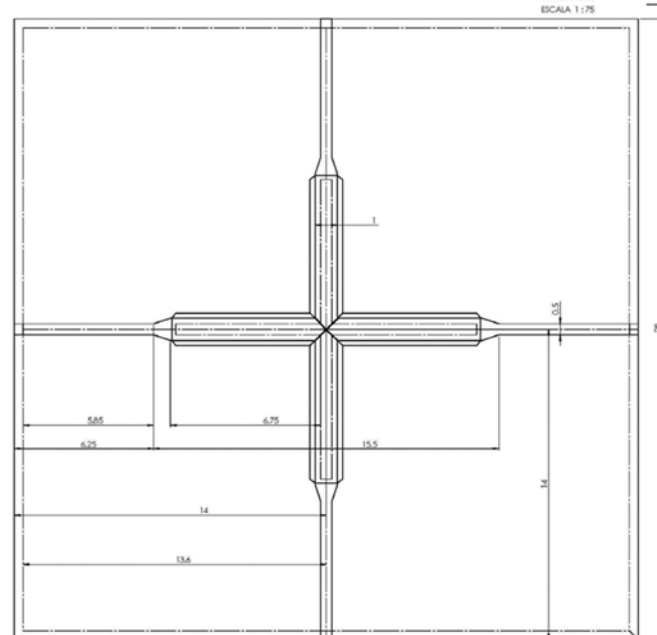
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:75



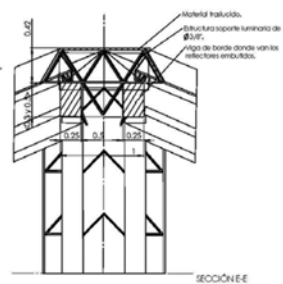
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1:50



SECCIÓN C-C  
ESCALA 1:50



Plano Cubierta  
Escala 1:75



SECCIÓN E-E  
ESCALA 1:20

9



the enclosure according to its function and geometry. The other perpendicular vertices are opaque elements, which are used for the confessional and the tabernacle. Additionally, it is known that the midpoint of each side of the square contains the columns with the rainwater drains and two entrances. The remainder of the facade exhibits a combination of both types (Fig. 7).

- Rainwater Drainage:

In Caracas, rainfall indices are high, rendering this detail of particular importance. The four columns supporting the roof contain, at their vertex, a double wall with a 45° slope, descending from 2.70m to 0.55m, to the collector located at the bottom. This collector measures 0.45 x 0.45 x 0.60m in length and connects to the water system via a pipe.

For the purposes of modelling, it is known that these elements are located outside the 28 x 28 m square plan, at the vertex of the column. In plan, the column and the collector exhibit the same shape and proportion, namely quadrilaterals rotated by 45°. The walls serve as a connection between them (Fig. 8).

- Skylight:

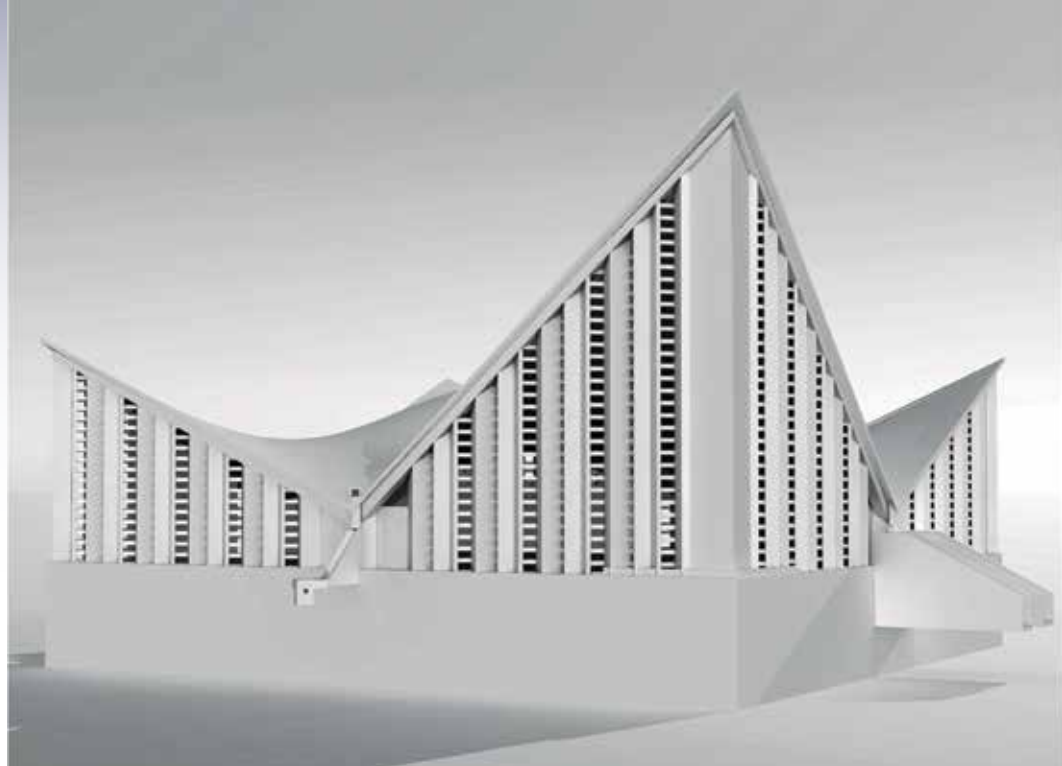
In order to gain an understanding of the skylight, it is first necessary to examine a detailed cross-section and the plan. From the section, it can be observed that the skylight is supported by the central beams and has a triangular structure that enables the translucent material to be held in place. In the plan, the lack of precision in the longitudinal dimensions makes it difficult to draw any conclusions. The scale of the drawing is not accurate.

The geometry of the skylight is determined by its location on the symmetry axes of the larger quadrilateral, which is aligned with the drainage detail. In terms of height, the skylight is supported by the central beams, with the highest point reaching 8.8m and the lowest point being 2.70m. In order to model the proposed longitudinal dimension, it is necessary to consider the relationship between all the elements of the structure. The structural plan, which is symmetrical, provides a useful reference point, as do the photographs. Based on this analysis, a length of 7m is suggested. Furthermore, the proposed location of the supports (Fig. 2 and 9).

## Conclusions

This work has demonstrated that architectural visualisation is a valuable tool for comprehending complex geometry, defining an element, and conducting architectural analysis.

1. Three-dimensional modelling: The analysis was conducted using SolidWorks software, which is less commonly employed in the field of architecture. The software's advantages include the generation of hypars and the rapid creation of orthogonal projections. These



10

de la planimetría denota la falta de experiencia constructiva del tipo de cubiertas en el país.

3. Detalles constructivos: la geometría y su análisis durante el modelado ha permitido entender cuál es el criterio de diseño, la posición y dimensión de los elementos y cómo se han resuelto los detalles constructivos. La geometría de la planta y del alzado, determinan la posición del cerramiento, del lucernario, del desagüe de aguas y de la cubierta, quien determina las alturas. ■

### Notas

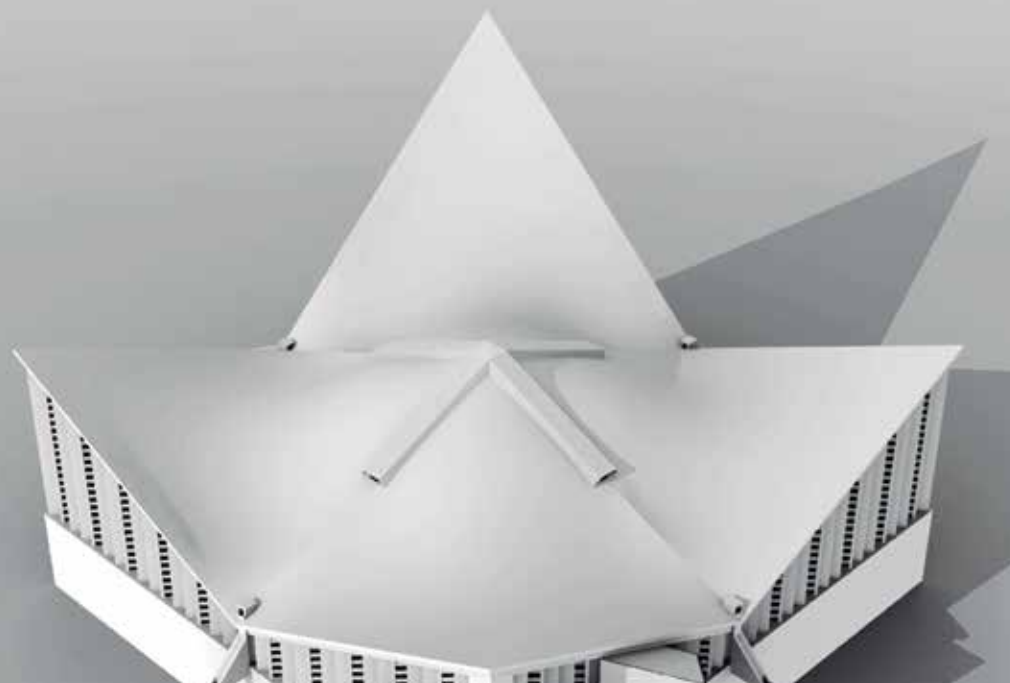
1/Hypar: paraboloides hiperbólicos.

### Referencias

- AKHARAS, I., HENNESSEY, M. y TORNOE, E. (2020) “Simulation and Visualization of Dynamic Systems in Virtual Reality Using SolidWorks, MATLAB/Simulink, and Unity”. *ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Noviembre 2020. DOI: 10.1115/IMECE2020-23485
- CUMINO, C., PAVIGNANO, M. & ZICH, U. (2023) “Analyzing today’s geometry on architectural heritage”, *ÉpiDEMES*, Volumen Id: hal-03579152, pp. 1-18.
- CUMINO, C., PAVIGNANO, M., SPREAFICO, M.L. ET AL. (2021) “Geometry to Build Models, Models to Visualize Geometry”, *Digit Exp Math Educ*, 7, pp. 149–166. DOI: 10.1007/s40751-020-00080-6
- CHING, F. & JURUSZEK, S. (2010) *Design drawing*. 2nd ed. s.l.: Wiley.
- DEUTSCHES ARCHITEKTURMUSEUM

(2017) SOS BRUTALISM. Available at: <https://sosbrutalism.org/cms/19037248> (Accessed: 4 June 2024).

- DOCOMOMO Venezuela (2021) Facebook. Available at: <https://www.facebook.com/DOCOMOMO.VE> (Accessed: 4 June 2024).
- FUNDACIÓN ARQUITECTURA Y CIUDAD (2022) Archivos Mensuales: mayo 2014. Available at: <https://fundaayc.com/2014/05/page/2/> (Accessed: 4 June 2024).
- FUNDACIÓN DE LA MEMORIA URBANA (2008) CARACAS MODERNA 1900-1977. Available at: [https://fundamemoria.blogspot.com/2008/07/municipio-baruta-parroquia-nuestra\\_4729.html](https://fundamemoria.blogspot.com/2008/07/municipio-baruta-parroquia-nuestra_4729.html) (Accessed: 4 June 2024).
- GARCÍA DÁVALOS, L. A. (2007) *Una oración plástica: la Capilla de Nuestra Señora de la Soledad del Altillo*. México: Misioneros del Espíritu Santo.
- GEOLAB (n.d.) “Paraboloides e Hiperboloides - Combinaciones por borde recto”, Web de Geometría ETSEM. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Available at: <http://www.edificacion.upm.es/geometria/JPA/Paraboloides%20combinaciones%20borde%20recto.html> (Accessed: 4 June 2024).
- GÓMEZ, H. (2013) “Fundamemoria invita un recorrido por la arquitectura religiosa capitalina”, *Revista Institucional de la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Caracas*, 9 (19 abril/mayo), pp. 4-5.
- INSTITUTO DEL PATRIMONIO CULTURAL DE VENEZUELA & FUNDACIÓN DE LA MEMORIA URBANA (2005) *Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano 2004-2005*. Caracas: IPC.
- MANTEROLA, J. (2010) “Apoyar”. En: Félix Candela. Centenario.
- MARK, E. (1999) “Reconstructing architectural geometry”, *Arq: Architectural Research Quarterly*.
- PÁEZ, Rafael. (2015) “Análisis geométrico, arquitectónico y estructural de viviendas construidas con paraboloides hiperbólicos



## 10. Renders. Elaboración propia

### 10. Renders. Own elaboration

por Eduardo Catalano en Estados Unidos, Félix Candela en México y Julio Coll Rojas en Venezuela.” XXXIII Jornadas IDEC FAU UCV. Caracas, Julio 2015.

- PÁEZ, Rafael. (2011) “Edificaciones con Paraboloides hiperbólicos. La obra de Félix Candela en México y de Álvaro Coto en Venezuela”, *Tecnología y Construcción*, I (27), pp. 55-60.
- PRESENCIA DEL EXILIO ESPAÑOL EN LA ARQUITECTURA MEXICANA (n.d.) Available at: <https://www.youtube.com/@presenciadelxilioespanole1603/videos> (Accessed: 4 June 2024).
- SÁNCHEZ MUJICA, B. (2022) PEAKD. Available at: <https://peakd.com/hive-178708/@besamu/eng-irregular-structure-of-the-holy-trinity-church-in-prados-del-este-caracas-espestructura-irregular-de-la-iglesia-lasantisima> (Accessed: 4 June 2024).
- TONDA, J. (2000) *Félix Candela*. Ciudad de México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones.
- YANG, J., TAN, F., TAN, A. y PARKE, M. (2017) “Classroom Education Using Animation and Virtual Reality of the Great Wall of China in Jinshanling”. *ASEE*, Columbus Ohio, pp. 1-17. DOI: 10.18260/1-2-28035
- YUQING, P., JING, X. y XIAOYAN, W. (2009a) “Research and Realization on Architectural 3D Model of Architectural Process Simulation System”, *IEEE*, Qingdao, China, pp. 543-547. DOI: 10.1109/WCSE.2009.728
- YUQING, P., TIEJUN, L., XIAOYAN, W. y JING, X. (2009b) “Dynamic Simulation Research and Implementation of the High-Rise Building Construction Process System”, *IEEE*, Qingdao, China, pp. 529-533. DOI: 10.1109/WCSE.2009.725

have facilitated improvements and extensions to planimetry and its constructive details.

Furthermore, three additional benefits have been observed: an agile and efficient design for generating hypars, linking dimensions together and modifying them during and after modelling, and finally, constructing orthogonal views with verification of the dimensions of the elements. One disadvantage of the software is that it lacks architectural language.

2. Analysis: The detailed modelling of the building from the existing planimetry has permitted an understanding of its geometry and the clarification of issues that arose during its design and construction, particularly in resolving intersections and defining elements. The planimetric drawing serves to illustrate the dearth of experience in the country with regard to the construction of roofs of this type.
3. Constructive Details: The geometry and its analysis during modelling have allowed an understanding of the design criteria, the location and dimensioning of the elements, and how constructive details have been resolved. The geometry of the plan and elevation determines the position of the enclosure, skylight, rainwater drainage, and roof, which in turn determine the heights. ■

## References

- AKHARAS, I., HENNESSEY, M. & TORNOE, E. (2020) “Simulation and Visualization of Dynamic Systems in Virtual Reality Using SolidWorks, MATLAB/Simulink, and Unity”. *ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, November 2020. DOI: 10.1115/IMECE2020-23485
- CUMINO, C., PAVIGNANO, M. & ZICH, U. (2023) “Analyzing today's geometry on architectural heritage”, *ÉpiDEMES*, Volume Id: hal-03579152, pp. 1-18.
- CUMINO, C., PAVIGNANO, M., SPREAFICO, M.L. ET AL.

(2021) “Geometry to Build Models, Models to Visualize Geometry”, *Digit Exp Math Educ*, 7, pp. 149-166. DOI: 10.1007/s40751-020-00080-6

- CHING, F. & JUROSZEK, S. (2010) *Design drawing*. 2nd ed. s.l.: Wiley.
- DEUTSCHES ARCHITEKTURMUSEUM (2017) SOS BRUTALISM. Available at: <https://sosbrutalism.org/cms/19037248> (Accessed: 4 June 2024).
- DOCOMOMO Venezuela (2021) Facebook. Available at: <https://www.facebook.com/DOCOMOMO.VE> (Accessed: 4 June 2024).
- FUNDACIÓN ARQUITECTURA Y CIUDAD (2022) Monthly Archives: May 2014. Available at: <https://fundaayc.com/2014/05/page/2/> (Accessed: 4 June 2024).
- FUNDACIÓN DE LA MEMORIA URBANA (2008) MODERN CARACAS 1900-1977. Available at: [https://fundamemoria.blogspot.com/2008/07/municipio-baruta-parroquia-nuestra\\_4729.html](https://fundamemoria.blogspot.com/2008/07/municipio-baruta-parroquia-nuestra_4729.html) (Accessed: 4 June 2024).
- GARCÍA DÁVALOS, L. A. (2007) *A plastic prayer: the Chapel of Our Lady of Soledad del Altilló*. Mexico: Missionaries of the Holy Spirit.
- GEOLAB (n.d.) “Paraboloids and Hyperboloids-Combinations by straight edge”, ETSEM Geometry Website. Higher Technical School of Building. Polytechnic University of Madrid. Available at: <http://www.edificacion.upm.es/geometria/JPA/Paraboloide%20combinaciones%20borde%20recto.html> (Accessed: 4 June 2024).
- GÓMEZ, H. (2013) “Fundamemoria invites you to take a tour of the capital's religious architecture”, *Institutional Magazine of the Chamber of Commerce, Industry and Services of Caracas*, 9 (19 April/May), pp. 4-5.
- INSTITUTO DEL PATRIMONIO CULTURAL DE VENEZUELA & FUNDACIÓN DE LA MEMORIA URBANA (2005) *Catalogue of Venezuelan Cultural Heritage 2004-2005*. Caracas: IPC.
- MANTEROLA, J. (2010) “Support”. In: Félix Candela. Centenary.
- MARK, E. (1999) “Reconstructing architectural geometry”, *Arg: Architectural Research Quarterly*.
- PÁEZ, Rafael. (2015) “Geometric, architectural and structural analysis of houses built with hyperbolic paraboloids by Eduardo Catalano in the United States, Félix Candela in Mexico and Julio Coll Rojas in Venezuela.” XXXIII IDEC FAU UCV Conferences. Caracas, July 2015.
- PÁEZ, Rafael. (2011) “Buildings with hyperbolic paraboloids. The work of Félix Candela in Mexico and Álvaro Coto in Venezuela”, *Technology and Construction*, I (27), pp. 55-60.
- PRESENCE OF SPANISH EXILE IN MEXICAN ARCHITECTURE (n.d.) Available at: <https://www.youtube.com/@presenciadelxilioespanole1603/videos> (Accessed: 4 June 2024).
- SÁNCHEZ MUJICA, B. (2022) PEAKD. Available at: <https://peakd.com/hive-178708/@besamu/eng-irregular-structure-of-the-holy-trinity-church-in-prados-del-este-caracas-espestructura-irregular-de-la-iglesia-lasantisima> (Accessed: 4 June 2024).
- TONDA, J. (2000) *Félix Candela*. Mexico City: National Council for Culture and the Arts, General Directorate of Publications.
- YANG, J., TAN, F., TAN, A. & PARKE, M. (2017) “Classroom Education Using Animation and Virtual Reality of the Great Wall of China in Jinshanling”. *ASEE*, Columbus Ohio, pp. 1-17. DOI: 10.18260/1-2-28035
- YUQING, P., JING, X. & XIAOYAN, W. (2009a) “Research and Realization on Architectural 3D Model of Architectural Process Simulation System”, *IEEE*, Qingdao, China, pp. 543-547. DOI: 10.1109/WCSE.2009.728
- YUQING, P., TIEJUN, L., XIAOYAN, W. & JING, X. (2009b) “Dynamic Simulation Research and Implementation of the High-Rise Building Construction Process System”, *IEEE*, Qingdao, China, pp. 529-533. DOI: 10.1109/WCSE.2009.725