

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA MÉTRICA ESPACIAL: ESTUDIO DE LAS SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

Francisco Javier Sanchis Sampedro

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València

AUTOR DE CONTACTO: Francisco Javier Sanchis Sampedro, frasans2@ega.upv.es

RESUMEN: *El estudio de la arquitectura patrimonial tradicionalmente se ha llevado a cabo de forma bidimensional. El análisis de los trazados reguladores en planta, alzado o sección y la búsqueda de módulos que ordenaran el diseño de los edificios ha centrado el trabajo de los investigadores. Estos métodos son válidos para este tipo de edificaciones, pero cuando nos adentramos en el estudio de la arquitectura reciente, son insuficientes.*

El presente artículo comienza con una breve introducción a la importancia del uso de la geometría en la historia de la arquitectura, y como esta es la base del diseño de los edificios que conforman nuestro patrimonio arquitectónico, para seguidamente pasar a describir la metodología diseñada en la investigación de arquitectura patrimonial reciente, donde se emplean tanto métodos tradicionales basados en la Geometría Descriptiva, como las herramientas informáticas más actuales.

PALABRAS CLAVE: geometría métrica espacial, superficies arquitectónicas singulares, arquitectura reciente, metodología de análisis

BELLEZA Y EFICACIA DE LAS FORMAS GEOMÉTRICAS

La Geometría es una herramienta fundamental de diseño y análisis de la Arquitectura. No es casual que en todos los planes de estudio de las escuelas de Arquitectura e Ingeniería aparezca como una materia de estudio obligatoria, abarcando una parte importante de los créditos de los primeros cursos.

Ya en el tratado más antiguo que se conserva sobre Arquitectura, “De Architectura”, Marco Vitruvio afirma que “la Arquitectura descansa en tres principios fundamentales: la Belleza (Venustas), la Firmeza (Firmitas) y la Utilidad (Utilitas)”. La Arquitectura se puede definir, entonces, como un equilibrio entre estos tres elementos, sin sobrepasar ninguno a los otros.

El uso de la geometría, como respuesta racional a los postulados estéticos de cada una de las épocas, al fenómeno físico estructural y a la funcionalidad requerida por el edificio, se ha constituido a lo largo de los años como un gran aliado en la fase de diseño, solucionando problemas posteriores durante la ejecución y la vida útil del edificio. Tal y como afirmaba Le Corbusier “la Geometría solucionará los problemas de la Arquitectura”.

Por tanto, la forma de un edificio no puede ser arbitraria ni superflua. La forma es el resultado de un estudio de las necesidades, de las propiedades del material, de los requisitos resistentes del edificio... y de la geometría más adecuada para satisfacer todos estos aspectos. La forma entendida desde este punto de vista, otorga belleza, y a su vez, esta belleza da estabilidad a la obra arquitectónica.

Así mismo, Ludovico Quaroni indica en su libro “proyectar un edificio: ocho lecciones de arquitectura” que “la geometría es pues el instrumento con el que delimitamos, cortamos, precisamos y formamos el espacio, que (...) es el material base de la arquitectura”.

¿Cómo se ha venido empleando la geometría a lo largo de la historia de la arquitectura?

En referencia a la utilización de la geometría en los proyectos arquitectónicos, nos podremos encontrar en tres casos bien diferenciados:

- En ocasiones la técnica constructiva o la estructura estarán sometidas a la forma geométrica buscada. Podríamos afirmar que “la geometría condicionó la idea”.
- En otras ocasiones sucederá al revés, las geometrías utilizadas serán consecuencia del análisis de un determinado sistema estructural o constructivo, por lo que la geometría se someterá a la estructura. En este caso “la geometría representó la idea”.
- Por último, en un tercer caso, la geometría e idea serán aspectos compatibles y se apoyarán la una en la otra. “La geometría liberó a la idea”. (Vallejo, Fadón y Cerón, 2007)

Tres claros ejemplos de lo anteriormente expuesto los tenemos en los edificios que aparecen en la imagen a continuación: La cúpula del Panteón de Agripa en Roma, donde la geometría domina tanto la forma como el diseño interior de la misma, ordenando los casetones y liberando la parte superior mediante un óculo; La ópera de Sidney, donde la geometría tuvo que adaptarse a la idea para hacer posible la construcción del diseño original de Jörn Utzon; La Sagrada Familia de Gaudí donde el arquitecto une idea y geometría para dar lugar a uno de los edificios más singulares de la historia de la arquitectura.

Para trabajar la forma se puede utilizar dos tipos de geometrías, la geometría orgánica o la geometría definida:

“Geometría orgánica – Aquella que no tiene base matemática. Habitualmente provienen de formas de la naturaleza. Se pueden crear dibujando o modelando

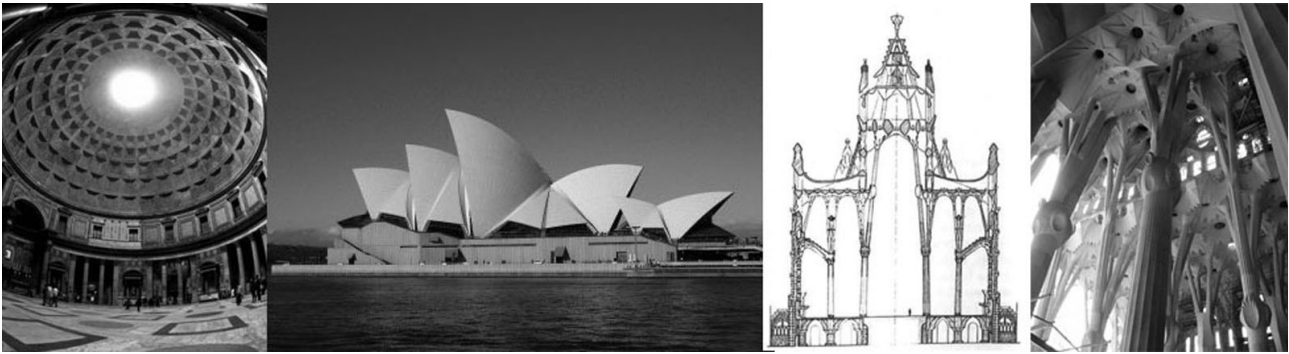


Figura 1. La cúpula del Panteón de Agripa en Roma, la ópera de Sidney y la Sagrada Familia

Geometría definida – Aquella cuya forma se puede expresar matemáticamente. Serían geometrías definidas los cuadrados, círculos, elipses, parábolas, cilindros, esferas, paraboloides...” (Millais, 1997)

La primera consistiría en diseñar los edificios como si de una escultura se tratase, modelando la forma de manera irregular y según las sensaciones del diseñador. Las formas que se consiguen de esta manera son formas indefinidas, difíciles de representar, de modelizar... en definitiva, de trabajar con ellas fuera del ámbito de la propia “escultura” o los programas informáticos específicos. Sin embargo, la “geometría definida” responde a formas controlables, representables de manera, no digamos que sencilla, pero si al alcance de cualquier técnico. Además, al utilizar este tipo de geometría, se pueden prever problemas futuros de las construcciones y solucionarlos ya en la etapa de diseño. Y me refiero fundamentalmente al problema estructural. Un estudio previo de las diferentes geometrías definidas que se pueden conseguir con un material, nos da una idea del comportamiento estructural que va a tener sea cual sea la escala de la construcción.

¿Cómo nos puede ayudar el conocimiento de la geometría utilizada en una época en la intervención sobre el patrimonio arquitectónico?

Hoy en día, y más que nunca, la geometría se convierte en herramienta imprescindible para la rehabilitación de edificios históricos, y el diseño y mantenimiento de edificios recientes. Toda intervención sobre un edificio con valor patrimonial requiere realizar inicialmente un profundo estudio previo, un análisis en el cual, la geometría es la clave para entender el resto de parámetros de la construcción y la estructura. Establecer un criterio geométrico simple que introduzca un orden racional en el todo, aparentemente desordenado.

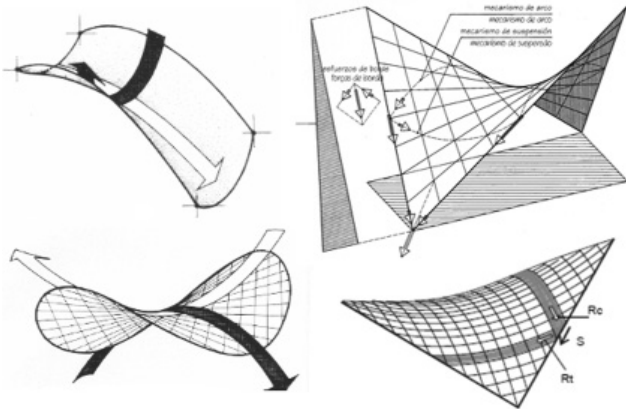


Figura 2. Diferentes estudios del comportamiento estructural del paraboloides hiperbólico (Colin Faber, Heino Engel y Sergio Vinat)

El profesor Mario Docci defiende lo que él denomina “metodología estructuralista” y que en sus propias palabras, “consiste en examinar un determinado suceso, descomponerlo en sus partes constituyentes para clasificarlas y volver a componerlo para poder comprender las relaciones que unen las partes entre sí y cada una de ellas con el todo”. En todas estas acciones que forman parte de la metodología propuesta, la geometría es la herramienta fundamental del análisis.

El concepto geometría es muy amplio. Por un lado nos encontramos con la parte instrumental de la geometría, la denominada “Geometría Descriptiva”, y que tiene por objetivo el estudio de los diferentes Sistemas de Representación; Otra parte de la geometría que podemos aplicar al análisis de la arquitectura es la “Geometría Métrica Plana”, que se encarga de estudiar las relaciones en planta y alzado de las diferentes partes del edificio intentando deducir los trazados reguladores que generaron la arquitectura estudiada; y en siguiente lugar tendríamos la “Geometría Métrica Espacial” que se centraría en el estudio de las superficies geométricas que se generan al aplicar los trazados anteriormente mencionados.

El campo del presente estudio se centra en este último aspecto de la geometría que se corresponde con línea de investigación que comparto con el profesor Rafael Ligorit, en la que estamos desarrollando una metodología de trabajo para el análisis tridimensional de los edificios tanto de arquitectura histórica patrimonial como de arquitectura contemporánea. En ella empleamos tanto los métodos gráficos tradicionales como las herramientas informáticas actuales, las cuales nos ayudan a establecer una clasificación y parametrización de las superficies geométricas singulares que nos encontramos. Esta geometría nos ayuda a entender el comportamiento estructural y el detalle constructivo, dos aspectos fundamentales en la intervención en edificios patrimoniales.

¿En qué consiste la metodología?

Una parte fundamental de nuestra investigación se centra en la arquitectura reciente diseñada a partir de geometría definida. Tal y como hemos comentado anteriormente, el estudio de este tipo de edificios no se puede abordar a la manera de la arquitectura tradicional o la arquitectura racionalista. Las formas complejas que componen este tipo de construcciones requieren de un estudio geométrico tridimensional.

Sucede lo mismo que al abordar el estudio las bóvedas góticas, como podemos observar en la tesis doctoral de Juan Carlos Navarro. En un primer momento hay que analizar y descubrir los trazados geométricos planos a partir de alzados, plantas y secciones, que en el caso de las bóvedas de crucería se podrían materializar en las plantillas de los canteros, para posteriormente pasar a dar espacialidad a estos. De esta forma se puede tener un conocimiento completo de las superficies que dan forma a la bóveda, o como es mi caso, al edificio.

A diferencia de lo que sucede en el estudio de arquitectura antigua, donde la toma de datos cobra un papel fundamental en el estudio ya

que no se posee información gráfica sobre los edificios, en el caso de nuestra investigación el problema es diametralmente el opuesto. Por lo general existe un exceso de información. Archivos de dibujo por ordenador, imágenes, artículos, comunicaciones a congresos... Todo un despliegue de información acorde con la sociedad de la información en la que vivimos. Pero este aspecto, en contra de lo que se puede pensar, no es necesariamente una ventaja. Durante el trabajo hemos podido constatar que las representaciones que hemos manejado no siempre han sido correctas, incluso en ocasiones, muy alejadas de la realidad construida.

Por este motivo es por el que, a pesar de la actualidad de los edificios y el exceso de información del que se dispone, previo al análisis de las formas que allí aparecen, nos vemos obligados a realizar un esfuerzo de selección, simplificación y comprobación de la información obtenida. La metodología que hemos venido empleando en nuestras investigaciones y con los alumnos del taller de Proyecto Final de Grado es la que vamos a enumerar a continuación. Intentaremos ilustrarlo con un ejemplo de manera que se aprecie de manera práctica el proceso seguido.

1. Búsqueda de información:

Parece evidente que si se quiere investigar patrimonio reciente, cuyo arquitecto no ha fallecido, toda la información previa a la investigación debería de provenir del mismo. Además de evidente, sería lo deseable. La realidad es otra muy diferente. A lo largo de los años que venimos desarrollando el taller en el que estudiamos los diferentes edificios de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias, hemos intentado contactar con los despachos profesionales que han realizado los proyectos de los

diferentes edificios, y no hemos conseguido que nos facilitaran información acerca de los mismos.

En contraposición a este hecho, y gracias también al carácter reciente de los edificios, se ha podido contactar con empresas constructoras, suministradoras, de management, ingenierías... que de manera parcial han ido aportando diferente tipo de documentación muy útil para el desarrollo posterior de las investigaciones. Ésta información es si cabe más valiosa que la del propio arquitecto, ya que habla de la materialización del edificio, que como todos sabemos no siempre responde de manera fiel al proyecto realizado por este.

El inconveniente de conseguir así la documentación es que está dispersa y distribuida de manera parcial, además de ser en ocasiones excesiva para el alcance que pretende la investigación.

En la imagen que se aporta puede observarse el alto nivel de información que contiene unos de los planos que nos facilitaron los ingenieros que diseñaron la cubierta del restaurante del Parc Oceanográfico, Carlos Lázaro y Alberto Domingo.

2. Estudio y selección de la información obtenida:

Una vez obtenida la información acerca de uno de los edificios hay que realizar un trabajo de estudio y selección de la documentación necesaria para realizar las posteriores investigaciones. En este proceso, en ocasiones bastante complejo por la gran cantidad de información y la disgregación de la misma, es importante marcar los objetivos de estudio

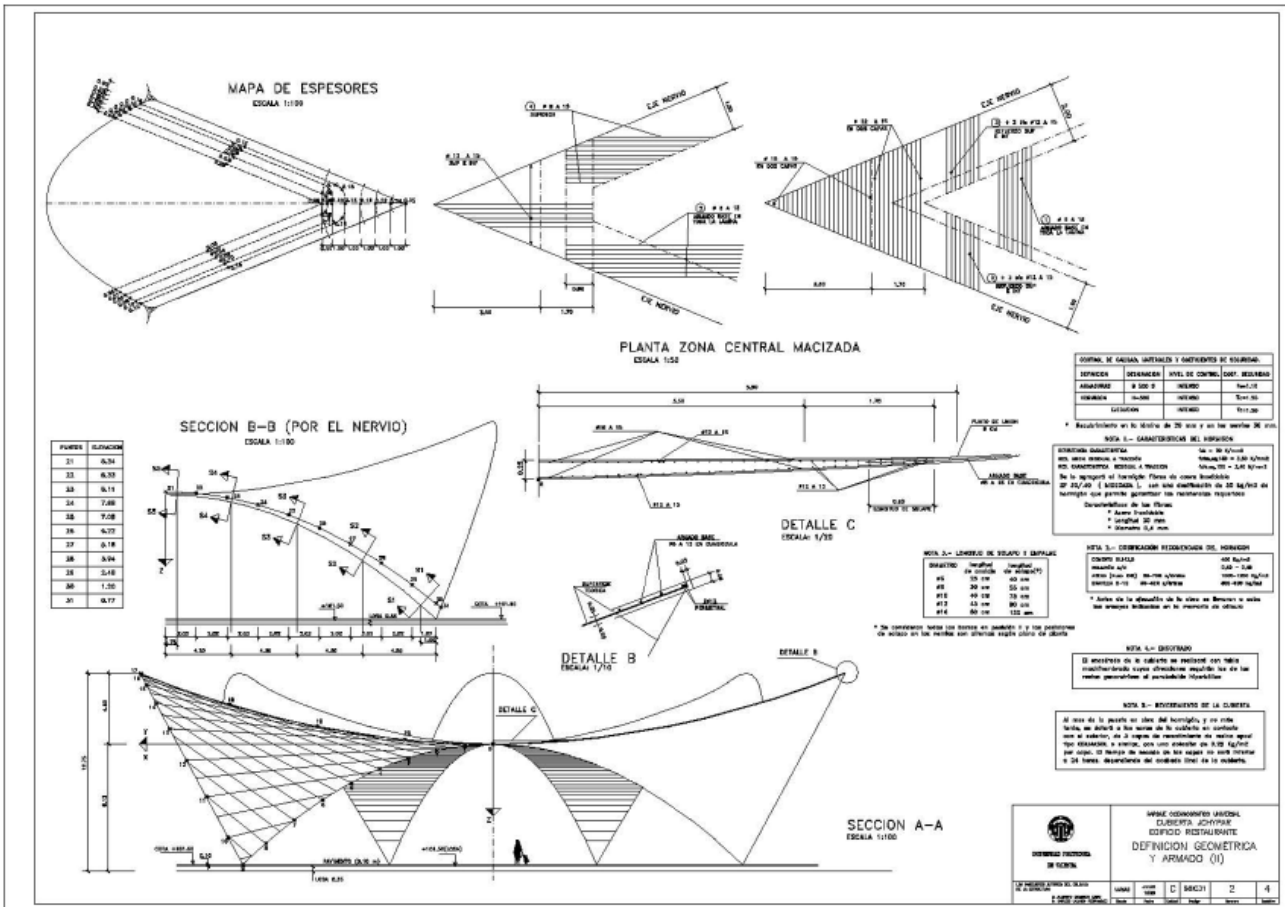


Figura 3. Plano del proyecto de ejecución de la cubierta del restaurante

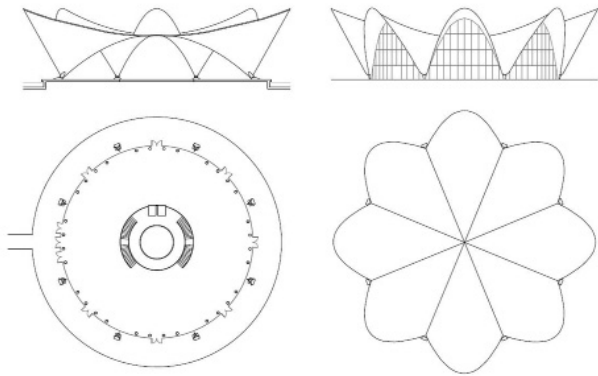


Figura 4. Información seleccionada para el estudio de la cubierta del restaurante.

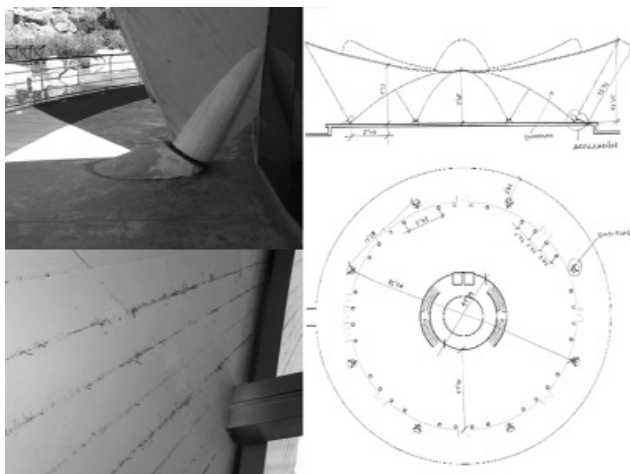


Figura 5. Comprobación dimensional del edificio del restaurante

y la información que se va a necesitar posteriormente para la investigación. Siempre se puede volver para recuperar información descartada en este proceso, pero resulta más laborioso hacerlo a posteriori.

A continuación se puede observar la información seleccionada para el estudio de la cubierta del restaurante.

3. Toma de datos, apuntes y fotos in situ:

Una vez ya se ha seleccionado la información, la siguiente fase metodológica consiste en acudir al edificio para comprobarla, y en su caso tomar los datos necesarios y que no estén reflejados

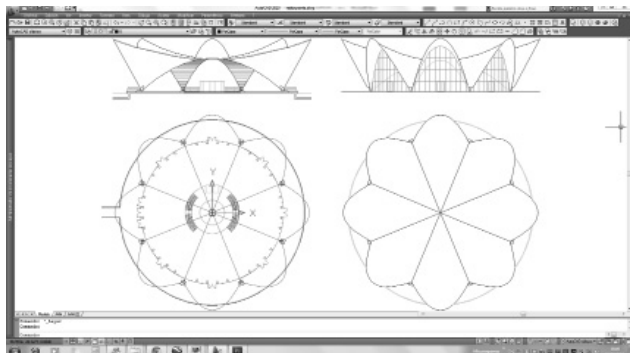


Figura 6. Resultado final de estas fases de documentación y toma de datos de la cubierta del edificio del restaurante

en la misma. La comprobación que se suele realizar es fundamentalmente dimensional, de manera que se comprueban aquellas magnitudes generales y también aquellas que generen dudas acerca de su representación. Si se detecta alguna carencia con respecto de la información obtenida, se realiza una toma de datos sobre la misma para luego incorporarla al estudio.

La toma de fotografías también es una actividad importante para documentar el edificio. Además de las fotos generales, suelen buscarse fotos cuyos encuadres ayuden a entender detalles concretos o incluso empiecen a desvelar geometrías que más adelante se analizarán.

En la mayoría de ocasiones se descarta el levantamiento fotogramétrico debido a la singularidad en la forma de los edificios, que dificultan el trabajo. Sin embargo, la utilización del escáner 3d podría ser una alternativa a la comprobación de los datos de manera tradicional. El profesor Pablo Navarro lleva años desarrollando una línea de investigación que podría completar esta fase de manera mucho más completa.

También puede realizarse una toma de datos del entorno, ya que en ocasiones la información obtenida está descontextualizada y puede resultar de interés estudiar el edificio en relación con el emplazamiento.

Si durante todas estas comprobaciones se percibe algún tipo de patología que pudiera resultar interesante para el estudio estructural o constructivo posterior, se documenta mediante apuntes y fotografías. Estas manifestaciones patológicas pueden desvelarnos un mal comportamiento estructural, un inapropiado proceso constructivo, un despiece de materiales...

Como se puede apreciar en la imagen, se realizó una comprobación dimensional del edificio del restaurante y se realizaron una serie de fotografías que posteriormente ayudaron a documentar las investigaciones que se realizaron sobre el mismo.

4. Simplificación y preparación final de los datos del estudio:

Una vez ya se ha seleccionado la información, se han realizado las comprobaciones in situ y se han añadido aquellos datos y fotografías de interés, se prepara la documentación para la siguiente fase donde comienza el análisis del edificio.

Los datos se preparan en un único archivo de cad que contenga toda la información necesaria y relacionada siguiendo los criterios de la Geometría Descriptiva, de manera que las diferentes vistas del edificio o del elemento constructivo a estudiar se relacionen y haya correspondencia de vistas. La representación se realiza lo más simplificada posible para que resulte sencillo su estudio posterior.

Así mismo, todas las anotaciones, imágenes y datos recopilados se almacenan convenientemente seleccionados y organizados.

En la captura de pantalla se puede ver el resultado final de estas fases de documentación y toma de datos de la cubierta del edificio del restaurante.

5. Búsqueda de los trazados reguladores:

Teniendo la información seleccionada, comprobada y representada de manera simplificada, el siguiente paso es analizar los trazados reguladores de diseño. Esta es una labor compleja y analítica. En ocasiones estos trazados se pueden ver con facilidad, pero en la mayoría de las superficies complejas no son directos y requieren de diferentes operaciones basadas en los métodos de la Geometría Descriptiva para su estudio. Cambios de plano, giros, abatimientos... cualquiera de los

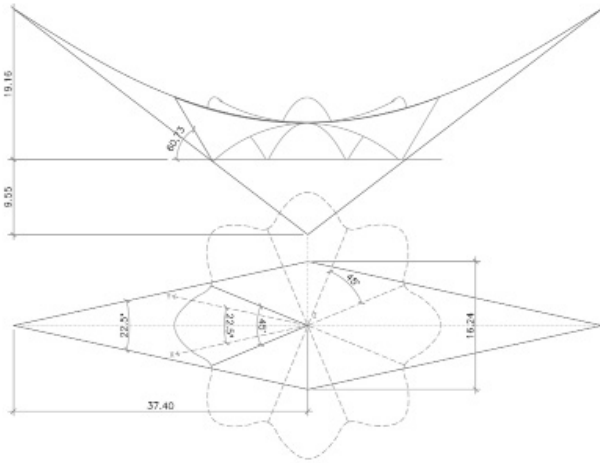


Figura 7. Trazados reguladores de la cubierta del restaurante

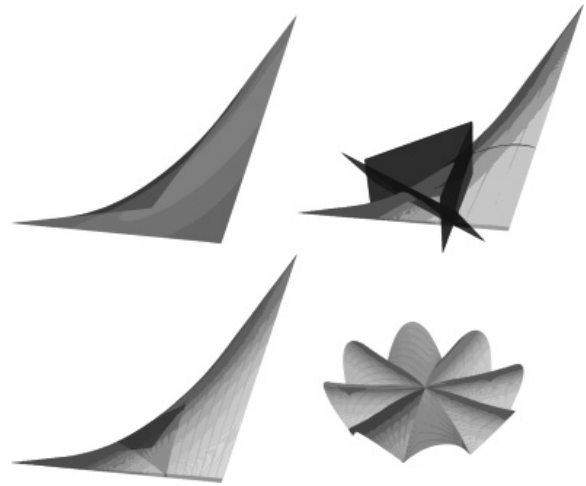


Figura 8. Proceso de modelización seguido en la cubierta del restaurante

métodos de trabajo que en su día estudiamos en primer curso de arquitectura son nuestros aliados en el proceso de análisis.

En un primer momento hay que buscar trazados en los alzados, plantas y secciones que obtenemos a partir de los planos del edificio. En estas vistas podemos encontrar rectas, circunferencias, elipses, polígonos regulares... Estos trazados son las directrices y/o generatrices de las superficies que van generando la forma del edificio. Una vez encontradas estas geometrías básicas hay que relacionarlas entre sí. Las de la planta con las del alzado, las de una sección con las del otro alzado... De esta comparación en ocasiones podemos obtener la geometría generadora. En otras ocasiones es necesario realizar algún cambio de plano para obtener otra proyección del edificio, o un abatimiento, para obtener una verdadera magnitud...

Los trazados reguladores de la cubierta del restaurante son bastante complejos y debido a que la superficie, tal y como veremos más adelante, no se encuentra "completa" en el edificio, sino que está cortada por unos planos que la desvirtúan.

6. Modelización esquemática y didáctica:

Posteriormente a la consecución de los trazados reguladores y su posición en el edificio, se procede a generar los modelos tridimensionales esquemáticos que servirán de base para los posteriores estudios.

Esta modelización, no pretende ser una representación fotorealística, sino que su objetivo es generar una superficies en tres dimensiones que puedan ser objeto de estudio desde muy diversos puntos de vista: estructural, constructivo, formal...

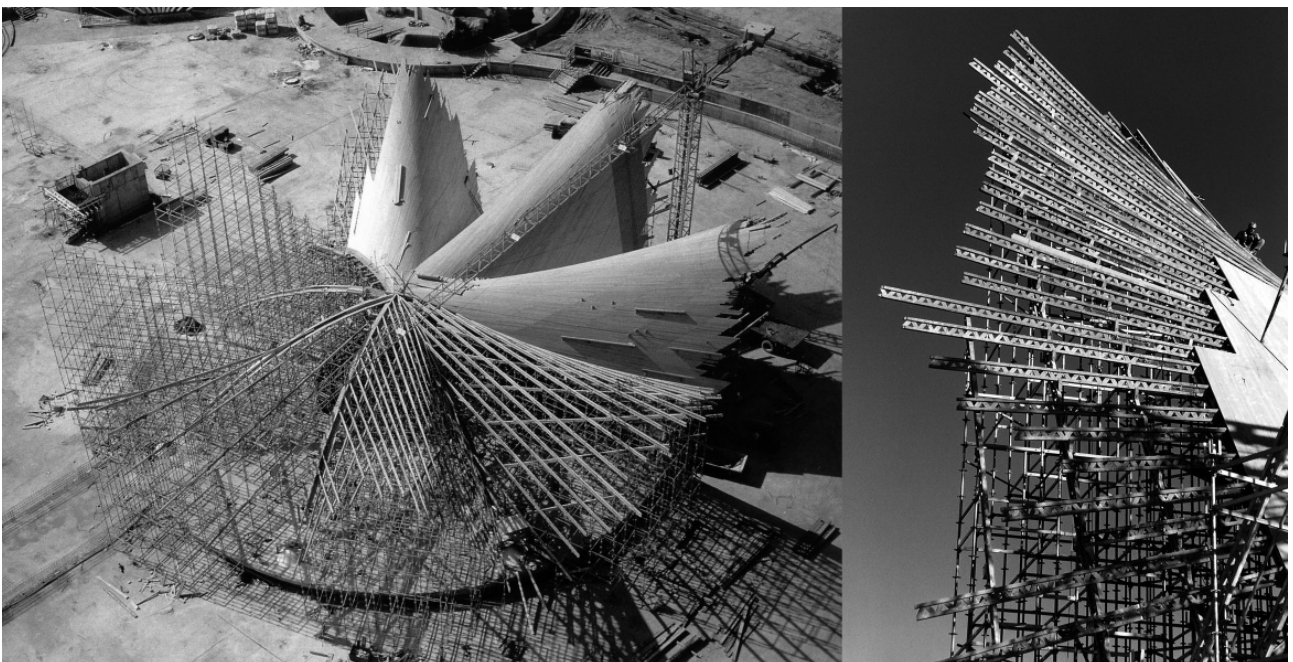


Figura 9. En las imágenes puede apreciarse el uso de la geometría de las superficies durante la ejecución de la cubierta

Para generar estos modelos, se utilizan diferentes programas informáticos dependiendo del tipo de superficie y de las necesidades de representación. Los más empleados son el Autocad 3d, Rhinoceros y 3dStudio.

Además de este objetivo, dada nuestra condición de profesores de Geometría Descriptiva, siempre procuramos que el proceso de modelización que realizamos de las superficies sea lo más didáctico posible. Probablemente motivado por la falta de motivación de nuestros estudiantes hacia la asignatura, desde hace ya años utilizamos el contenido de nuestra investigación para que vean una aplicación sobre edificios reales y lo más cercanos posibles.

Como se puede apreciar en la imagen, el proceso de modelización seguido en la cubierta del restaurante pretende ser muy didáctico y explicativo.

7. Trabajo de análisis con los modelos:

Una vez obtenidos los modelos, el análisis que se puede realizar con ellos es muy diverso. Desde un análisis puramente geométrico donde se puede estudiar la generación de la superficie, sus características geométricas, hasta como estas influyen en su construcción o comportamiento estructural. Pueden obtenerse secciones que nos hablen de la distribución de esfuerzos en la superficie. Pueden introducirse en programas de cálculo para ver las deformaciones que tendrían frente a diferentes hipótesis de carga. Pueden estudiarse diferentes despieces de los materiales...

En las imágenes puede apreciarse el uso de la geometría de las superficies durante la ejecución de la cubierta, materializado en el diseño del encofrado cuyos largueros y listones de madera siguen la dirección de las generatrices rectas del paraboloides hiperbólico.

En definitiva, llegados a este punto, ponemos al servicio de aquella línea de investigación que quiera trabajar sobre cualquier aspecto relacionado con la superficie analizada, un modelo que le permite afrontar el estudio de la manera más sencilla y efectiva posible.

Sirva como ejemplo el estudio realizado sobre la cubierta del restaurante del oceanográfico, donde además del estudio geométrico de generación y posterior modelización de la cubierta, se realizó un estudio del proceso constructivo y del comportamiento estructural.

Para concluir, simplemente recalcar que la arquitectura reciente requiere de un paso más en su análisis que la arquitectura tradicional. La geometría métrica plana ha de dejar paso a la espacial para el total entendimiento de las superficies singulares que en esta se dan. El uso de los programas informáticos de modelización tridimensional son imprescindibles para poder llegar al modelo, pero también los métodos de la Geometría Descriptiva más tradicional se vuelven imprescindibles para la obtención de los trazados planos que será la base del posterior modelado.

BIBLIOGRAFÍA

García Valldecabres, J. (2010): *La métrica y las trazas en la Iglesia de San Juan del Hospital de Valencia*, Tesis doctoral, Valencia.

Soler Sanz, F. (2008): *Trazados reguladores octogonales en la arquitectura clásica*. Valencia, General de ediciones de arquitectura.

Millais, M. (1997): *Estructuras de edificación*, Celeste ediciones, Madrid.

Engel, H. (1997): *Sistemas de estructuras*, Gustavo Gili, Barcelona.

Montes Serrano, C. (1992): *Representación y análisis formal: lecciones de análisis de formas*, Universidad de Valladolid, Valladolid.

Navarro Fajardo, J. C. (2004): *Bóvedas valencianas de crucería de los siglos XIV al XVI. Taza y monte*, Tesis doctoral, Valencia.

Salvadori, M. y Heller, R. (1986): *Estructuras para arquitectos*, New Jersey, Nobuko.

Torroja Miret, E. (1957): *Razón y ser de los tipos estructurales*, CSIC, Madrid.

Vallejo Lobete, E., Fadón Salazar, F. y Cerón Hoyos, J. E. (2007): "La geometría, soporte de la idea en el proceso de diseño", Artículo para el congreso *Graphica*, Brasil.

DATOS DEL AUTOR

Francisco Javier Sanchis Sampedro (1978). Arquitecto y Máster en Gestión de la Edificación. Actualmente desarrollando la tesis doctoral.

Profesor asociado al departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la UPV. Profesor asociado en la UEM - Centro adscrito a Valencia.

Imparte en la ETSIE el taller Científico-Técnico de PFG "Superficies arquitectónicas singulares".

Publicó el libro "La geometría de las superficies arquitectónicas".