

# Ojos matemáticos miran la ciudad de Valencia

*RESUMEN. A la hora de diseñar una obra arquitectónica resulta evidente que la forma y la estructura de ésta son puntos importantes a tener en cuenta. En este sentido, entendemos que las Matemáticas son una parte fundamental de la Arquitectura. Por una parte, nos sirven como herramienta de cálculo para determinar la estructura, estabilidad, resistencia de los materiales, condiciones de acústica, temperatura, luminosidad, etc. y por otra, nos sirven como fuente de inspiración aportando a la arquitectura moderna la geometría de curvas y superficies. En este trabajo se ha realizado un recorrido por diferentes espacios arquitectónicos de la ciudad de Valencia estudiando las superficies cuádricas presentes en éstos. En primer lugar, partiendo de los conocimientos teóricos de las cuádricas, se ha procedido a una identificación, clasificación y análisis de éstas en diferentes edificios y elementos constructivos. Se han elaborado mediante diferentes herramientas informáticas, como el Dpgraph o Autocad, aproximaciones gráficas de las superficies y los edificios. Por último se ha puntualizado sobre el interés de la utilización de superficies cuádricas en la concepción, diseño y construcción en arquitectura.*

*PALABRAS CLAVE: superficies cuádricas, arquitectura, Valencia.*

*ABSTRACT. The shape and the structure are two of the main points in the design of an architectural work. In this sense, we think that Mathematics are an important part of the Architecture. Maths are used as a computation tool in order to determine the structure, the stability, the materials resistance, the acoustic conditions, the temperatures profiles, etc. Moreover, this basic science can be used as an inspiration source in modern architecture involving the geometry of curves and surfaces. In this work we present an analysis of some quadric surfaces located at different points of the Valencia city. Firstly, we identified, classified and analyzed these surfaces included in the design of buildings or constructive elements. At this point we based on the theoretical knowledge of quadric surfaces. Secondly, we made graphic approximations using suitable software as Dpgraph or Autocad. And finally, we remarked the importance of using quadric surfaces in the design and construction in architecture.*

*KEYWORDS: quadric surfaces, architecture, Valencia.*

### **M. Carmen Gómez Collado**

Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada IUMPA, Universidad  
Politécnica de Valencia  
Edificio IDI5 (8E), Cubo F, Cuarta Planta, Universidad Politécnica de  
Valencia, 46022 Valencia, mcgomez@mat.upv.es  
963877000, ext. 86621

### **Francisco Sanz Torró**

ETS de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia

### **Macarena Trujillo Guillén**

Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada IUMPA, Universidad  
Politécnica de Valencia  
Edificio IDI5 (8E), Cubo F, Cuarta Planta, Universidad Politécnica de  
Valencia, 46022 Valencia, matrugui@mat.upv.es  
963877000, ext. 76621

### **María Teresa Vicente Alujer**

ETS de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia

## **Biografía**

**M. Carmen Gómez Collado** es doctora en Ciencias Matemáticas por la Universidad de Valencia. Es profesora titular de escuela universitaria del departamento de Matemática Aplicada con adscripción en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Desarrolla su investigación en el campo del Análisis Funcional y es miembro del Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada IUMPA de la UPV.

**Francisco J. Sanz Torró** es Arquitecto Técnico por la EUATV en el 2000, ha trabajado como profesional liberal, destacando trabajos de dirección de obra, proyectos de obra menor y estudios de cumplimiento de Normativa Contra Incendios en edificación singular. Desde el 2006 estudia Arquitectura en la ETSA de Valencia, habiendo realizado diversas comunicaciones y artículos en referencia al uso de cuádricas en la Arquitectura.

**Macarena Trujillo Guillén** es doctora por la Universidad Politécnica de Valencia. Es profesor contratado doctor del departamento de Matemática Aplicada con adscripción en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Desarrolla su investigación en los campos de la Ingeniería Biomédica, Sistemas Dinámicos e Hiperperiodicidad, y es miembro del Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada IUMPA de la UPV.

**M. Teresa Vicente Alujer.** Desde el 2006 estudia Arquitectura en la ETSA de Valencia, habiendo realizado diversas comunicaciones y artículos en referencia al uso de cuádricas en la Arquitectura.

# Ojos matemáticos miran la ciudad de Valencia

## Introducción

Para centrar la presentación del trabajo dentro del ámbito de la investigación arquitectónica vamos a exponer la metodología utilizada y una parte de los resultados obtenidos, así como las conclusiones a las que se ha llegado, haciendo especial incidencia en cómo influye el empleo de cuádricas regladas en el diseño y la construcción de una obra. También la utilización de nuevos materiales favorece el equilibrio entre la belleza de una superficie cuádrica y la estabilidad de la obra arquitectónica.

El trabajo empieza desde la asignatura de Ampliación de Matemáticas (AMA) que se imparte en segundo curso de la titulación de arquitecto de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Dentro del programa de esta asignatura está incluido el estudio de las cuádricas, ya que sin duda estas superficies están presentes en multitud de espacios arquitectónicos de todo el mundo. Algunos ingenieros y/o arquitectos famosos que han hecho uso de estas superficies en sus construcciones son por ejemplo Antonio Gaudí, Eduardo Torroja, Félix Candela, Eero Saarinen y Jorn Utzon, entre otros.

En esta comunicación presentamos el estudio que hemos realizado de estas superficies empleadas en edificios y elementos constructivos de la ciudad de Valencia. Una peculiaridad de este trabajo es que ha sido realizado conjuntamente por profesoras del departamento de Matemática Aplicada de la UPV, concretamente de la unidad docente de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, y por alumnos de la asignatura de AMA. De hecho, los conocimientos sobre cuádricas adquiridos en AMA han sido la base a partir de la cual empezamos a trabajar. El objetivo de este trabajo es la identificación, clasificación y análisis de las cuádricas presentes en el paisaje arquitectónico de Valencia. Hemos realizado aproximaciones gráficas a las superficies analizadas utilizando diferentes herramientas informáticas como Dpgraph, y finalmente, hemos puntualizado sobre el interés de su utilización en la concepción, diseño y construcción en arquitectura.

La reflexión y los conocimientos adquiridos en este trabajo constituyen el primer paso para realizar un estudio más ambicioso: el diseño de superficies innovadoras a partir de las superficies cuádricas. De hecho, la reflexión, el

análisis y el manejo de herramientas cuádricas que se han realizado en este trabajo constituyen la base de cómo “jugar” con las cuádricas para obtener superficies innovadoras y cómo construirlas.

## **Metodología**

El estudio comenzó con lo que se podría llamar el “trabajo de campo”, que consistió en seleccionar edificios en los que parecía haberse utilizado una o varias cuádricas en su diseño y fotografiarlos. En algunas fotografías nos interesaba el encuadre si era posible de la obra completa y en otras sin embargo, nos interesaba fotografiar alguna parte del edificio en cuestión para poder hacer posteriormente un análisis más detallado.

A continuación pasamos a la clasificación de las cuádricas presentes en cada uno de los edificios o elementos constructivos. En algunos casos esta clasificación era algo más complicada porque la superficie estaba formada por la intersección de dos o más cuádricas. Junto a las fotografías y la clasificación adjuntamos unas fichas con algunos datos de interés de las obras como: año de construcción, arquitecto, ubicación, características especiales de la obra, aspectos a resaltar de las mismas,... Especial interés tenían para nosotros aquellos datos que se refirieran a las cuádricas empleadas en el diseño. En algunos casos encontramos las ecuaciones concretas de las superficies empleadas.

La siguiente etapa del trabajo fue realizar aproximaciones gráficas con diferentes herramientas informáticas. Básicamente hemos utilizado Dpgraph. El empleo de un programa u otro ha dependido de cuál de ellos nos proporcionaba una mejor aproximación y de la licencia de uso de la que disponíamos como miembros de la UPV. En esta etapa es en la que los conocimientos teóricos sobre cuádricas y parametrización de superficies han jugado un papel esencial. Los casos más difíciles de representar gráficamente han sido las superficies que estaban formadas por intersección de varias cuádricas y es ahí donde hemos tenido que hacer uso de una reparametrización de las superficies implicadas.

En este estudio también hemos indagado en cómo afecta el hecho de incluir cuádricas en el diseño de edificios. Hemos recopilado información y hemos contado con fotografías de las diferentes etapas de la construcción de la cubierta del restaurante submarino del Oceanográfico: construcción de la cimbra, encofrado, instalación del encofrado, proceso de homigonado, armado de la cubierta, apoyos, proyecto de desencofrado, etc.

Durante todo el estudio los alumnos de arquitectura que han colaborado se han encargado de las partes más técnicas relacionadas con la arquitectura que son las que ellos dominaban mejor. Las profesoras por otro lado, se han encargado de la parte más matemática.

## Resultados

La mayoría de las cuádricas de los edificios que en un primer momento fotografiamos eran regladas. La razón es sencilla: a pesar que el empleo de superficies cuádricas supone un mayor grado de complejidad en la construcción, el empleo de cuádricas regladas frente a las que no lo son supone una rebaja de esta complejidad.

Para esta comunicación hemos seleccionado una muestra representativa de algunas de ellas:

- **Nuevo ayuntamiento de Valencia** (Fig. 1), ubicado en la avenida Aragón de Valencia. En este caso se han empleado las cuádricas en el diseño de la cubierta. Concretamente, dos superficies cilíndricas aparecen de forma horizontal, para crear las cubiertas. Un semicilindro de base circular y de diámetro mayor atraviesa el edificio transversalmente, mientras que otro semicilindro de base circular atraviesa longitudinalmente el edificio, intersectando con la superficie del primer cilindro. Desde el punto de vista matemático, el cilindro es la superficie reglada formada por las rectas que pasan por una circunferencia y son perpendiculares al plano que la contiene, por esta razón, son estas formas unas de las más empleadas para innovar en construcción ya que pese a todo se construyen mediante rectas, lo que facilita su construcción y su despiece. En este caso facilita la estructura de la cubierta que se realiza con perfiles metálicos rectos y se recubre con piezas curvadas.

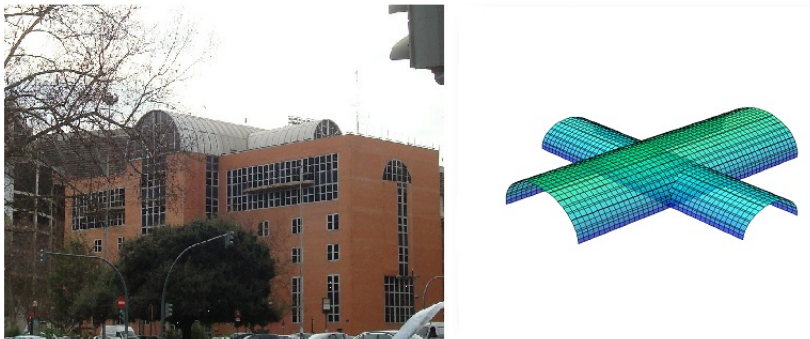


Figura 1. Nuevo ayuntamiento de Valencia. Dos superficies cilíndricas que intersectan constituyen la cubierta del edificio.

- **Edificio “Humadales”** (Fig. 2), ubicado en la ciudad de las Ciencias y las Artes como parte del Oceanográfico. La cuádrica empleada en su construcción es una esfera. La esfera se ha considerado desde la antigüedad como símbolo de la perfección por su simetría y por su diseño

óptimo. De todos los sólidos de un volumen dado, la esfera es el que tiene una superficie de menor área (propiedad isoperimétrica); de todos los sólidos con un área superficial dada, la esfera es la que encierra el mayor volumen. Estas dos propiedades (cada una de las cuales implica la otra) define de forma única a la esfera.



Figura 2. Edificio Humedales de forma esférica sito en la Ciudad de las Ciencias y las Artes de Valencia.

En este caso nos enfrentamos a una geometría que no es del grupo de las cuádricas regladas, por tanto no se puede construir a base de elementos lineales. Para su realización lo que se hace es construir unos arcos exteriores e interiores que forman visualmente la circunferencia y se atan con una subestructura auxiliar triangulada que permite introducir perfiles lineales y darle solidez y estabilidad al edificio.

- **L'Umbracle** (Fig. 3), situado en la Ciudad de las Ciencias y las Artes. La cuádrica que podemos identificar fácilmente es un cilindro parabólico. L'Umbracle es la "puerta principal de acceso" a la Ciudad de las Ciencias y las Artes.



Figura 3. L'Umbracle, sito en la Ciudad de las Ciencias y las Artes de Valencia. Su forma responde a un cilindro parabólico.

Fue concebido en su mayoría en hormigón blanco y con un fuerte componente de marquesinas metálicas en sus espacios exteriores y largos recorridos peatonales de adoquín de granito. En contraste con el hormigón, el paseo cubre su pavimento con madera de Teka. Alberga en su interior El Paseo de las Esculturas, una galería de arte al aire libre con esculturas de autores contemporáneos, como Miquel Navarro o Yoko Ono. En esta construcción se unen arte y naturaleza.

Respecto al sistema constructivo de esta obra y pese a que se trata también de una superficie reglada, en este caso la estructura principal consta de unos arcos metálicos de una considerable magnitud que se ensamblan con una subestructura también metálica lineal que une el conjunto de los arcos formando el cilindro parabólico.

- **Restaurante submarino** (Fig. 4) ubicado en el Oceanográfico de la Ciudad de las Ciencias y las Artes. En este caso la cuádrica empleada es el paraboloides hiperbólico. Félix Candela, arquitecto mundialmente conocido por sus cubiertas con formas obtenidas a partir de este tipo de cuádricas llegó a decir que “todas las obras que envió están hechas de paraboloides hiperbólicos, y la posibilidad de combinaciones que den apariencias muy diversas es bastante grande, aunque no inagotable...” La planta del edificio es octogonal y su cubierta de hormigón presenta ocho lóbulos con simetría radial que le dan una forma de roseta, y es de un espesor mínimo, lo cual contribuye a realzar su sencillez. Cada lóbulo y su opuesto forman parte de un mismo paraboloides hiperbólico. Los apoyos están dispuestos en los vértices de un octógono de 13.58 m de lado. Como curiosidad, concretamente en este caso la ecuación de los paraboloides que lo forman es:

$$\frac{y^2}{100} - \frac{x^2}{46792} = z - 6$$

Se necesitó un gran cimbrado para poder encofrar la cubierta con encofrados especiales y sólo realizados in situ en la unión con los apoyos, sobre esto se extendieron las amaduras, que por ser una superficie reglada son barras de acero lineales, que se reforzarán también en el encuentro con los apoyos.

Su hormigonado fue costoso, comenzando por la parte interior de la cubierta, la unión de los 8 lóbulos, y posteriormente hormigonando lóbulo a lóbulo. El hormigonado del primero duró 72 horas ininterrumpidas pero con los siguientes la tarea se hizo más efectiva reduciendo el tiempo empleado. Otro punto tenso de la ejecución fue el desencofrado de la cubierta, pero no



sólo salió según lo previsto sino que las deformaciones fueros prácticamente nulas, coincidiendo así con los resultados de cálculo.



Figura 4. Cubierta del restaurante submarino de L'Oceanogràfic sito en la Ciudad de las Ciencias y las Artes. La planta del edificio es octogonal y su cubierta de hormigón presenta ocho lóbulos con simetría radial que le dan una forma de roseta. Cada lóbulo y su opuesto forman parte de un mismo paraboloides hiperbólico.

- **Elemento de ventilación** (Fig. 5) en la Ciudad de Las Ciencias y las Artes. Se trata de un original espacio que tiene como función ventilar un parking que se encuentra justo en un sótano inferior del Umbracle. Desde la calle se puede ver una forma casi escultórica donde intersectan armónicamente dos cilindros y un cono. El cono es la superficie reglada formada por las rectas que se apoyan en una curva plana (por ejemplo, la circunferencia) y en un punto exterior al plano. Arquitectónicamente, el cono apoyado en su parte plana es bastante estable.

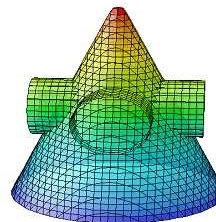


Figura 5. Elemento de ventilación de la Ciudad de las Ciencias y las Artes formado por la intersección de un cono y dos cilindros.

Este elemento singular responde a una geometría apropiada para ventilar e garaje inferior mediante aberturas rasgadas en las cuatro tapas de los 2 cilindros, dotándolo de una vistosidad apropiada para el entorno arquitectónico en el que se enclava.

Todo el material obtenido (fotografías, fichas de datos, aproximaciones gráficas, información sobre etapas de la construcción de un edificio,) se ha recogido en un dossier en el que además se ha relatado detalladamente cómo se han ido realizando cada una de las etapas del trabajo.

### **Discusión y conclusiones**

El hecho de ser un trabajo conjunto entre alumnos de arquitectura y profesoras de matemáticas ha supuesto un enriquecimiento del mismo en cuanto a conocimientos se refiere. Por un lado los alumnos, aunque no son todavía titulados, han aportado la esencia de la arquitectura que el trabajo necesitaba. Por otro lado, la parte más matemática junto con las cuestiones más formales del estudio ha provenido de las profesoras. Esta simbiosis ha permitido que hayamos conseguido un estudio más completo.

Las principales conclusiones a las que hemos llegado son:

- 1) El empleo de cuádricas en el diseño de un edificio implica una complejidad añadida en la construcción del mismo e incluso un aumento en el coste del mismo. Quizás por ello el empleo de cuádricas en arquitectura esté, en la mayoría de los casos, restringido a edificios financiados con fondos públicos y con plazos de ejecución más dilatados en el tiempo. A pesar de estos inconvenientes, el empleo de estas superficies aporta un grado estético y de originalidad que es difícil de conseguir con otras formas geométricas más habituales en arquitectura, lo que hace que su uso esté presente en muchos espacios arquitectónicos no sólo de Valencia sino también en muchas otras ciudades del mundo.
- 2) Del análisis de los procesos constructivos se desprende la ventaja del uso de cuádricas regladas ya que, por ejemplo, nos posibilita la utilización de encofrados más regulares y que además podemos solucionar en obra, frente a otro tipo de soluciones para los que deberíamos recurrir a encofrados singulares realizados ex profeso.

Desde el punto de vista didáctico el material elaborado puede emplearse en las clases de AMA para poder transmitir a los alumnos la presencia e importancia de las cuádricas en la arquitectura. Podemos mostrarles cómo detrás de unas ecuaciones pueden esconderse formas que pueden hacer de un diseño una obra más original e innovadora.

Desde el punto de la investigación, este estudio constituye la primera fase de lo que sería un trabajo de investigación más ambicioso en el que se contemplaría el empleo de superficies cuádricas en el diseño de superficies innovadoras. En el presente trabajo nos hemos centrado, sobretodo, en recopilar y analizar con la intención de crear un catálogo al que se pueda recurrir como referencia para futuras intervenciones o estudios. Queda aún mucho trabajo. Con este inicio se ha pretendido, además crear un camino de comunicación entre dos materias que no pueden estar reñidas. La Arquitectura y las Matemáticas deben andar juntas, aunando tanto la rama más científica como aquella cuyo componente es más humanista.