

Arte con lenguaje matemático

Moratalla, Ascensión ascension.moratalla.delahoz@upm.es

Dpto de Matemática Aplicada ETS Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Sanz, Agripina asanz@caminos.upm.es

Dpto de Matemática Aplicada ETSI de Caminos Canales Y Puertos de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

En este artículo mostramos la experiencia realizada con alumnos de primer curso de la ETSA de la Universidad Politécnica de Madrid, basada en el análisis de obras arquitectónicas y de arte con lenguaje matemático.

Palabras claves:

Matemáticas, arte, arquitectura.

ABSTRACT

In this paper we present the experience carried out with first-course students from ETSA (Superior Technical School of Architecture) in the Politechnical University of Madrid, based on the analysis of Art and Architecture master pieces by means of mathematical language.

Keywords

Mathematics, Arts, Architecture.

1. INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de las matemáticas como en cualquier otra rama, es importante aplicar los conocimientos que se estudian a ejemplos directos a los estudios específicos del alumno.

Os mostramos cómo nuestros alumnos se introducen en los distintos contenidos de su temario a través del análisis geométrico de obras de arte y arquitectura.

2. EL CONTENIDO MATEMÁTICO

El contenido matemático, objeto de estudio corresponde al primer curso de ingeniería y arquitectura impartidos en la UPM, es el siguiente:

- Espacio afín euclídeo. Isometrías. Semejanzas.
- Cónicas.
- Cuádricas.

Para cada uno de estos bloques hemos seleccionado temas muy ligados al diseño en Arquitectura y arte. En el caso de geometría euclídea, el grupo de las isometrías nos lleva de una forma sencilla a poder hablar de grupos de Leonardo, frisos y mosaicos. En \mathbb{R}^2 las únicas isometrías son los giros, las simetrías axiales y las traslaciones. En los diseños basados en grupos de Leonardo las únicas isometrías que intervienen son los giros alrededor de un centro y las simetrías axiales con ejes que pasan por ese centro. En este caso hay un punto fijo, el centro, y los diseños que se obtienen están organizados en torno a él.

Un friso es un elemento de ornamentación que encontramos sobre todo en la arquitectura clásica. Consiste en la repetición de un determinado módulo, figura o motivo, a lo largo de una banda, siguiendo una dirección. Esta repetición marca el ritmo del friso. Desde el punto de vista matemático podemos realizar un estudio del grupo de simetría del friso analizando las isometrías que intervienen en el diseño. Si bien el motivo de un friso se puede elegir libremente, los grupos de

simetría que generan frisos se reducen a siete y cumplen la característica que dejan invariante una recta.

Los mosaicos son más complejos y reducimos su elección a arabescos y mosaicos de Escher. Se definen como la repetición de un módulo en dos direcciones de manera que se consiga un recubrimiento del plano.

El tema de cónicas tiene innumerables ejemplos a los que podemos recurrir: las plazas renacentistas de tipo elíptico, diseños con secciones de distintas cuádricas....

En cuanto a las cuádricas, algunas de ellas, son de gran aplicación en arquitectura, por lo que numerosos arquitectos e ingenieros las utilizan para diseñar sus obras (Gaudí, Torroja, Candela, Calatrava, Dieste, ...)

Os mostramos a continuación trabajos realizados por nuestros alumnos.

CÚPULA DE SANT'IVO ALLA SAPIENZA

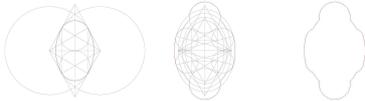
DE FRANCESCO BORROMINI

HISTORIA y GEOMETRÍA

Borromini, el autor de la iglesia de Roma Sant'Ivo alla Sapienza. Se le considera uno de los principales innovadores de la historia de la arquitectura e iniciador de la revolucionaria arquitectura barroca. Frente a los truces y escenografías de sus contemporáneos siempre tuvo una confianza absoluta en la geometría como principal herramienta para la construcción arquitectónica. Aquella que logra la más correcta interacción entre espacialidad y estructura de soporte. Su obra se basó siempre en simples elementos geométricos, triángulos y círculos y cuya manipulación espacial, mediante prismas, cilindros y casquetes esféricos, se trabajó en una arquitectura admirada desde siempre.

Pero Borromini creía en el ejemplo infalible de la naturaleza, como la fuente de inspiración principal para sus obras de arte. La naturaleza como representación del concepto de la divinidad. Para los arquitectos de esa época, el arquitecto debía representar la perfección y armonía de la naturaleza, a partir de la referencia a los restos y modelos heredados de la antigüedad griega y romana. Las ideas platónicas sobre lo natural, se expresaban principalmente a través de las matemáticas, las relaciones numéricas y la combinatoria de los cinco sólidos platónicos. Alberti consideraba que las iglesias debían responder necesariamente en su trazado al círculo y a la esfera como formas que reflejan la máxima aproximación a una perfecta simetría y con ello, constituirían el emblema más representativo de la belleza implícita en la idea de Dios. Los elementos geométricos más sencillos constituirían así la base para el desarrollo de edificios religiosos cuya simbología quiere expresar esa idea de perfección y de interacción de lo natural como imagen representativa de la divinidad.

En 1634, Borromini recibió el encargo de la construcción del monasterio e iglesia de San Carlo alle Quattro Fontane. Una idea inicial partía de la figura del óvalo, trazada de acuerdo al sistema de triangulaciones. Una articulación geométrica de dos pares de triángulos equiláteros de distinta dimensión, conjuntados formando un rombo y una estrella de David entrelazados y que permitían dibujar fácilmente apoyados en sus vértices una forma ovalada simple. La simetría consensual y la totalidad espacial se perciben entonces con un solo recorrido visual, una vez se atraviesa la puerta principal, pudiendo así comprenderse admirablemente todo el acanone de la genialidad del arquitecto.



En 1643 recibió el encargo de una segunda iglesia cuya construcción supondría también un campo experimental para la consagración de la espacialidad barroca. Aquí Borromini vuelve a recurrir a sus acorados círculos y triángulos equiláteros, organizados sobre una única estrella de David. En este caso, para conformar una iglesia de planta central y capillas laterales integradas. El trazado se organiza sobre puntos alternos y para ello se disponen tres círculos en los vértices exteriores y otros tres en el centro de los lados de los triángulos, formándose así invariamente, la característica forma de la planta de la iglesia. Ahora, el arquitecto dispone seis círculos iguales consistentes que definen la característica volumetría exterior del edificio. El espacio interior se remata con una cúpula formada por gajos esféricos. El efecto expansivo conjunto genera un efecto dinámico altamente expresivo.



Con ello, Borromini logra su ideal de espacio unitario estableciendo una continuidad total desde el suelo hasta la linterna que remata la cúpula. Efecto que se consigue sobre la base de elementos geométricos totalmente simples, planos verticales sectores cilíndricos y gajos esféricos que, junto a la luz, establecen un tejido interior de una grancaudal lumínica.

Borromini ha pasado a la historia como uno de los más brillantes artistas que nos ha legado el barroco italiano.



VISTA EXTERIOR DE LA CÚPULA

PLAZA CENTRAL ANTE LA IGLESIA

DEAMBULATORIO

COMPOSICIÓN

La composición de la planta de la cúpula se puede entender de varias maneras, por medio de simetrías, o simetrías y giros.

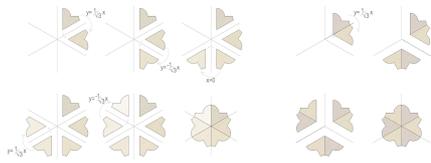
Si dividimos una circunferencia en 6 partes iguales, es decir, en 60°, tenemos 6 ejes, que por simetría serían 3. Estos ejes son:

$$Y = \frac{1}{3} X$$

$$Y = -\frac{1}{3} X$$

$$X = 0$$

Por medio de una simetría obtenemos el motivo mínimo para hallar la figura girándola. Después de la simetría vista en el apartado anterior gramos al motivo "3" y "6"



La matriz del grupo de Leonardo es $\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\text{sen} \alpha \\ \text{sen} \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$

Para el caso del giro $\frac{2\pi}{3}$: $\begin{pmatrix} \cos \frac{2\pi}{3} & -\text{sen} \frac{2\pi}{3} \\ \text{sen} \frac{2\pi}{3} & \cos \frac{2\pi}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix}$

Realizando esta simetría 4 veces más y cambiando el eje de manera consecutiva tenemos el figura final

Realizando este giro una vez más, pero con $\frac{\pi}{3}$ obtenemos la figura total



FOTO DEL INTERIOR DE LA CÚPULA, DONDE SE PUEDE APRECIAR LA GEOMETRÍA CON LA QUE SE COMPUSO

MAPLE

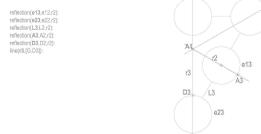
Para componer esta figura en Maple partimos por identificar el centro de la figura con el origen de coordenadas, y de ahí situamos los centros de dos circunferencias, las circunferencias, una línea que una ambas circunferencias y el primer eje de simetría, como se muestra a continuación:



A continuación empezamos realizando la primera simetría, en este caso sobre el eje r1:



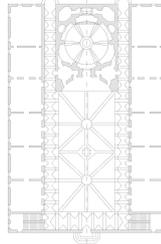
La siguiente simetría se realiza respecto al eje r2:



La manera más corta para acabar es hacer una simetría de todos los elementos sobre el eje r3:



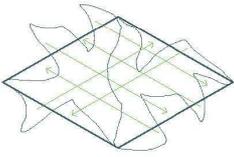
RESTO DEL EDIFICIO



En el resto del edificio encontramos un eje de simetría principal. Además la composición de la planta parte de figuras perfectas como círculos, cuadrados, rectángulos aureos y proporciones aureas representando así lo que se entendía en el Barroco como belleza perfecta.

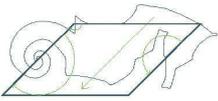
RODRIGO GONZÁLEZ MARTÍN

traslación

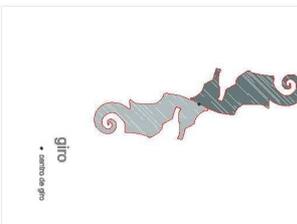


El motivo mínimo a partir del cual se construye este mosaico es el rombo.
En él se dibujan dos aves (una blanca y otra negra). Las partes exteriores al rombo, se trasladan al interior según las direcciones señaladas.

giro y traslación



Como muestra el esquema el caballo puede contenerse en un paralelogramo, mediante la traslación y giros de algunas de sus partes.



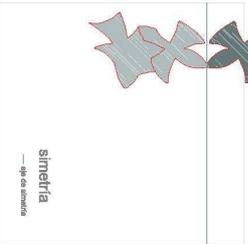
"Desarrollo en completa soledad por el jardín de la partición periódica de la superficie. Por más satisfactorio que sea poseer un dominio, en este caso resulta imposible estar solo. (...) Mucho antes de que, a raíz de visitar la Alhambra, descubriera cuán afín me es el problema de la partición (...), yo había descubierto ya por mí mismo mi interés por él." M. C. Escher, *Regelmäßige Vorkerndung*, Utrecht, 1958.

Se puede explicar la obra de M.C. Escher mediante el estudio de las isometrías.

Isometrías en el plano

El mosaico se construye a partir de un giro y una traslación de un caballo de mar en tres colores distintos (azul, rojo y blanco). Desde un punto de vista geométrico el motivo mínimo es un paralelogramo.

simetría con deslizamiento



Escher

En este mosaico el dibujo repetido es un ave amarilla y un pez azul.

La figura puede traducirse como la composición de dos movimientos:

- simetría respecto de un eje horizontal
- deslizamiento según la dirección y sentido señalados.

Javier Montalvo Melguzo Violeta Ordóñez Manjón.



>El arte gótico es un estilo que se desarrolló en Europa Occidental durante los últimos siglos de la Edad Media, desde mediados del siglo XII hasta la implantación del Renacimiento. Se trata de un amplio período artístico, que surge en el norte de Francia y se expande por todo Occidente. Según los países y las regiones, se desarrolla en momentos cronológicos diversos, ofreciendo en su amplio desarrollo diferenciaciones profundas: más puro en Francia (siendo bien distinto el de París y el de Provenza), más horizontal y cercano a la tradición clásica en Italia.

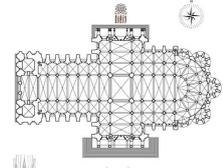
>Las catedrales góticas se caracterizan por la definición de un espacio que quiere acercar a los fieles los valores religiosos y simbólicos de la época. Las nuevas técnicas constructivas hacen virtualmente innecesarios los muros en beneficio de los vanos, el interior de las iglesias se llenó de luz, y la luz conformará el nuevo espacio gótico: Será una luz física, general y difusa pero transfigurada y coloreada mediante el juego de las vidrieras y los rosetones, que transforma el espacio en irreal y simbólico. El color alcanzará una importancia crucial.

>El ejemplo más claro de catedral gótica clásica es la de Chartres. Es un templo que consta de tres naves en los pies y cinco en la cabecera, posee deambulatório y capillas radiales. El crucero tiene también naves laterales. Sus tres niveles (arquerías, triforio y ventanales) y los pilares le confieren una extraordinaria belleza y una especial sensación de movimiento. Cada vano se organiza con estructuras geminadas, divididas por un parteluz y decoradas con motivos de tracería del tipo de tríbulos y óculos.

>Las vidrieras del rosetón de la fachada Norte muestran en su centro la Glorificación de María con ángeles y el Espíritu Santo. En el círculo externo figuran reyes y profetas del Antiguo Testamento. Fue donado por la Reina Blanca de Castilla en 1230, por lo que muestra en las enjutas debajo de este las armas de Francia y de Castilla alternadas. En los cinco ventanales se muestran dos figuras en cada uno: Melquisedec y Saúl, David y Jeroboam, Santa Ana y la Virgen Niña sobre las armas de Francia, Salomón y Nabucodonosor y por último Aarón y el faraón.



>localización. Chartres.



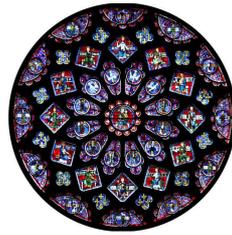
>planta. alzado sur.



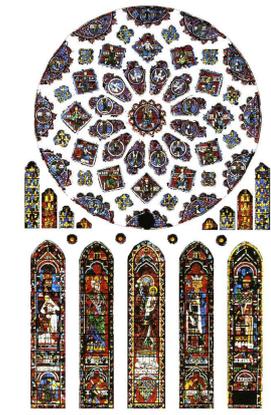
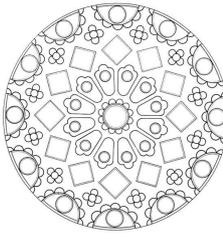
>desarrollo con maple 9.5.

```

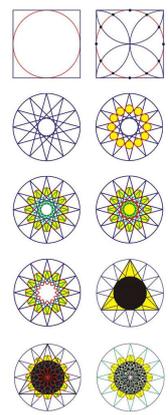
> restart with(geometry);
> Angulo := 360/11;
> n := 12;
> for i from 1 to n do Angulo[i] := 2*i*1/n end do;
>
> point(A,0,0):point(B,11,0):point(C,7.1,8.7);
> triangle[T,[A,B,C]]:point(Q,0,0);
> draw(T[fillcolor=grey]);
>
> point(Q,0,0):line(m,(Q,B));
> reflection(F,T,m);
> draw(F[fillcolor=grey],F[fillcolor=blue]);
>
> rotation(I2,2,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(F2,F,PI/6,counterclockwise,
Q):draw(F2[fillcolor=grey],F2[fillcolor=blue],F2[fillcolor=grey]);
>
> rotation(M,7,2pi/3,counterclockwise,Q):rotation(N,F,PI/3,counterclockwise,
Q):draw(F[fillcolor=blue],F2[fillcolor=grey],F2[fillcolor=blue],M[fillcolor=grey]);
>
> rotation(M1,5,PI/2,counterclockwise,Q):rotation(M2,F,PI/2,counterclockwise,
Q):rotation(M3,M,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(M4,M1,PI/6,counterclockwise,
Q):rotation(M5,M2,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(M6,M3,PI/6,counterclockwise,
Q):rotation(M7,M4,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(M8,M5,PI/6,counterclockwise,
Q):rotation(M9,M6,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(M10,M7,PI/6,counterclockwise,
Q):rotation(M11,M8,PI/6,counterclockwise,Q):rotation(M12,M9,PI/6,counterclockwise,
Q):draw(F[fillcolor=grey],F2[fillcolor=blue],F2[fillcolor=grey],M1[fillcolor=grey],
M11[fillcolor=grey]);
    
```



>rosetón. perfil y trazado.



>conjunto rosetón+vidriera. perfil.



>geometría. desglose.



>rosetón. vista exterior.



>patrón geométrico.

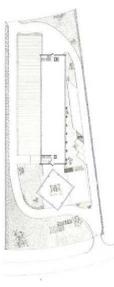
> rosetón norte de la Catedral de Chartres

ismael carpio rodríguez exp. 00068
leyla eatesam párraga exp. 05113

matemáticas 1 grupo E profª. Ascensión Moratalla 14.12.2009

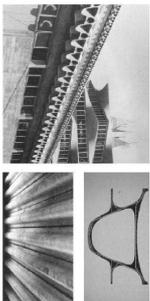
DESCRIPCION GENERAL DEL EDIFICIO

Los laboratorios Jorba fueron contruidos para albergar la producción y el almacenamiento de energía eléctrica. El edificio fue diseñado por el arquitecto general del complejo se hizo de tal manera que los recorridos internos se redujeran al mínimo. Una torre exentada al extremo más próximo a la calle, renana las diversas dependencias de administración y una fachada que genera un efecto de gran luz y de gran luminosidad a los niveles inferiores.



Fachada de un laboratorio con estructura de pilastras y vigas metálicas.

La estructura de las fachadas de cada planta del edificio consistió en un modelo de vórtice generado por el mismo Miguel Fisac. El diseño de elementos estructurales que hablan su solución en los principios estructurales de los famosos arquitectos que se montaban en obra y se venían después a la acortada resultante en una obra remediada.



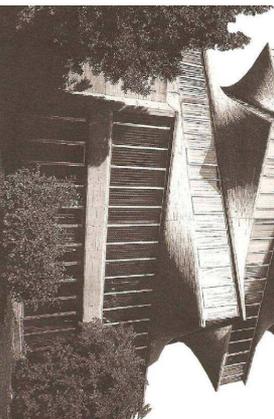
Las vigas de tipo vórtice que se venían a montar en obra y se venían después a la acortada resultante en una obra remediada.

La torre

El edificio en altura se resolvió con estructura de pilares y vigas metálicas y la composición de fachada con ventanas conlleva de aluminio anodizado y cerambrillos de aluminio anodizado entre ellas.

Esta torre administrativa se convirtió en edificio emblemático de la compañía, que como con un vórtice que se proyecta al exterior y que se proyecta al interior.

La torre administrativa se convirtió en edificio emblemático de la compañía, que como con un vórtice que se proyecta al exterior y que se proyecta al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.



MATEMÁTICAS II-Torre de los laboratorios Jorba-Miguel Fisac

Las plantas superiores generan un relieve octogonal conlleva a los edificios de acción cuadrada. En el centro de cada planta se genera un cuadrado con vórtice y paralelo a la planta. El relieve de la planta se genera en un relieve octogonal conlleva a los edificios de acción cuadrada. En el centro de cada planta se genera un cuadrado con vórtice y paralelo a la planta.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

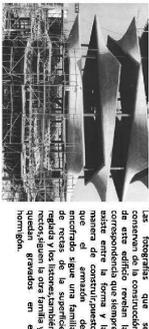


Composición de las vigas de tipo vórtice que se venían a montar en obra y se venían después a la acortada resultante en una obra remediada.

Pero en la solución adoptada parece más bien que el movimiento de rotación respecto a cada planta haya sido inventar las vigas de la torre "por la construcción de la tracción tal como se resolvió. La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.



Este es el tipo de vórtice que se venían a montar en obra y se venían después a la acortada resultante en una obra remediada.



Vista del edificio desde un ángulo de visión.

El resultado fue una figura muy llamativa y cambiante a la luz del día que hizo que el edificio fuera un referente en el campo del aerodinámico de la arquitectura.



La idea de la torre y la necesidad por localizar hicieron posible que a lo largo de la historia se generara una torre que se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

DESCRIPCION MATEMATICA DE LA ESTRUCTURA

Se trata de una superficie reglada de tracción entre dos rectas no paralelas en el espacio. El relieve de la planta se genera en un relieve octogonal conlleva a los edificios de acción cuadrada. En el centro de cada planta se genera un cuadrado con vórtice y paralelo a la planta.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

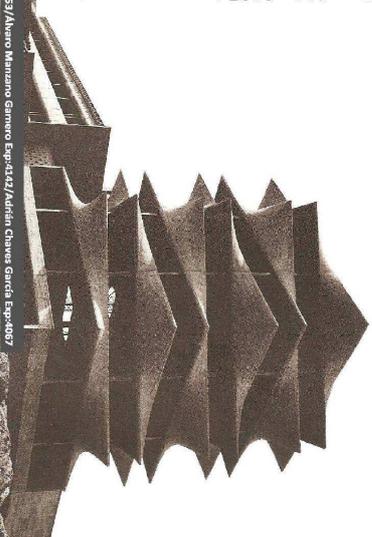
La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

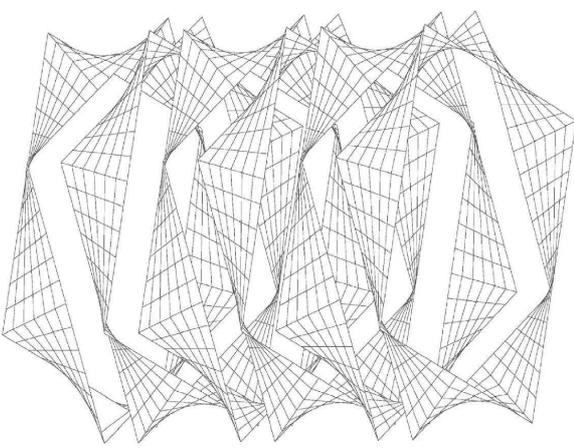
La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

La torre central de cada planta se proyecta al exterior y al interior. Y esta cantidad de vórtices a lo largo de una superficie de cada planta forma los más interesantes de la solución arquitectónica. El edificio se proyecta al exterior y al interior en su desarrollo por el vórtice que se proyecta al exterior y al interior.

Carlos García Ruiz Espigares/Miguel Fisac/García Espigares



Atención geométrica de la superficie reglada (paraboloides hiperbólicos) que componen la volumetría de la estructura.



3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alsina, C. y Trillas, E. Lecciones de Álgebra y Geometría, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1984.
- [2] Barnsley, M., Fractals Everywhere, Academic Press, San Diego, 1988.
- [3] Coxeter, H.S.M. y Greitzer, S.L. Retorno a la Geometría, DLS Euler Editores, 1993.
- [4] Falconer, K.J. Fractal Geometry. New York, 1990.
- [5] Moratalla de la Hoz, A., Sanz García, M^a A., Geometría en la Arquitectura. Serie Geometría y Arquitectura (I). Pub. del Instituto Juan de Herrera, E.T.S. Arquitectura de Madrid. UPM, 1998.
- [6] Moratalla de la Hoz, A., Sanz García, M^a A., Simetría. Serie Geometría y Arquitectura (II). Pub. del Instituto Juan de Herrera, E.T.S. Arquitectura de Madrid. UPM, 1999.
- [7] Perera, Jorge G., Perera, Jorge H. y Vera W. de Spinadel, Geometría Fractal, 3^a Edición, Editorial Nueva Librería. Buenos Aires, 2007.
- [8] Quaroni, L. Proyectar un edificio. Ocho lecciones de arquitectura, Xarait Ediciones. Madrid 1987.
- [9] Vera W. de Spinadel, From the Golden Mean to Chaos, 2^a Edición, Editorial Nobuko S.A. Buenos Aires, 2004.