

ESTUDIO COMPOSITIVO DE MOTIVOS GEOMÉTRICOS EN LA OBRA DE GAUDÍ

Ant. Gaudí

SARA CAMPOS-ANSÓ CEÑAL
TUTOR: ALBERTO LÓPEZ DEL RÍO

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

CURSO 2022 - 2023

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

AUTOR: **SARA CAMPOS-ANSÓ CEÑAL**
TUTOR: **ALBERTO LÓPEZ DEL RÍO**

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA
CURSO 2022/2023. CONVOCATORIA DE SEPTIEMBRE DE 2023.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



Universidad de Valladolid

0. Introducción.
 - 0.1. Objetivos.
 - 0.2. Metodología.
1. Contexto histórico
2. Aproximación biográfica de Antonio Gaudí.
3. Estudio de la forma: la Catenaria.
 - 3.1. Casa Batlló.
 - 3.2. Casa Milá, la Pedrera.
4. Estudio de la forma: de la Catenaria a la Parábola.
 - 4.1. Escuela de las Teresianas.
5. Estudio de la forma: la Parábola Cúbica.
 - 5.1. Iglesia de la Colonia Güell.
6. Componentes geométricos: Superficies Regladas y su relación con la naturaleza.
 - 6.1. Paraboloide.
 - 6.2. Hiperboloide.
 - 6.3. Elipsoide.
 - 6.4. Conoide.
 - 6.5. Helicoide.
7. Obra magna: La Sagrada Familia
 - 7.1. El número secreto de La Sagrada Familia.
 - 7.2. Columnas de doble giro.
 - 7.2.1. Síntesis de las columnas clásicas.
 - 7.2.2. Modelado de la columna de doble giro.
 - 7.2.3. Cuatro tipos de columnas.
 - 7.2.4. Bases estrelladas.
 - 7.2.5. Diámetro y altura.
8. Conclusión.

Resumen

La obra de Antoni Gaudí ha sido, a partir del siglo XX, un referente dentro de la historia de la arquitectura, principalmente en España.

El objeto de este Trabajo Fin de Grado es analizar el por qué de las determinadas formas utilizadas por el arquitecto catalán dentro de sus proyectos (catenaria, parábola, paraboloides, elipsoides, etc.), comprender la forma que tenía de entender la arquitectura y la conexión que veía entre esta y la naturaleza.

Para comprender la importancia y la majestuosidad de la obra de Gaudí, se hará un estudio previo de los movimientos artísticos de la época en varias ciudades europeas, en concreto el Art Nouveau, donde podremos clasificar las obras que se explicarán posteriormente.

Tras ello, se explicarán ciertas formas recurrentes del arquitecto catalán, como la catenaria o los arcos parabólicos, explicando su comportamiento frente a esfuerzos solicitados, y mostrando en varias de sus obras el uso compositivo que hace de estas soluciones formales.

Posteriormente se analizarán las superficies regladas, otro recurso de Antoni Gaudí, presentes en sus obras, tanto estructuralmente como a modo de decoración u ornamentación, en fachadas, elementos singulares, mobiliario, etc. También se explicará de qué elementos de la naturaleza toma referencia el arquitecto, teniendo en cuenta la funcionalidad antes que la formalidad.

Para cerrar este Trabajo de Fin de Grado, se estudiará la obra más representativa del Antoni Gaudí, la Sagrada Familia. Además de haber tomado este proyecto como ejemplo en los apartados anteriores, se investigará la modulación del edificio, para la que se basa en motivos religiosos, debido a su devoción, y se estudiará la singularidad del diseño de las columnas empleadas, sus proporciones o el tamaño de cada tipo de columna en función de las cargas soportadas por cada una de ellas.

Palabras clave: Antoni Gaudí, arquitectura, naturaleza, estructura, función, forma.

Abstract

The work of Antoni Gaudí has been, since the 20th century, a point of reference in the history of architecture, mainly in Spain.

The aim of this Final Degree Project is to analyse the reasons for the certain shapes used by the Catalan architect in his projects (catenary, parabola, paraboloids, ellipsoids, etc.), to understand the way he understood architecture and the connection he saw between it and nature.

In order to understand the importance and majesty of Gaudí's work, a preliminary study will be made of the artistic movements of the time in various European cities, specifically Art Nouveau, where we will be able to classify the works that will be explained later.

After this, certain recurrent forms of the Catalan architect will be explained, such as the catenary or the parabolic arches, explaining their behaviour in the face of the stresses requested, and showing in several of his works the compositional use he makes of these formal solutions.

Afterwards, we will analyse ruled surfaces, another of Antoni Gaudí's resources, present in his works, both structurally and as decoration or ornamentation, in façades, singular elements, furniture, etc. It will also explain which elements of nature the architect takes reference from, taking into account functionality rather than formality.

To close this Final Degree Project, we will study Antoni Gaudí's most representative work, the Sagrada Familia. In addition to having taken this project as an example in the previous sections, we will investigate the modulation of the building, which is based on religious motifs, due to his devotion, and we will study the singularity of the design of the columns used, their proportions and the size of each type of column depending on the loads supported by each one of them.

Key words: Antoni Gaudí, architecture, nature, structure, function, shape.

Metodología

Para poder llevar a cabo este trabajo, primero se hace una vista general a la arquitectura europea, concretamente al movimiento del Art Nouveau, donde encontramos figuras como Víctor Horta, Charles R. Mackintosh, Otto Wagner, entre otros. Además, se realizará una breve biografía del arquitecto, donde se entenderá su admiración por los materiales y la artesanía al proceder de una familia de caldereros.

Para empezar a analizar la obra del arquitecto, se dividirán los elementos en dos grupos: elementos estructurales lineales, como los arcos catenarios o arcos parabólicos, y elementos estructurales tridimensionales, como el paraboloides, hiperboloides, conoides, etc.

Primero se explicará por qué el uso de la catenaria y del arco parabólico es indicado para según que casos dentro de la obra de Gaudí, y, posteriormente, se expondrán ejemplos dentro de la misma, exponiendo el motivo compositivo y estructural de su uso.

Posteriormente, dentro de los elementos tridimensionales, se explicará la diferencia entre superficies de curvatura simple y de doble curvatura, razonando por qué estas últimas son las más indicadas para el uso que le da el arquitecto. Tras esto, se analizará cada tipo de superficie reglada y se darán varios ejemplos de su uso dentro de la arquitectura de Gaudí, a la vez que se comparan con formas de la naturaleza.

Por último, se analizarán las proporciones de la Sagrada Familia y se estudiará el desarrollo de las columnas de doble giro, estudiando su colocación en planta, sus proporciones tanto en planta como en alzado según las cargas a soportar, y se realizará un modelo 3D, exponiendo una sección por cada metro de altura de cada columna, para poder explicar cómo el arquitecto llega a la forma final.

Como apoyo para el entendimiento de las formas y el desarrollo del trabajo, se han llevado a cabo diagramas de curvas como la catenaria o la parábola y se han realizado modelos 3D de las diversas superficies regladas, mostrando estas al completo o sus diferentes alzados o secciones.

Objetivos

El primer objetivo de este trabajo es analizar las diferentes formas usadas por Antoni Gaudí a modo de estructura en la mayoría de sus obras, según las cargas a soportar, ubicación dentro de la propia obra, armonía interior o imagen que reflejar a exterior.

Por otro lado, otro de los objetivos que se buscaba a la hora de realizar este trabajo, es el nexo que hay entre las formas de la arquitectura de Gaudí y las formas naturales, tanto de la vegetación, como de elementos marinos, elementos geológicos, formas anatómicas, etc. También se trata de explicar el por qué de la elección del arquitecto de las formas naturales para casos concretos dentro de sus obras.

Por último, se trata de explicar uno de los elementos más singulares de la obra arquitectónica de Gaudí: las columnas de doble giro del Templo de la Sagrada Familia. Se relata cómo se llega a su forma final, sus proporciones y la relación con un número especial, que muestra la devoción del arquitecto por la religión.

1. Contexto histórico

En los comienzos de Antoni Gaudí como arquitecto, en Europa se desarrollaba un movimiento artístico, el Art Nouveau, que tuvo su inicio a finales del siglo XIX, durando hasta la Primera Guerra mundial (1914-1918), apareciendo en lugares como Bruselas, Glasgow, Viena, París o Barcelona

El "Arte Nuevo" o "Modernismo", más que un estilo definido, fue un movimiento artístico por el cual se transmite al siglo XX la herencia del siglo anterior. La arquitectura perteneciente a este movimiento se desvincula de la arquitectura que se había estado proyectando hasta entonces, dando paso a los progresos técnicos y al uso de nuevos materiales, a la par que se recuperaba el uso de técnicas artesanales tradicionales¹.

Los arquitectos, como Henry Van de Velde, Víctor Horta, Charles R. Mackintosh, etc., pertenecientes a este movimiento buscaron el uso del hierro y del hormigón, aprovechando los resultados de elasticidad y fuerza que aportaba la naturaleza de estos, lo que les permitía eliminar las grandes masas de los sistemas constructivos, a favor de los soportes puntuales. El hierro ayudaría a definir el gusto por las líneas y la geometría, mientras que el hormigón permitiría modelar formas cóncavas, convexas, orgánicas. El uso de estos materiales no apartó a aquellos que se utilizaban con anterioridad, como la piedra, el ladrillo, la madera, la cerámica o el vidrio.

En Bruselas, las obras pertenecientes al Art Nouveau se relacionaban con la burguesía, grupo social que poseía dinero y lo invertía en arte. En la capital belga podemos observar una renovación de las artes, en la que encontramos a Henry Van de Velde, artista que deseaba introducir en su país el Arte Moderno. Su obra tuvo gran repercusión en el movimiento, destacando en Alemania, estando su figura muy ligada a los inicios de la Bauhaus. Cabe destacar de Van de Velde el **cartel publicitario para Tropon** (Figura 01), en el que se puede observar el uso de formas que evocan a la naturaleza por su organicidad; y la **Villa Hohenhof Hagen-emst** (1906-1908) (Figura 02), que, a pesar de que su exterior es más racional, en el interior de esta, los muebles toman protagonismo del espacio, y junto con los colores y papeles pintados utilizados, dotan de calidez a las diferentes estancias de la misma.

¹ del Castillo-Olivares, M. D. A. (2019). *Luz y color en la arquitectura madrileña: vidrieras de los siglos XIX y XX* (O. Nieto Yusta, Org.). Centro de Estudios Ramón Areces, Editorial Universitaria Ramón Areces. (Obra original publicada en 2019)

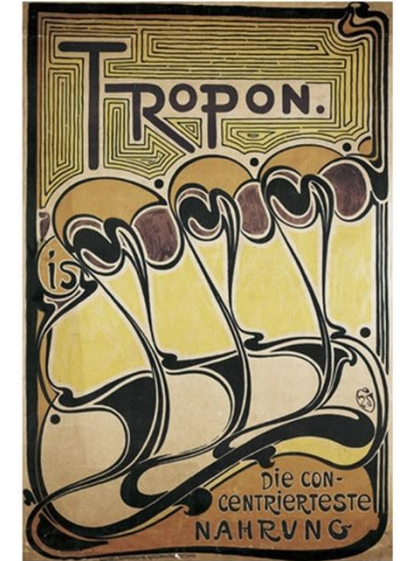


Fig. 01: Henry Van de Velde. Cartel publicitario para Tropon. 1897.



Fig. 02: Henry Van de Velde. Villa Hohenhof Hagen-emst . Hagen, Alemania. 1906-1908.

Además de Van de Velde, otro de los precursores del Art Nouveau en Bruselas fue Víctor Horta (1861-1947), arquitecto de referencia en la ciudad en la última década del Siglo XIX y primera del XX. Algunas de sus obras más representativas fueron:

- **Casa Tassel** (1892-93) (Figura 03). En el interior se puede apreciar el estilo arquitectónico de Horta, con la utilización de líneas simples, limpias, sin romper con los movimientos clásicos. En el interior se percibe un juego con el uso de nuevos materiales, utilizando el hierro, por ejemplo, en la baranda de la escalera, con la finalidad de crear formas florales, orgánicas, bajo la condición de arquitectura como expresión del arte.
- **Hotel Solvay** (1895-00) (Figura 04). En este edificio también se combina el uso de formas clásicas con el modernismo que aportan los materiales como el hierro, con el que se pueden moldear diferentes formas, como en las barandillas metálicas dispuestas en la fachada de este hotel.
- **Casa Horta** (1898-01) (Figura 05). En la fachada de este edificio, el cual funciona a día de hoy como museo, a modo de exposición de las obras de Víctor Horta, podemos observar las elaboradas formas que se crean con hierro tanto en las barandillas de los balcones como en los remates de las mismas en la zona superior. Además, en el interior se encuentra una de las imágenes más representativas del Art Nouveau, en remate de la columna dispuesta en la escalera, que no tiene función estructural alguna, simplemente decorativa, remitiendo a la naturaleza y al movimiento.
- **Casa del Pueblo** (1896-99) (Figura 06). Este edificio, demolido en 1965, cuenta con una profusa cantidad de detalles decorativos en forja, además de contar con una gran estructura ósea de hierro, la cual permite la apertura de grandes paños de vidrio en la fachada.²

² Apuntes historia del S.XX de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Segundo Curso. Profesor Iván Rincón Borrego.



Fig. 03: Víctor Horta. Casa Tassel: fotografía de la escalera. Bruselas 1892-1893.



Fig. 04: Víctor Horta. Hotel Solvay: fotografía del primer tramo de escalera. Bruselas 1895-1900

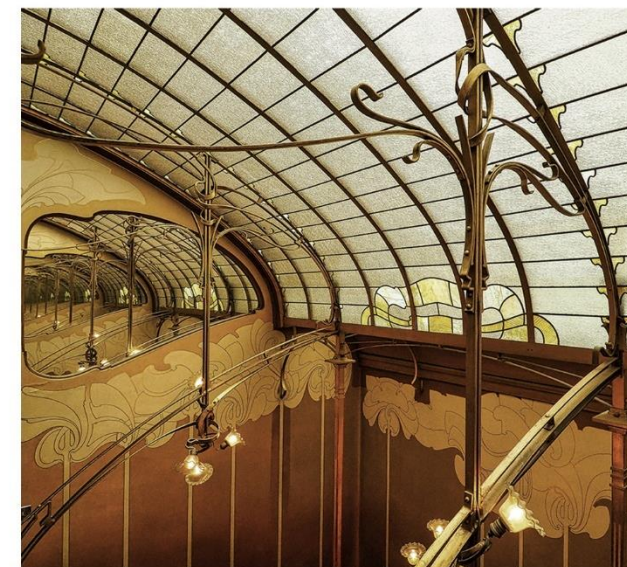


Fig. 05: Víctor Horta. Casa Horta: remate de escalera. Bruselas 1898-1901.



Fig. 06: Víctor Horta. Casa del pueblo. Bruselas 1896-1899.

En Glasgow, la aparición del Art Nouveau se da de la mano de dos parejas de arquitectos. La más representativa de este estilo fueron Charles R. Mackintosh (1868-1928) y su esposa Margaret MacDonald (1864-1933). Su estilo es una reforma del arte inglés sobre un contexto artístico diferente, que contiene una mayor ortogonalidad y valor de la línea, potenciando las verticales y horizontales, evocando el pasado medieval. Podemos destacar de entre las obras de Charles R. Mackintosh:

- **Escuela de Arte de Glasgow** (1897-09) (Figura 07). La fachada de este edificio posee un carácter alargado. En la fachada principal, situada al norte, se puede observar el trabajo ornamental en hierro en las grandes vidrieras que dejarían pasar la luz al interior. En el interior, el uso de la madera se da en todos los espacios, desde el revestimiento de paramentos horizontales y verticales, hasta el mobiliario, que también había sido diseñado por Mackintosh³. Cabe destacar, como uso de la luz, el ambiente en penumbra que se consigue mediante el uso de ventanas saetera o aspillera⁴, que podría evocar, al igual que el mobiliario estilizado, a la época medieval.
- **Hill House** (1902-03) (Figura 08). Vivienda más famosa del arquitecto, que cuenta con una planta orgánica muy flexible, una planta irregular, en la que se produce una interrelación de los espacios, no habiendo separación entre algunos de ellos, al menos física. Gracias a la iluminación y al uso del color, Mackintosh consigue crear diversos espacios dentro de una misma estancia. La decoración del interior con tonos pastel y tendencias florales, junto con la decoración de elementos como la chimenea con pequeñas piezas de cerámica, crea un contraste con la fachada, muy austera, monacal.
- **Willow Tea Rooms** (1904) (Figura 09). Líneas simples que componen la fachada. El arquitecto diseña la distribución de los espacios, el mobiliario e incluso las vestimentas de los trabajadores.⁵

³ Escuela de Arte de Glasgow - Ficha, Fotos y Planos - WikiArquitectura. (s.f.). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/escuela-de-arte-de-glasgow/>

⁴ T. f. Mil. Abertura larga y estrecha en un muro para disparar por ella. *aspillera* | Diccionario de la lengua española. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/aspillera>

⁵ Apuntes historia del S.XX de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Segundo Curso. Profesor Iván Rincón Borrego.

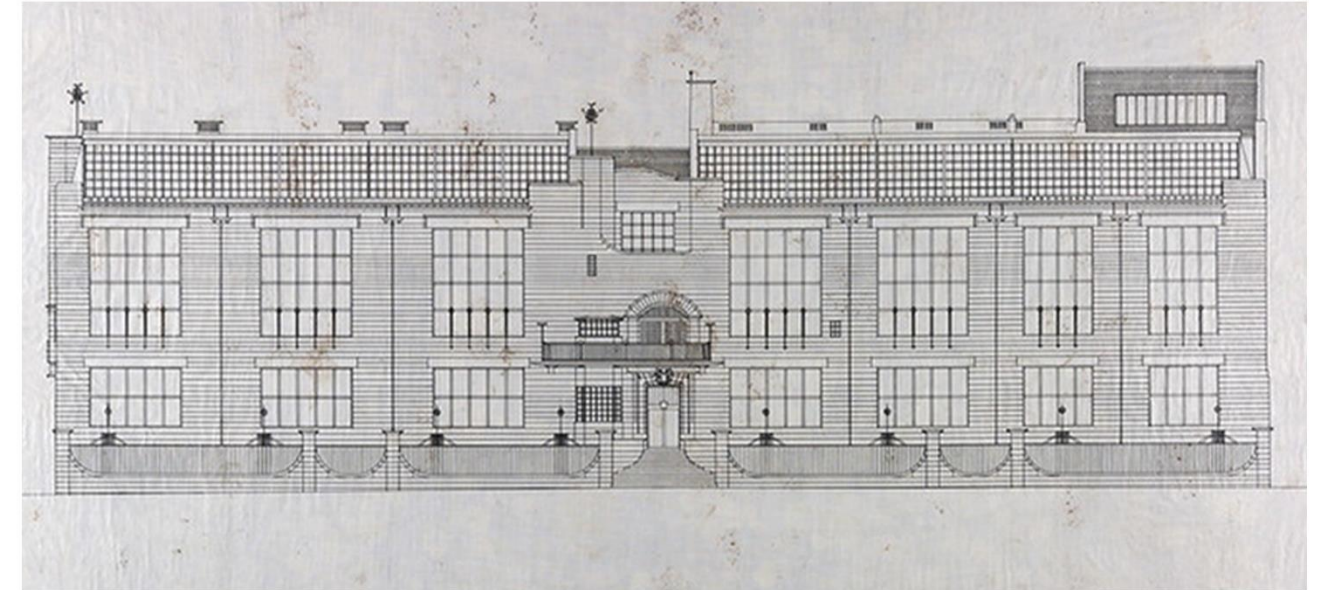


Fig. 07: Charles R. Mackintosh. Escuela de Arte de Glasgow. Alzado principal. 1897-1909.



Fig. 08: Charles R. Mackintosh. Hill House. Glasgow. 1902-1903.



Fig. 09: Charles R. Mackintosh. Willow Tea Rooms. Glasgow. 1904.

En Viena, el Art Nouveau se trata del movimiento con más interés desde su pasado medieval. Los arquitectos de este movimiento van a realizar nuevas edificaciones tanto en el centro de la ciudad como en el "ring"⁶, destacando a Joseph María Olbrich (1867-1908), quien crearía:

- **Edificio de la Secession** (1898) (Figura 10). Edificio de exposiciones de muchos artistas del momento. En la cubierta se observan cuatro elementos verticales y una esfera creada a base de hojas de laurel doradas, que simbolizan el poder, como en la antigua Grecia. Como ornamento y decoración, además de lo citado anteriormente, destacan las cabezas de las Gorgonas, tres mujeres con pelo de serpiente, y el texto Ver-Sacrum⁷, escrito en relieve y en dorado.

Otto Wagner (1841-1918), con obras como:

- **Estación de Metro Karlsplatz** (1898) (Figura 11). Las formas que emplea se recrean en las arquitecturas reales, combinando el hierro y la piedra, además del vidrio. Wagner decide llevar a cabo una decoración aplanada, con el uso del dorado en las zonas escultóricas.
- **Estación de Metro de Schönbrunn** (1894-00). Estación elevada, construida en piedra y hierro. Se realiza el remate de un pabellón rococó, pudiendo hacer alusiones a un palacio o una estación dedicada a la realeza austriaca.
- **Majolikahaus** (1898-99) (Figura 12). Alzado que cuenta con rejeras y balconadas labradas, con un friso de elementos ornamentales, un revestimiento floral a base de una cubrición decorada en mayólica, cerámica esmaltada.
- **Caja Postal de Ahorros de Viena** (1903-06) (Figura 13). El revestimiento de la fachada y del interior se compone a base de placas de mármol sustentadas con pernos de cobre, que sirven como decoración. En el interior se combina hierro y cristal, creando una bóveda que permite la entrada de luz, sustentada por columnas de hierro.
- **Iglesia de Saint Leopold** (1905-07). Fachada que cuenta con un pórtico y cuatro columnas flanqueadas por cuatro ángeles, labrados y rematados en bronce dorado. La fachada se reviste con placas de mármol sustentadas con pernos de bronce, y rematada en la parte superior por una cenefa de guirnaldas de bronce. La cúpula está decorada con escamas metálicas doradas.

⁶ El "ring" de Viena es el vacío entorno a la muralla, tratándose del ensanche de la ciudad del Siglo XIX.

⁷ Se trataba de la revista del grupo de artistas vieneses. Cabe destacar la portada para dicha revista que Gustav Klimt diseñó en 1898, en la que aparece nuevamente la cabeza de una Gorgona en el escudo de Atenea.



Fig. 10: Joseph María Olbrich. Edificio de la Secession. Viena. 1898.

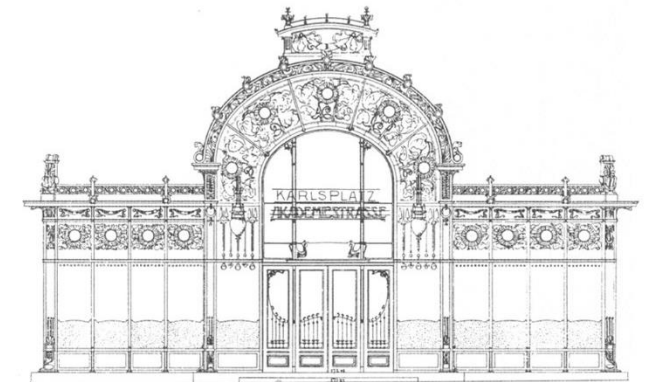


Fig. 11: Otto Wagner. Estación de metro de Karlsplatz. Alzado principal. Viena. 1898.



Fig. 12: Otto Wagner. Majolikahaus. Viena. 1898.

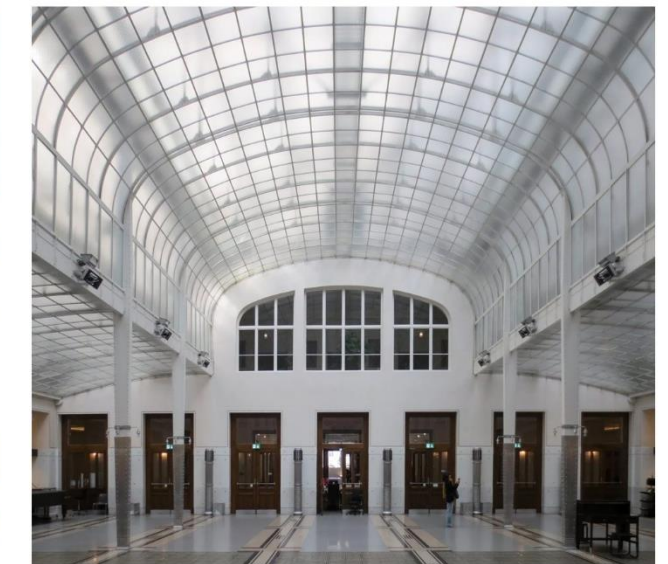


Fig. 13: Otto Wagner. Caja Postal de Ahorros de Viena. Viena. 1910-1912.

En París, podemos destacar como arquitecto precursor del Art Nouveau a Héctor Guimard (1867-1942), quien crearía obras como:

- **Castell Beranger** (1895-98) (Figuras 14, 15 y 16). Edificio situado en el distrito 16 de la ciudad de París, que alberga un total de 36 apartamentos. Se trata de la obra más reconocida del arquitecto. El uso de las formas orgánicas en piedra en las columnas que enmarcan el acceso, sumado a la sinuosidad de los elementos realizados en hierro, como la puerta principal, el vestíbulo, las barandas de los balcones, o elementos ornamentales en la fachada, son característicos del Art Nouveau. Al igual que en la mayoría de las obras pertenecientes a este movimiento, Guimard diseña tanto el edificio, fachada, distribución, etc., como el mobiliario, para darle una armonía orgánica al conjunto.⁸
- **Entrada de metro Abbesses** (1900-12) (Figura 17). Al igual que las obras del Art Nouveau, esta se aprovecha de las propiedades de los materiales más usados en este movimiento, como el vidrio, con el que se puede aprovechar y modular la entrada de luz, y el hierro que, gracias a su ductilidad y maleabilidad, se pueden crear formas orgánicas y naturales. Esta entrada ornamental, además de enmarcar el acceso al metro, servía como reclamo para que los habitantes de París utilizaran este medio de transporte, que era novedoso en aquella época.⁹

⁸ Apuntes historia del S.XX de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Segundo Curso. Profesor Iván Rincón Borrego.

⁹ *Metro de París – Ficha, Fotos y Planos – WikiArquitectura.* (s.f.). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/metro-de-paris/>

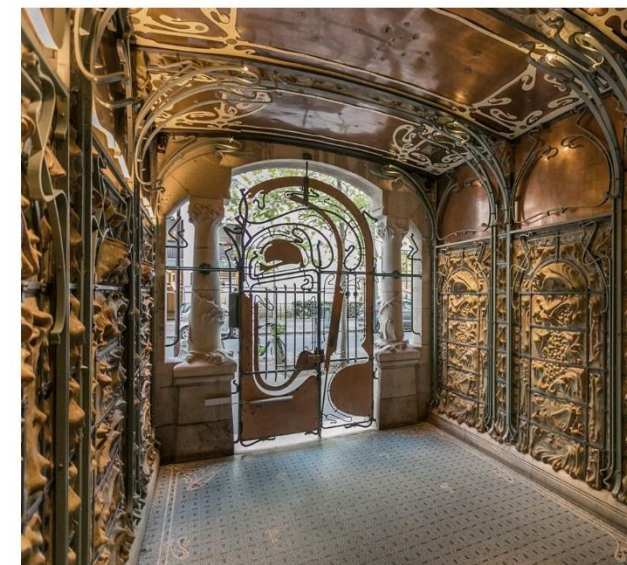


Fig. 14: Héctor Guimard. Castell Beranger. París. 1895-1898. Pasadizo desde el exterior hacia el acceso.

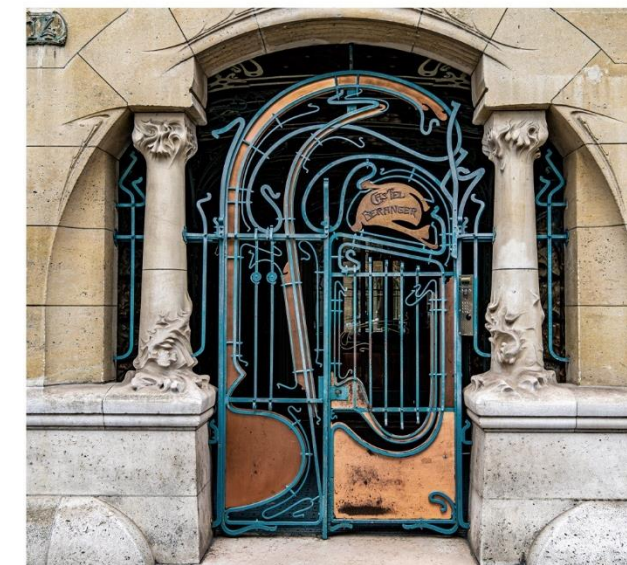


Fig. 15: Héctor Guimard. Castell Beranger. París. 1895-1898. Puerta de acceso al edificio.

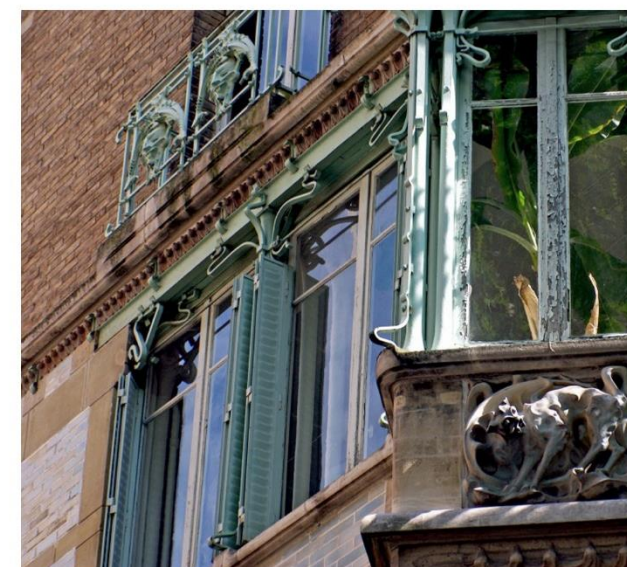


Fig. 16: Héctor Guimard. Castell Beranger. París. 1895-1898. Detalles de balconadas y carpinterías.



Fig. 17: Héctor Guimard. Estación de metro de Abbesses. París. 1900-1912. Fotografía del acceso.

Por último, en Barcelona se encontraba el foco de la burguesía española más desarrollada. En este momento se produce la aplicación del plan del Ensanche¹⁰, donde construyen jóvenes arquitectos de la nueva Escuela de Arquitectura de Barcelona. Los mayores representantes del Modernismo catalán fueron Antoni Gaudí, Luis Doménech i Montaner (1849-1923) y José Puig i Cadafalch (1867-1956).

De Doménech i Montaner podemos destacar:

- **Palau de la Música Catalana** (1905) (Figura 18). En este edificio, los elementos decorativos sobresalen del plano de la fachada, apareciendo elementos pertenecientes al gótico y diversas esculturas. En el interior, grandes cristalerías dispuestas a modo de lámpara aportan luminosidad al ambiente. Cabe destacar también la decoración artesanal representada en forma de mosaicos y trabajos cerámicos.

Por otro lado, destaca de Puig i Cadafalch:

- **Fábrica Casaramona** (1909-11). Este complejo, que a día de hoy compone el Caixaforum de Barcelona, posee una estructura abovedada cerámica, sostenida por pórticos de hierro. Los volúmenes situados en las esquinas sobresalen en altura con respecto a las zonas más bajas, pero, los elementos que marcan la verticalidad son las torres, siguiendo la visión formal almenada del conjunto. La decoración de este se realiza mediante la exposición de los elementos estructurales al exterior.¹¹

¹⁰ Propuesta urbana impulsada por Ildefonso Cerdá, aprobado en 1860, cuya estructura se basaba en el trazado de una malla o retícula simétrica, paralela y perpendicular a la costa. Gracias a esta trama se constituyeron las manzanas de la ciudad de Barcelona, modulares, achafanadas. Posada, M. (2015). *Plan Cerdá*. Universidad del Norte.

¹¹ Arquitectura Catalana. Cat. (2019, 18 de octubre). *Fábrica Casaramona – Arquitectura Catalana. Cat.* <https://www.arquitecturacatalana.cat/es/obras/fabrica-casaramona>



Fig. 18: Luis Doménech i Montaner. Palau de la música catalana. Barcelona. 1905.

2. Aproximación biográfica de Antoni Gaudí.

Antoni Gaudí i Cornell nace el 25 de junio de 1852 en Reus, Tarragona (Figura 19). Se cría dentro de una familia humilde, en la que su padre, sus abuelos e incluso uno de sus bisabuelos ejercen la profesión de caldereros¹²

Gaudí, siguiendo los pasos de su familia, se inicia en esta ocupación, lo que es una influencia decisiva en su futuro, ya que le ayudará a comprender el espacio, los volúmenes y, en definitiva, la forma. "Yo tengo esta cualidad de ver el espacio, porque soy hijo, nieto y bisnieto de caldereros. Mi padre era calderero; el abuelo, también; el bisabuelo, también; en casa de mi madre también eran caldereros; su abuelo era tonelero (que era lo mismo que calderero); un abuelo materno era marinero, que también son gente de espacio y situación. (...) Los caldereros abrazaban las tres [dimensiones], y eso crea, inconscientemente, un dominio del espacio que no todo el mundo posee."¹³

Por su entorno, Gaudí no se sentía parte de una clase social privilegiada, y por tanto su mentalidad le lleva a ser una persona disciplinada, constante y dedicada a su trabajo.

Recibe sus primeras enseñanzas en Reus, donde las materias de religión le marcarán y guiarán tanto su vida como su obra en un futuro. En la escuela primera y en la secundaria, participa tanto en la revista escolar, como en alguna obra de teatro del colegio, donde ya se podía apreciar su talento artístico en sus dibujos.

En 1869 se traslada a Barcelona, donde cursará el ciclo preparatorio de Arquitectura en el Instituto de Enseñanza Media. Cuatro años después, en 1873, estudiará las nociones básicas de la Arquitectura en la Facultad de Ciencias de la Universitat de Barcelona, lo que le dará acceso a la Escola Provincial d'Arquitectura de Barcelona, cuya metodología se guía por la École Polytechnique francesa¹⁴.

¹² Fabricante o vendedor de calderas para cocer u otros utensilios similares. (S/f). RAE.es. Recuperado el 25 de enero de 2023, de <https://dle.rae.es/calderero>.

¹³ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.

¹⁴ "Esta prestaba especial atención a las ciencias aplicadas a la construcción, a las tecnologías y al conocimiento histórico y estético de los lenguajes arquitectónicos". Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.



Fig. 19: Artur Aldomà. Escultura de Antoni Gaudí en su niñez. Reus. 2002.

En esta escuela tendrá diversos profesores que le guiarán y marcarán para el resto de su carrera. Algunos a destacar son Francisco de Paula del Villar, profesor de Composición y Teoría de la Arquitectura, con quien colaborará más adelante; Joan Torras, quien le enseñará la aplicación de los metales a la Arquitectura; Antoni Rovira i Rabassa, profesor de Geometría Descriptiva y Estereotomía¹⁵; y Lluís Domènech i Montaner, quien le enseñará las principales corrientes arquitectónicas centroeuropeas.

Gaudí era un estudiante irregular, repetidor de varias asignaturas, pero ninguna de ellas del campo del dibujo, de los proyectos o de las matemáticas, ya que en estos ámbitos era un estudiante ejemplar.

A día de hoy aún se conservan algunos de sus dibujos en el archivo de la Escola d'Arquitectura, entre los que destaca su proyecto de reválida de 1877, que consistía en un Paraninfo para la Universidad Central de Barcelona (Figuras 20, 21 y 22).

Debido a sus grandes dotes en la arquitectura, antes de finalizar sus estudios universitarios, trabaja para diversos estudios, donde realizaría proyectos gracias a los que se dará a conocer antes de obtener el título de arquitecto el 15 de marzo de 1878¹⁶. Tras esto, Gaudí decide ampliar sus conocimientos relacionados con las artes y oficios, ya que les daba suma importancia a los elementos decorativos dentro de la arquitectura.

La habilidad y dominio que poseía en relación a los procesos manuales dieron pie a su colaboración con dos grandes artesanos, el escultor y modelista Llorenç Matamala y Eduard Punfí, un especialista en las artes e industrias artísticas, más específicamente en el uso del hierro, madera y vidrio.

En junio de 1878, el Ayuntamiento de Barcelona le encarga a Gaudí que diseñe unas farolas (Figura 23). Estas eran de dos tipos; unas poseían 6 brazos, de las que todavía se conservan ejemplares en la Plaça Real y en la Pla de Palau; y las otras estaban formadas por tres brazos.

Fue también en este año cuando Gaudí presentó una vitrina en la Exposición Universal de París, la cual había sido encargada al arquitecto por un comerciante de guantes, Esteve Cornellá. Allí, Eusebi Güell, quien sería el gran mecenas de Gaudí, quedó impresionado ante esta vitrina, pidiendo así, tras la Exposición, que le presentasen al autor de aquel objeto.¹⁷

¹⁵ Arte de cortar piedras y otros materiales para utilizarlos en la construcción. (s/f). Rae.es. Recuperado el 25 de enero de 2023, de <https://dle.rae.es/estereotomia>.

¹⁶ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.

¹⁷ *La relación de Güell con Gaudí*. (s/f). Palauguell.cat. Recuperado el 25 de enero de 2023, de <https://www.palauguell.cat/es/la-relacion-de-guell-con-gaudi>.



Fig. 20: Antoni Gaudí. Paraninfo: detalle. 1877.

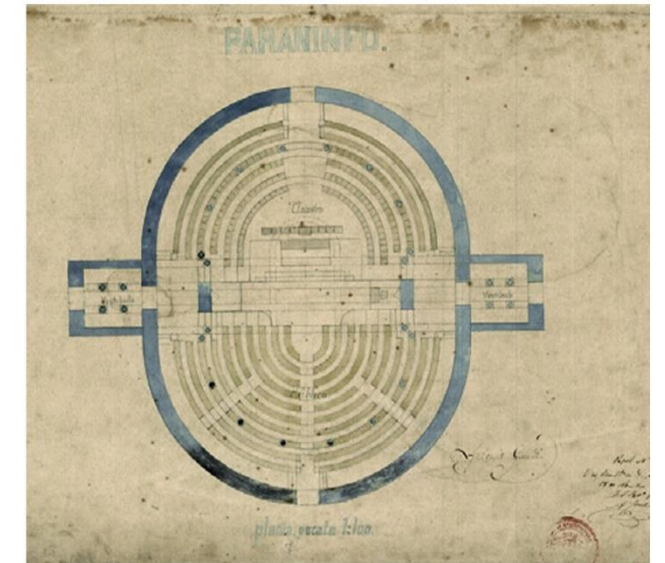


Fig. 21: Antoni Gaudí. Paraninfo: planta. 1877.



Fig. 22: Antoni Gaudí. Paraninfo: sección transversal. 1877.



Fig. 23: Antoni Gaudí. Farolas de la Plaça Real. Barcelona. 1878.

Según Daniel Giralt-Miracle en el libro "Gaudí Esencial"¹⁸, la carrera arquitectónica de Gaudí suele dividirse en dos fases diferenciadas. La primera de ellas se caracteriza por la voluntad de contraponerse al academicismo y el eclecticismo medieval preponderante en Europa, dando a conocer una expresividad formal y espacial propia, incorporando incluso referencias al arte hispanomusulmán. Este período comienza en 1883, con la construcción de la Casa Vicens (Figura 24), hasta 1888, cuando proyecta el Palau Güell.

La segunda fase de la obra de Gaudí coincide con la eclosión del Modernismo en Cataluña y otras capitales europeas, dando lugar a que el arquitecto mostrase una evolución frente a las referencias provenientes de estilos históricos, además del uso de estructuras plásticas, con formas orgánicas, dando lugar a la que luego sería reconocida como estética gaudiniana.

Este ciclo comienza de forma aparente con la Iglesia de la Colonia Güell, pasando por la fachada del Nacimiento de la Sagrada Familia, la torre de Bellesguard (Figuras 25 y 26), el Park Güell, y dándose de forma muy notoria en la Casa Batlló, la Casa Milà y en las escuelas de la Sagrada Familia.

Una de las singularidades de la obra de Gaudí es el uso de la forma, en la que se apoya en todos los aspectos de la arquitectura, como la espacialidad interior, la visión exterior de los edificios, la estructura, etc.

Trata de utilizar formas estudiadas por las ciencias matemáticas, pero que geoméricamente puedan encontrarse en la naturaleza, formas sinuosas, orgánicas, que proporcionan transiciones fluidas entre espacios o entre interior y exterior.

El uso de la forma de Gaudí también se basa en el estudio de la relación de esta con el aprovechamiento del material. Utiliza formas geométricas estructurales idóneas para cada caso, dependiendo de las solicitaciones a soportar, dependiendo del uso o del nivel del edificio en el que se encuentre. Otro resultado que busca Gaudí con estas formas estructurales es la apariencia que darán estas al exterior, las formas orgánicas que pueden ser llevadas a fachada, cubierta, elementos decorativos, etc.

¹⁸ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.



Fig. 24: Antoni Gaudí: Casa Vicens. Barcelona. 1883-85.



Figuras 25 y 26: Antoni Gaudí: Torre de Bellesguard. Barcelona. 1900-09.

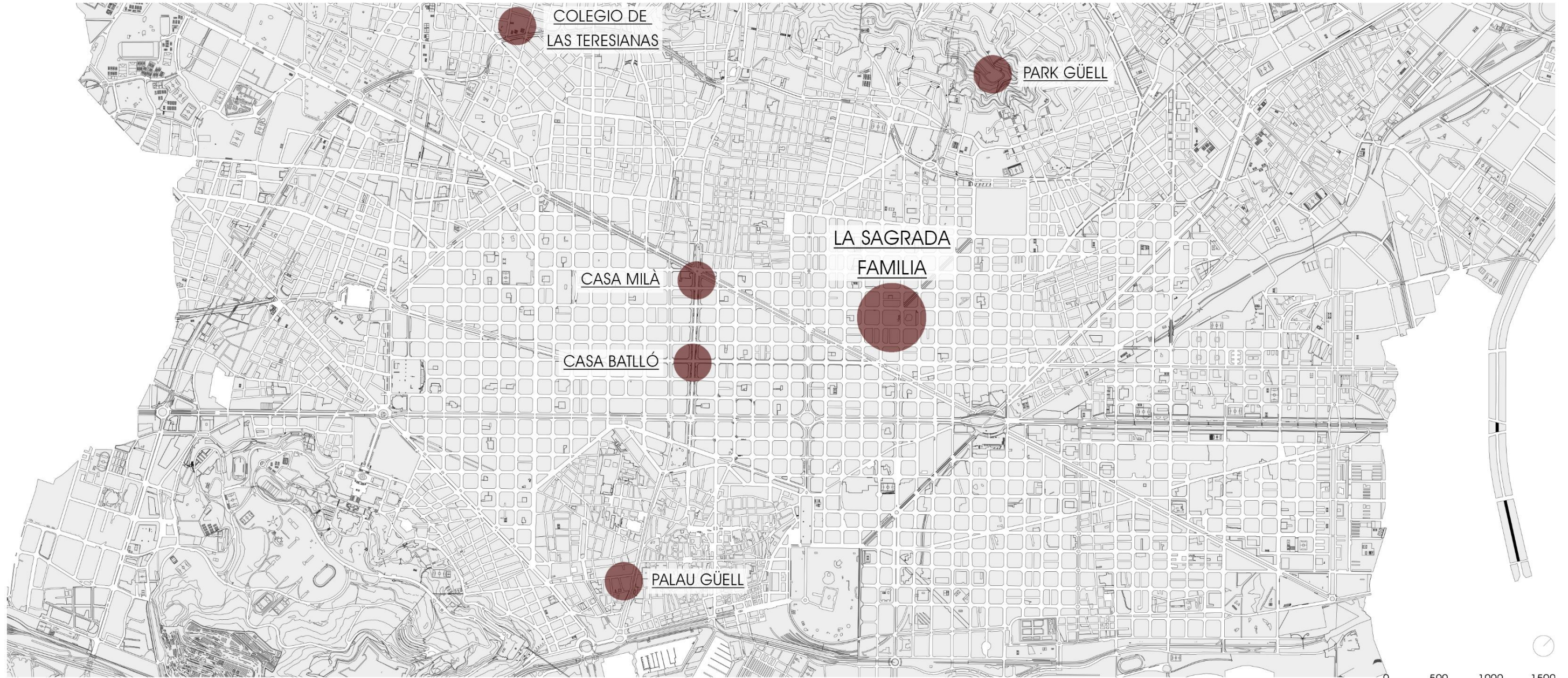


Fig. 27: Plano urbano de Barcelona, con la localización de las obras a analizar. Elaboración propia.

3. Estudio de la forma: La Catenaria

El arco catenario o catenaria, es la curva que forma una cadena al ser sostenida desde dos puntos, soportando únicamente su peso propio, cuya ecuación es " $y = a \cosh (x/a) = a (\exp (x/a) + \exp (-x/a)) / 2$ ". Las formas inversas de estas cadenas traccionadas, es decir, los arcos que soportan cargas a compresión, pueden sostener las mismas cargas, mientras posean la misma longitud.¹⁹(Figura 28)

El desarrollo científico del uso de la catenaria no llegó hasta 1676, cuando Robert Hooke²⁰ se plantea cuál sería la forma ideal de un arco en cuanto al comportamiento de estos a la hora de sustentar diversas cargas. Tras diversos estudios, el físico inglés afirmó que "Del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido, se sostendrá el arco rígido."

En 1704, Bernoulli matizará la afirmación de Hooke, sosteniendo que la forma ideal de arco se da a partir de una catenaria invertida y que "si los arcos de otras formas se sostienen es porque hay una catenaria en su interior"²¹. Entre 1830 y 1840, los ingenieros Moseley y Méry desarrollan casi de manera simultánea el concepto de línea de empujes²², la cual debe situarse dentro del arco.

Los arcos funiculares empezaron a utilizarse en el último cuarto del siglo XIX, por su comodidad y el poco desperdicio de materiales que genera, ya que estos arcos catenarios o funiculares comparten forma con su línea de empujes, por lo que no hay material sobrante en su construcción. Según Claudi Alsina y Josep Gómez Serrano: "Gaudí fue el primero en descubrir que la simetrización de la catenaria daba lugar a uno de los arcos más perfectos: el que se aguanta a sí mismo".²³

En este apartado se explicará el uso de estos elementos estructurales en la obra de Gaudí, dándole sentido al uso de la estructura en sí, como relacionándola con el espacio que alberga y la visión exterior que proporciona. (Figura 27).

¹⁹ Gómez-Serrano, J. (2002). *Gaudí. La búsqueda de la forma: Espacio, geometría, estructura y construcción*. (D. Geralt-Miracle, Org.), Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunweg Editores S. A. (Obra original publicada en 2002).

²⁰ "(Freshwater, Inglaterra, 1635- Londres, 1703). Físico y astrónomo inglés. Aunque principalmente es conocido por sus estudios sobre la elasticidad, fueron notables asimismo sus descubrimientos astronómicos y sus aportaciones a la biología." *Biografía de Robert Hooke*. (s. f.). <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hooke.htm>.

²¹ Fernández, S. H. (2003). El cálculo de estructuras en la obra de Gaudí. *Ingeniería Civil, ISSN 0213-8468, No. 130, 130*, 121-134.

²² Véase: H. Moseley "On the stability of arches." *Cambridge Philosophical Transactions*, 5, 1833 y "On the equilibrium of a system of bodies in contact." *Cambridge Philosophical Transactions*, 6, 1837. E. Méry "Sur l'équilibre des voûtes en berceau." *Annales des Ponts et Chaussées*, 1840.

²³ Gómez-Serrano, J. (2002). *Gaudí. La búsqueda de la forma: Espacio, geometría, estructura y construcción*. (D. Geralt-Miracle, Org.), Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunweg Editores S. A. (Obra original publicada en 2002).



Fig. 28: Antoni Gaudí. Maqueta funicular de la Sagrada Família, expuesta en el desván de la Casa Milá.

3.1. Casa Batlló. Barcelona, 1904-1906.

Gaudí asume la rehabilitación, ampliación y modernización de este edificio construido en 1877 por Emilio Sala Cortés, quien había sido profesor del arquitecto. El nuevo propietario del inmueble era Josep Batlló i Casanovas, industrial textil.

Para Gaudí, este edificio supuso un reto. El empeño e ilusión que puso el arquitecto para que tuviese impacto en el mundo de la arquitectura, hizo que este llegase a formar parte de la *Manzana de la Discordia*²⁴ (Figura 29). Decidió remodelar completamente la fachada del edificio preexistente, reordenó los patios interiores y añadió dos pisos más, dando lugar a un edificio de seis plantas, que se distribuyen en: planta sótano y planta baja de uso comercial, la planta primera o planta noble, y el resto de plantas destinadas a viviendas.

Desde el exterior se puede diferenciar la planta noble, ya que la fachada que corresponde a este nivel se cubre por grandes ventanales, divididos gracias a columnas con forma de huesos (Figura 30), por lo que el edificio ha sido llamado popularmente como *La Casa de los Huesos*²⁵. La fachada se compone por dos materiales: por un lado, la piedra que forma las balconadas y columnas, de un color liso, y por otro, una decoración más extravagante, llevada cabo gracias a un *trencadís*²⁶ de mosaico cristalino, de tonalidades azules, moradas, verdes, anaranjadas, que van tornando de un color u otro dependiendo de la posición del sol.

En el interior de la Casa Batlló se puede apreciar la atención a los detalles del arquitecto, ya que, gracias a que las paredes y las aperturas poseen formas orgánicas, la luz penetra en las estancias de forma única, variando a lo largo de todo el día. En la decoración y los elementos que componen en mobiliario o diferencian los espacios, se puede ver la fusión de elementos artísticos y naturales, una característica fundamental en la obra de Gaudí.

²⁴ "La llamada Manzana de la Discordia es el conjunto más famoso de edificios modernistas de Barcelona integrados en una sola fachada. Es la manzana situada en el Pg. de Gràcia entre las calles Aragó y Consell de Cent, y es una muestra de los contrastes de las distintas tendencias arquitectónicas del momento. En el nº 35 de esta calle nos encontramos con la casa Lleó Morera, de Domènech i Montaner, un poco más adelante, encontramos la Casa Amatller diseñada por Puig i Cadafalch y la Casa Batlló, obra de Gaudí." *La Manzana de la Discordia en Barcelona*. (s. f.). Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona. <https://casabatllo.es/antoni-gaudi/barcelona/manzana-discordia/>. Recuperado el 31 de enero de 2023.

²⁵ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.

²⁶ "Técnica creada por Antoni Gaudí. Proviene de "trençar", cuyo significado en catalán es romper. Se trata de la disposición de piezas cerámicas rotas, para componer fachadas o elementos decorativos. Al tratarse de polígonos irregulares, se adaptan a la curvatura característica de las obras de Gaudí." AULARTE. Aula contemporánea de arte y cultura. (2020, 4 junio). *CLIP- ¿QUÉ ES EL TRENCADÍS? Park Güell. Gaudí. AULARTE* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8400Qqz-85s>.



Fig. 29: Lluís Domènech i Montaner ; Josep Puig i Cadafalch; Antoni Gaudí. Manzana de la Discordia. Dibujo de alzado realizado por Cristina Figuerola. Barcelona.



Fig. 30: Antoni Gaudí. Detalle de fachada de columnas con formas óseas. Casa Batlló. Barcelona. 1904-06.

El elemento más notorio de la fachada es la coronación, ya que refleja las fantasías de Gaudí, haciendo referencia al lomo de un dragón, cuyas escamas están formadas por lascas cerámicas de varios colores, y se remata con una torre de forma cilíndrica, que hace alusión a la lanza con la que San Jorge mató al dragón²⁷. Este remate, a su vez, posee forma de cruz de cuatro brazos, lo que deja ver la devoción religiosa tanto del arquitecto como la tradición religiosa del país. (Figura 31)

En esta y otras obras de Gaudí, observaremos que el arquitecto presta especial atención al espacio destinado al desván, como si de una cámara protectora para el edificio se tratase. Para la Casa Batlló decide hacer dos alturas para este uso, siendo la primera destinada para los trasteros y la segunda, con menos superficie útil, para situar depósitos de agua. Ambos espacios se componen por una sucesión de 60 arcos catenarios, construidos a partir de ladrillos revestidos de yeso, lo que recuerda a la caja torácica de un animal²⁸ (Figuras 32 y 33).

El uso de la catenaria es meramente estructural en este caso. Como se explicaba anteriormente, es la forma idónea para sostener una cubierta con el mínimo desperdicio de material. La finalidad de Gaudí no es crear un espacio interior en el que se monumentalice la estructura, sino que esta forma orgánica es la que permite al arquitecto crear este remate similar al lomo de un dragón, logrando de esta forma exteriorizar la forma de la estructura que sustenta esta cubrición.

²⁷ *La leyenda de San Jorge y el dragón*. (2022, 19 abril). Historia.nationalgeographic.com.es. Recuperado 31 de enero de 2023, de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/leyenda-san-jorge-y-dragon_12574.

²⁸ *El interior. Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona*. (s. f.). Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona. Recuperado 1 de febrero de 2023, de <https://www.casabatllo.es/antoni-gaudi/casa-batllo/interior/>.



Fig. 31: Antoni Gaudí. Detalle de cubierta aludiendo al dragón. Casa Batlló. Barcelona. 1904-06.



Fig. 32 y 33: Antoni Gaudí. Fotografías actuales del interior del desván. Casa Batlló. Barcelona. 1904-06.

3.2. Casa Milà, "la Pedrera". Barcelona, 1906-1912.

Aunque popularmente este edificio de viviendas es conocido como "La Pedrera", cuyo significado en catalán es cantera, haciendo referencia a la cantidad desmesurada de piedra utilizada en su construcción, la Casa Milà se trata de un encargo realizado por parte de Pere Milà, quien, junto a su mujer, Roser Segimon, consideraron que Gaudí debía ser quien proyectase esta obra.

El edificio, situado en la esquina formada por la intersección del Paseo de Gracia y la Calle de Provenza, consta de sótano y semisótano, planta baja, cinco plantas de viviendas y una planta bajocubierta, abuhardillada. La distribución en planta se resuelve a partir de dos patios interiores, uno con forma circular y otro elíptico, los cuales están comunicados entre sí. (Figura 34)

En "La Pedrera", observamos un cambio estructural. Venimos de observar un edificio de viviendas donde la estructura está conformada por muros de carga, pero, en esta ocasión se opta por el uso de hierro laminado, tanto para la formación de los forjados como para el atado de estos a la fachada, permitiendo así que la distribución de las viviendas tuviese más libertad, dejando de lado la organización en crujeas que predominaban en los edificios de aquel entonces.²⁹ (Figuras 35 y 36)

La disposición de los núcleos de comunicaciones se reparte entre tres ascensores y tres escaleras. Gaudí quería dar mayor importancia a los ascensores, por lo que no hay ningún tipo de relación entre el espacio en el que apareces al desplazarte en ascensor, con el que apareces al moverte por las escaleras, las cuales se pretende que sean interpretadas como auxiliares o de servicio³⁰.

En relación a la visión de la fachada de la Pedrera, se observan diversas barandas realizadas en forja, derivadas de hierros reciclados. En la azotea, para dotar de continuidad a la fachada, Gaudí decide hacer las barandas de obra con formas sinuosas, siendo esta sinuosidad más leve en las que están de cara al mar, y más aguda en las que están de cara a la montaña³¹.

²⁹ Navascués Palacio, P. (1993). *SUMMA ARTIS. Historia general del Arte: Vol. 35. ARQUITECTURA ESPAÑOLA (1808-1914)*. ESPASA Calpe, S. A. (Obra original publicada en 1993)

³⁰ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.

³¹ Refiriéndose a las Montañas de Ordal, situadas al suroeste de Barcelona, prácticamente continuando la retícula del Plan Cerdà.

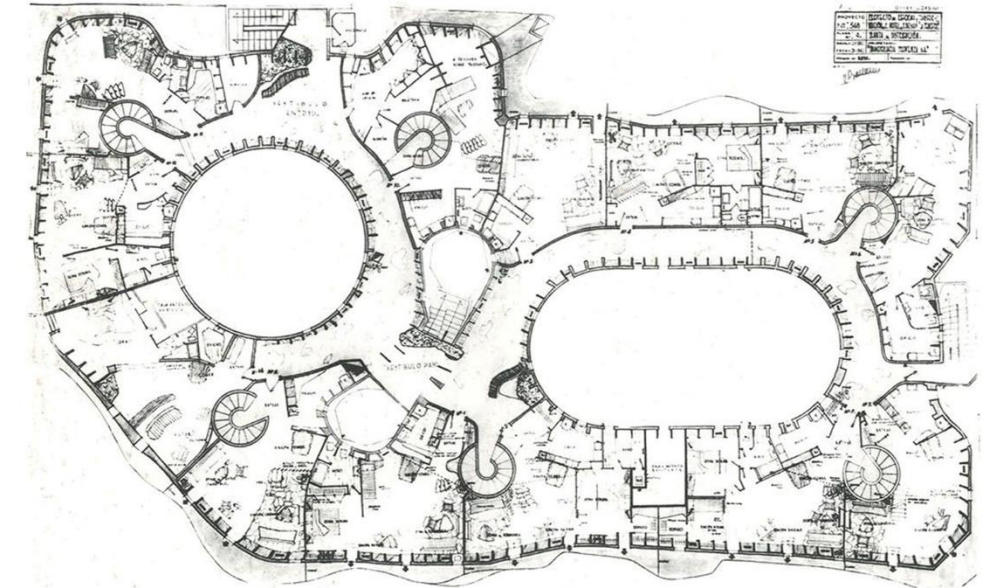


Fig. 34: Antoni Gaudí. Plano de planta tipo. Casa Milà. Barcelona. 1906-12.



Fig. 35 y 36: Fundació Catalunya La Pedrera. Vistas de maqueta de "La Pedrera". Explicación de fachada libre.



Fig. 37: Antoni Gaudí. Lavandería comunitaria en desván. Casa Milá. Barcelona. 1906-1912.



Fig. 38: Antoni Gaudí. Detalle de arcos catenarios en desván. Casa Milá. Barcelona. 1906-1912.

Uno de los espacios más interesantes de este edificio es el que conforman la buhardilla y la azotea. En el momento en el que se proyectó la obra, este espacio no poseía ningún tipo de interés en la gran mayoría de edificios, pudiendo decir que era un lugar de almacenamiento, situado en tierra de nadie, sin tener ningún tratamiento especial o algún interés a la hora de proyectarlo. No obstante, Gaudí decidió mostrar interés por este desván, determinando que éste actuase como cámara aislante del edificio, coronándolo con la cubierta, que lo monumentalizaría. (Figuras 37 y 38)

Para llevar a cabo su idea, Gaudí decide modelar este espacio mediante una sucesión de arcos catenarios de ladrillo. Recordemos que, al estar en la última planta, la forma idónea de esta curva es la catenaria, puesto que sigue la forma que determina el diagrama de fuerzas que resiste en este caso. Al igual que en la Casa Batlló, esta estructura sirve para poder moldear la cubierta, dotándola de la sinuosidad tan característica de las obras de Gaudí, haciendo un alarde al exterior de sus conocimientos tanto estructurales como compositivos. Destaca también el espacio creado entre la fachada y la cubierta, un camino de ronda, referencia a los antiguos castillos medievales, al adarve³², como lugar para visualizar los alrededores. (Figura 39)

³² Muro de una fortaleza. Camino situado en lo alto de una muralla, detrás de las almenas; en fortificación moderna, en el terraplén que queda después de construido el parapeto. Recuperado el 28 de enero de 2023, de <https://dle.rae.es/aldarve>.



Fig. 39: Antoni Gaudí. Aldarve creado entre la fachada y la cubierta a modo de espacio corredor. Casa Milá. Barcelona. 1906-1912.

4. Estudio de la forma: de la Catenaria a la Parábola

Estudiando el diagrama de fuerzas que sustenta un arco, la forma idónea de que se soporte a sí mismo sin ninguna carga puntual o distribuida a mayores, es la catenaria. Ahora para Antoni Gaudí surgía un nuevo problema: descubrir cuál sería la forma más óptima para un arco que, además de su peso, tuviera que soportar una carga distribuida uniforme.

Para llegar a la respuesta, vamos a dar la vuelta al arco catenario, como si tuviéramos una cadena colgando de sus dos extremos. (Figura 40) De esta cadena, colgaremos una tabla, cuyo peso está idealmente distribuido de manera uniforme por toda su superficie. Este es el caso de los puentes colgantes, cuyos cables sostienen la parte del puente por donde se puede circular.³³

La forma que adopta la cadena cuando se le somete al esfuerzo de sostener una carga distribuida uniforme es la parábola, resistiendo únicamente esfuerzos axiales y momentos flectores. Realmente, para que esta forma se diese, la carga distribuida tendría que estar repartida perfectamente, algo que es prácticamente imposible, por lo que las cargas se dividirían en cargas puntuales de diferente magnitud, dando lugar al arco funicular. (Figura 41)

Cuando un gran peso central supera al resto de cargas (suponiéndose estas simétricas), el arco funicular se torna a apuntado en el centro; cuando las cargas son mayores en los laterales del arco, éste pasa a ser más similar al carpanel o elíptico. (Figura 42)³⁴

³³ *Productos*. (s. f.). Home – GUNT Gerätebau. <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-y-diseno-mecanico/estatica/puentes-vigas-arcos-cables/arco-parabolico/022.11016/se110-16/glct-1:pa-150:ca-8:pr-1276>

³⁴ Gómez-Serrano, J. (2002). *Gaudí. La búsqueda de la forma: Espacio, geometría, estructura y construcción*. (D. Geralt-Miracle, Org.), Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunweg Editores S. A. (Obra original publicada en 2002).

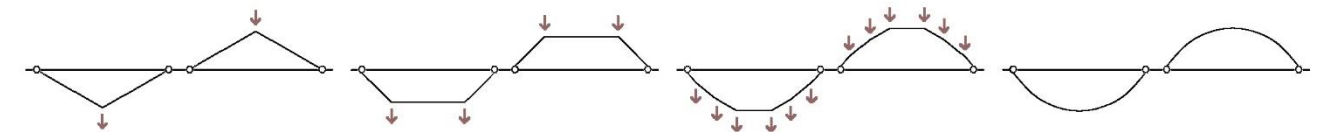


Fig. 41: Evolución de arco funicular a estado ideal de catenaria. Elaboración propia.



Fig. 40: Cadena colgando al ser sostenida por dos puntos, dando lugar a una catenaria.



Fig. 42: Arcos carpanel en piso superior del Palacio de los Condes de Miranda. Peñaranda de Duero.

4.1. Escuela de las Teresianas. Barcelona, 1888-1889.

En 1887, el padre Enric d'Ossó³⁵ decide que se proyecte en la parte alta de Barcelona un edificio que tuviera las funciones de convento, colegio e internado, y decide encomendarle esta tarea a Joan Baptista Pons i Trabal. No obstante, a pesar de que este fue el arquitecto inicial, y fue quien comenzó la obra de este edificio religioso, en 1888, por causas diversas, se opta por confiarle la obra a Antoni Gaudí, por su reconocida fama y sus vínculos tan estrechos con la Iglesia.³⁶

Cuando Gaudí se une a la obra, los cimientos y la primera planta del edificio ya habían sido construidos, por lo que tuvo que asumir que la planta del edificio tendría la forma que había elegido Pons i Trabal, en este caso, sencilla y rectangular. Además de esto, ya que la congregación de las Teresianas no poseía grandes cantidades de dinero, el arquitecto también tuvo que ceñirse a un ajustado presupuesto, utilizando materiales de bajo costo.

Según Giralt-Miracle *"En realidad todo el inmueble es una metáfora arquitectónica del famoso libro Las moradas³⁷ de santa Teresa, en el que esta religiosa abogaba por la unión mística y la vida interior."*³⁸

La distribución del edificio se compone por una crujía central y dos laterales, que, junto con el patio interior, se coronan mediante una sucesión de arcos parabólicos (Figura 43). El uso de esta tipología de arcada se utiliza ya que estas estancias no se encuentran en la planta superior, sino que poseen más plantas por encima, teniendo que soportar también el peso de estas, por lo que, como se explicaba anteriormente, la forma idónea para que un arco se sustente así mismo además de una carga distribuida uniforme es la parábola.

³⁵ "San Enrique de Ossó y Cervelló, nacido en Vinebre en 1840, y que, en 1876, fundó la Compañía de Santa Teresa de Jesús. En 1979, 83 años después de su muerte, Enric d'Ossó fue beatificado, y en 1993 fue santificado, lo que le convirtió en el primer santo de la Ribera d'Ebre." Casa Museu Enric d'Ossó | Vinebre (s. f.). <https://turismevinebre.cat/que-visitar/casa-museu-enric-dosso-cervello/>

³⁶ "Gaudí vivió en un ambiente familiar piadoso, recibió una buena educación religiosa en el colegio de los PP. Escolapios. [...] hasta convertirlo en un gran cristiano, y se inflamó más tarde, convirtiéndolo en un asceta." Bargós Massó, J. (1974). *Gaudí, el hombre y la obra* (O. de los Ríos Magriñá, trad.). Gráficas Condal. Corchetes de autor.

³⁷ Obra de Teresa de Jesús, escrita en 1577 como guía para el desarrollo espiritual, a través de la oración. También recibe el nombre de Castillo interior, y se divide en 7 apartados, denominado cada uno de ellos como moradas.

³⁸ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.



Fig. 43: Antoni Gaudí. Sucesión de arcos parabólicos en primera planta. Colegio de las Teresianas. Barcelona. 1888-1889.

NAVES LATERALES ■
NAVE CENTRAL ■
PATIO INTERIOR ■

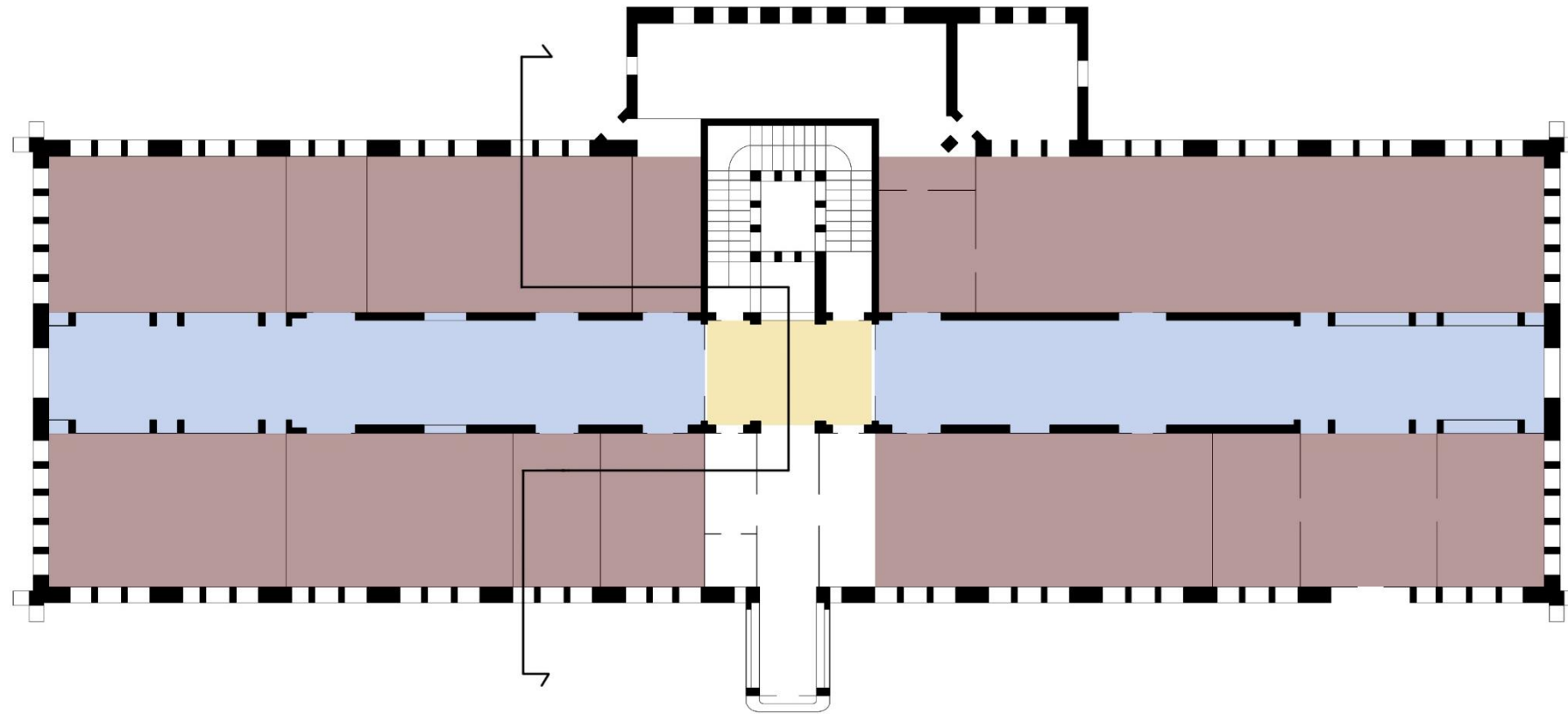


Fig. 44: Antoni Gaudí. Plano de planta baja del Colegio de las Teresianas. E. 1/250. Elaboración propia.

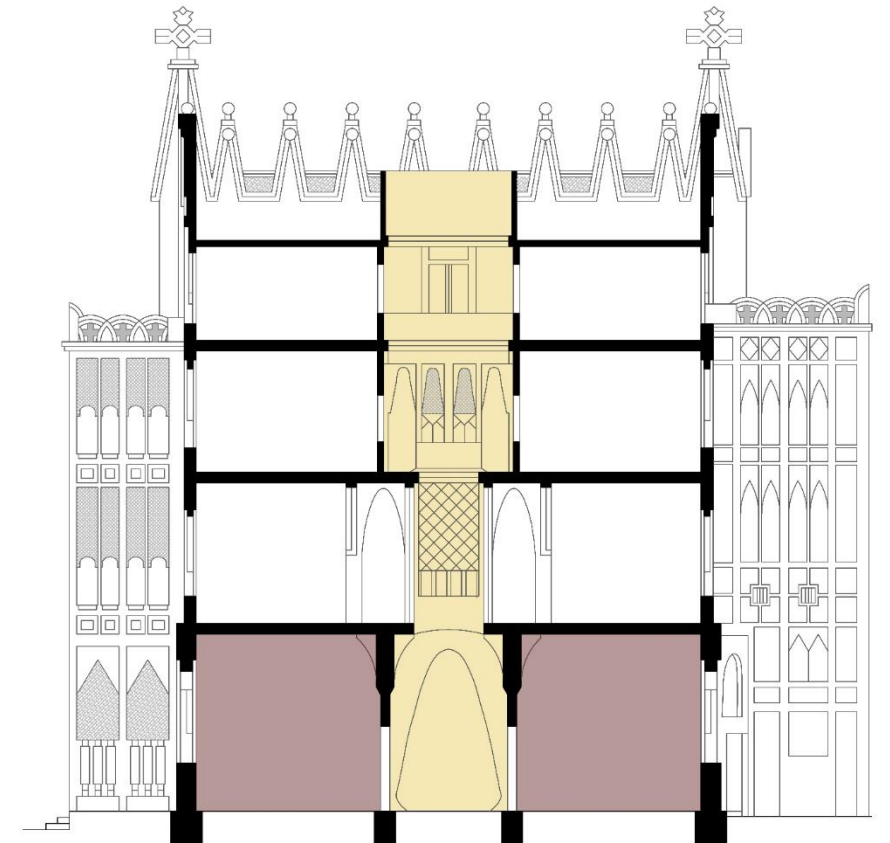


Fig. 45: Antoni Gaudí. Plano sección del Colegio de las Teresianas. E. 1/250. Elaboración propia

El edificio posee una estructura peculiar, generándose este a partir de un patio central al aire libre, que permite la entrada de luz y aire en todos los espacios interiores. Aparece en esta obra una dicotomía, ya que el aspecto exterior del edificio es duro, sobrio, compacto, realizado por unos muros de mampostería de ladrillo de gran espesor, mientras que, en el interior del edificio, esa luz que entra gracias al patio genera espacios acogedores, tranquilos, serenos, que invitan a la concentración y meditación. (Figura 46)

Otra dualidad que destacar entre el interior y el exterior es la austeridad de los espacios interiores, la calidez de la luz que penetra en el interior del edificio, los colores lisos, las paredes sin ornamento, mientras que en el exterior se observa una gran riqueza decorativa, donde se trabaja la forja y la cerámica, dejando ver imágenes como los anagramas de Cristo (JHS) o de las teresianas, entre otros. Destaca especialmente la puerta de acceso al edificio, decorada con formas geométricas y otras vegetales, además de los símbolos de la orden religiosa³⁹. (Figura 47)

A pesar de que los paramentos exteriores del edificio son regulares, estos se rompen en la fachada principal, de la que irrumpe un volumen prismático, que sirve de pórtico de entrada para la planta baja, y de mirador para el resto de pisos. (Figura 48)

En esta obra, los arcos utilizados por Antoni Gaudí le dan un aspecto monumentalizador a los espacios interiores, recalcando la verticalidad, ayudando a la entrada de luz cenital, y con ello, dándole un ambiente sereno, dedicado al culto, mostrando el respeto del arquitecto por la religión y su devoción por ella.

³⁹ "El Monte Carmelo, la Cruz, la estrella de ocho puntas, el Corazón de Jesús y el Corazón de Santa Teresa." *Colegio de las Teresianas | Barcelona Modernista y Singular*. (s.f.). Barcelona Modernista y Singular | Descubre lugares modernistas y singulares. <https://modernismobarcelona.com/lugares/colegio-de-las-teresianas/>



Fig. 48: Antoni Gaudí. Volúmen que sobresale de fachada. Colegio de las Teresianas. Barcelona. 1888-1889.

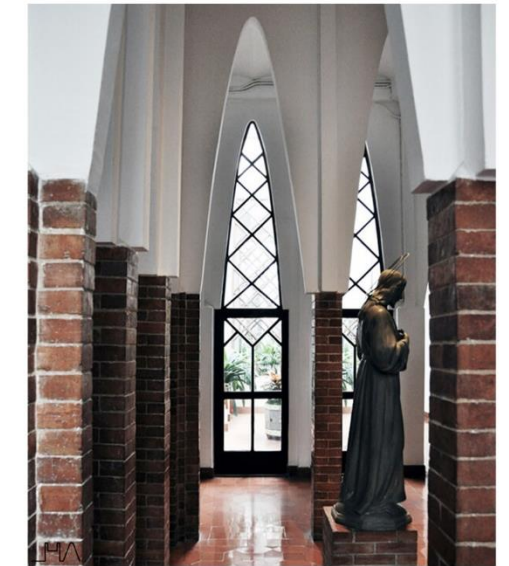


Fig. 46: Antoni Gaudí. Espacios de reflexión. Colegio de las Teresianas. Barcelona. 1888-1889.

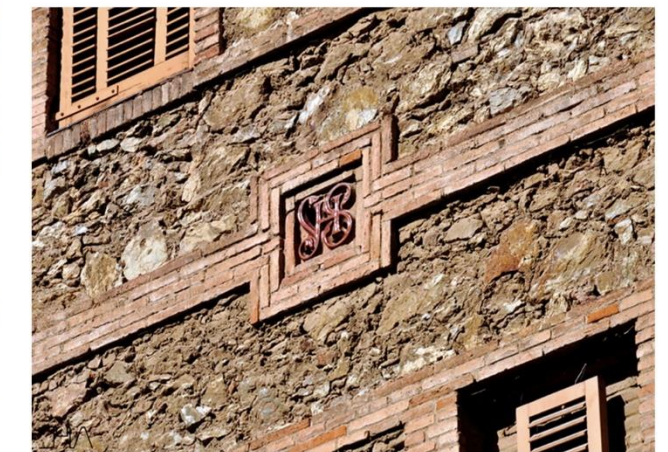


Fig. 47: Antoni Gaudí. Detalle de fachada - JHS. Colegio de las Teresianas. Barcelona. 1888-1889.

5. Estudio de la forma: la Parábola Cúbica

Tanto la catenaria como la parábola son formas bidimensionales, planas. En el caso de la catenaria, si quisiéramos crear una forma tridimensional a partir de ella, deberíamos rotarla en torno a un eje central, dando lugar a una catenaria cupuliforme. Si la sucesión de catenarias que conforman esta cúpula se viesen afectadas por una carga uniformemente distribuida, se transformarían en parábolas, haciendo que esta catenaria cupuliforme se transformase en un paraboloides de revolución.

No obstante, según los estudios realizados ya en el siglo XVIII por Robert Hooke, la geometría óptima para la realización de una cúpula es la parábola cubica, ya que esta tiene la propiedad de que todas las secciones transversales a su eje son parábolas iguales, lo que ayuda a distribuir uniformemente las cargas de peso y tensión.⁴⁰

Si comparamos la catenaria, la parábola y la parábola cubica (Figura 49), podemos observar que son tres curvas totalmente diferentes. Si nos acercamos al origen, observamos que la parábola cubica es más abierta en su base, pero al ir avanzando, se cierra hasta el punto en el que se vuelve prácticamente vertical, acercándose cada vez más al eje. Por otro lado, la catenaria parece en su origen un poco más cerrada que la anterior, pero podemos observar cómo sus ramas evolucionan entre las de las otras dos curvas. Por último, la parábola en un principio parece la más cerrada de las tres, pero finalmente, sus ramas acaban siendo las más abiertas de las tres. (Figura 50)

Antoni Gaudí estudia estas formas, sin basarse únicamente en los cálculos matemáticos, sino que estudiaba y analizaba las diferentes cargas que debería soportar la estructura, determinando, en función de esto, la altura y posición de los arcos, para así optimizar la resistencia y estabilidad del conjunto.

⁴⁰ En su obra "A Description of Helioscopes, and Some Other Instruments", publicada en 1676, Hooke describe los principios matemáticos y mecánicos detrás de la construcción de cúpulas en forma de parábola cúbica.

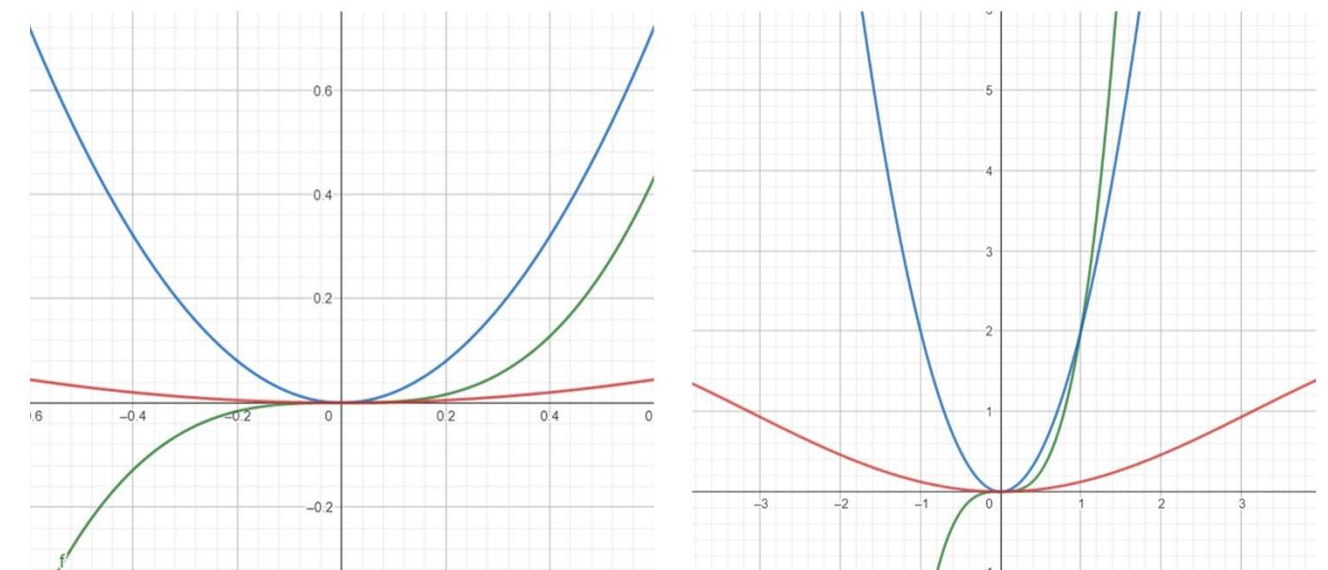


Fig. 49 y 50: Comparación entre parábola (azul), parábola cúbica (verde) y catenaria (rojo). Uso de la función $\cos(x)$ como máxima similitud matemática a la catenaria. Elaboración propia.

5.1. Iglesia y Cripta de la Colonia Güell. 1898

La tarea que se le encomendó a Gaudí, fue crear un espacio de culto que armonizase la arquitectura de las viviendas de los trabajadores de la colonia con la zona arbolada que rodeaba el entorno, situado en una ladera de prominente inclinación, dato relevante, puesto que Eusebi Güell quería que las torres de este proyecto destacasen y sobresaliesen del entorno.⁴¹

Gaudí, ilusionado, se propuso llevar a cabo la que sería una de las obras que le ha situado en la historia de la arquitectura, debido al estudio de las cargas y al uso compositivo de estas formas. Para conseguir modelar las diversas cúpulas escultóricas que conformarían este templo religioso, el arquitecto realizó maquetas en su estudio con cadenas (Figura 51), de las que colgaría pequeños sacos de arena, representando las cargas puntuales que deberían soportar las diferentes cupulas.

El método empleado por Gaudí para consolidar la forma del edificio es, como en diversas obras del arquitecto, el uso de una compleja maqueta funicular, creada a partir de hilos suspendidos del techo, los cuales se ven sometidos a tracciones provocadas por pesos puntuales, los cuales se refieren a las cargas de las diferentes partes del edificio.

Este proceso creativo posee gran singularidad en la historia de la arquitectura, puesto que ningún edificio destacado hasta el momento había sido creado de esta forma, y menos aún, siguiendo la forma de un conjunto de líneas funiculares trenzado en tres dimensiones. Para Antoni Gaudí, los funículos serían utilizados de forma intencionada con la finalidad de recrear espacios, que serían trasladados al edificio.

Otro aspecto a destacar de esta obra es la inclinación de los dos pilares basálticos de la entrada. Para el arquitecto, la disposición de dos pilares verticales en el centro de su obra, no correspondían a la expresividad que quería alcanzar, por lo que decidió que estos se inclinasen, gracias a los empujes desequilibrados de los arcos localizados en la parte superior de estos pilares.

⁴¹ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.



Fig. 51: Antoni Gaudí: Maqueta invertida de la Cripta e Iglesia de la Colonia Güell. E.1/15; uso de la catenaria y arcos funiculares Barcelona. S. XIX-XX

A pesar del empeño y del deseo del arquitecto por finalizar la obra, este edificio no fue realizado finalmente, ya que Eusebi Güell no pudo permitirse los gastos que suponía la construcción del mismo. Aunque no se haya finalizado la obra, en sección (Fig. 52) se puede intuir que Gaudí podría haber utilizado dos de las tres curvas analizadas anteriormente. Se puede observar que tres de las curvas se asemejan ser paraboloides de revolución y la otra podría ser una catenaria cupuliforme.

No obstante, a pesar de no haberse completado el proyecto, la cripta sí que se pudo concluir, creando un espacio de planta poligonal estrellada en torno a un altar, coronada por una bóveda apoyada sobre bloques de basalto que actúan a modo de columnas (Fig. 53).

Analizando la planta, podría llegar a considerarse que esta está compuesta por diversas naves, pero, en vez de ser lineales, como en la gran mayoría de obras eclesiásticas, estas son concéntricas, en torno al altar. La forma del conjunto podría recordar a la visión cenital de un animal, como por ejemplo una tortuga, la cual se protege del exterior con un caparazón, siendo en este caso una losa, dejando una altura libre máxima de seis metros.⁴²

Dicho techo se sostiene gracias a una sucesión de nervios de ladrillo, que podrían recordar a la estructura ósea de un animal marino, dispuestos de forma radial, cuyo centro sería el presbiterio. La galería exterior de la cripta se compone por parábolas que se superponen en diferentes ejes, formando así paraboloides hiperbólicos (Fig. 54).⁴³

⁴² *La Cripta de la Colonia Güell*. (s.f.). Las Piedras de Barcelona. <https://laspiedrasdebarcelona.blogspot.com/2018/09/la-cripta-de-la-colonia-guell.html>

⁴³ Tarragó, S. (Ed.). (1991). *Antoni Gaudí. Estudios Críticos 5*. Ediciones del Serbal.

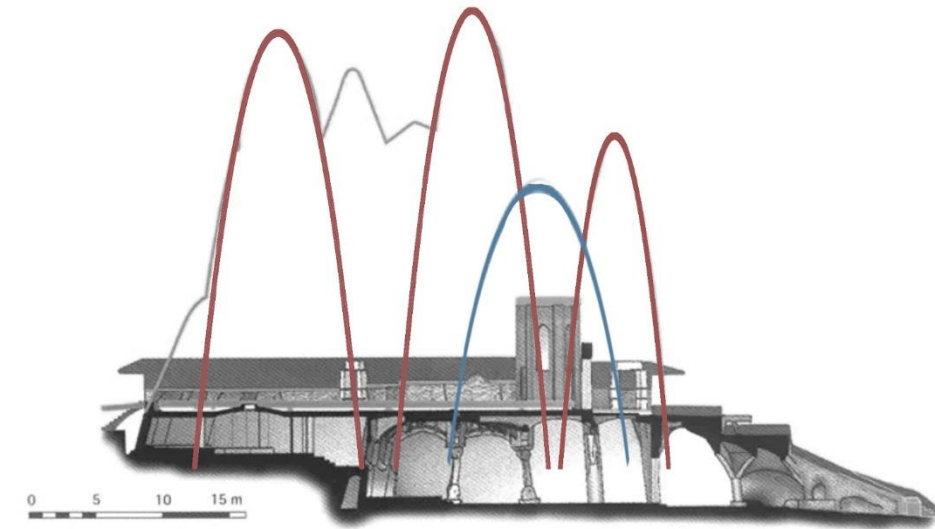


Fig. 52: Sección de la Cripta de la Colonia Güell con silueta de cómo haría sido la Iglesia. Edición propia, destacando en granate las semejanzas con las parábolas y en azul la curva similar a la catenaria.

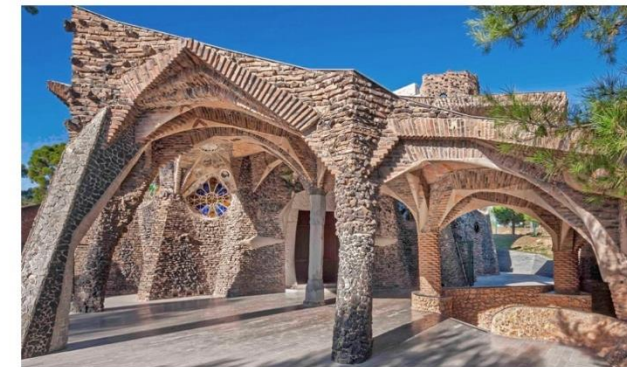


Fig. 53: Antoni Gaudí: Fotografía exterior de la Cripta de la Colonia Güell. Barcelona. 1898.



Fig. 54: Antoni Gaudí: Fotografía de la galería exterior, cubierta por paraboloides. Barcelona. 1898.

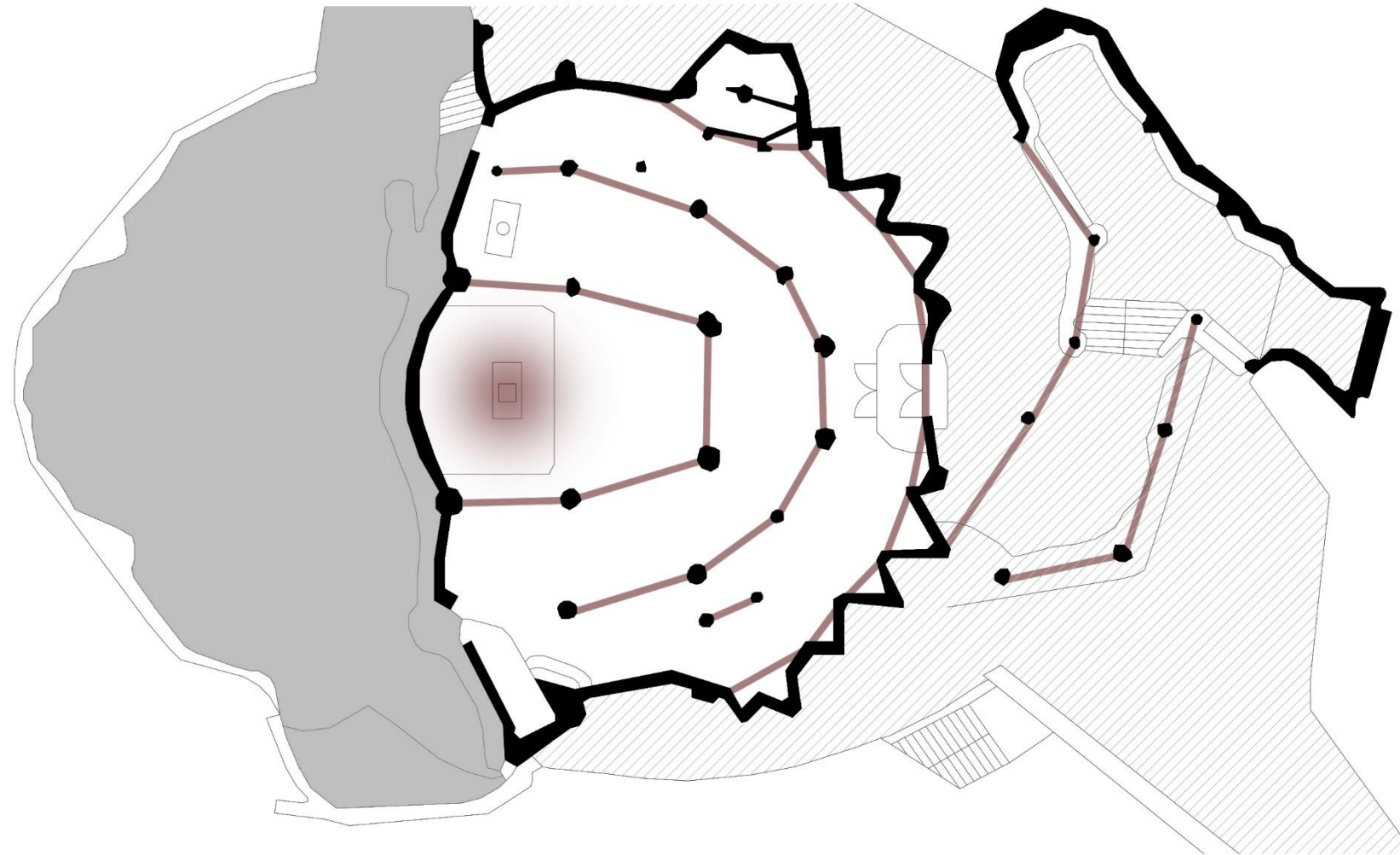


Fig. 55: Antoni Gaudí. Plano de planta de la Cripta de la Colonia Güell. E. 1/400. Resaltada la relación entre columnas, que crean las naves concéntricas en torno al altar. Elaboración propia.

6. Componentes geométricos: Superficies Regladas y su relación con la naturaleza

A lo largo de sus obras, Antoni Gaudí utilizó como recurso las superficies regladas, es decir, "la superficie generada por una recta, a la que denominaremos generatriz, al desplazarse sobre una curva o varias de ellas, a las que denominamos directrices. En otras palabras, se trata de una superficie horizontal plana formada por rectas, que al apoyarse en otra recta formada por directrices y situada en el plano vertical, forman una o varias curvas. De este modo se generan formas curvas a partir de superficies compuestas por rectas."⁴⁴

Las superficies regladas pueden ser clasificadas en dos grupos:

- Superficies de curvatura simple. (Figura 56) Se trata de aquellas superficies desarrollables, capaces de ser extendidas sobre un plano. En cada punto de estas superficies se intersecan una curva y una línea recta. En este grupo forman parte, entre otros, el conoide y el helicoides.
- Superficies de doble curvatura. (Figura 57) Este grupo engloba aquellas superficies que están compuestas en todos sus puntos por la intersección de dos curvas, por lo que no son desarrollables en un plano. Dentro de este grupo se encuentran las cuádricas, es decir, el elipsoide, el paraboloides y el hiperboloides.

Estructuralmente, las superficies de doble curvatura aportan más estabilidad que las de curvatura simple. Este tipo de estructuras consiguen aportar la mayor rigidez posible al conjunto, con el menor espesor posible, lo que, además de aligerar la estructura, consigue abaratar costes, reducir tiempos de producción, etc.

⁴⁴ Pastor Pérez de Lis, M. (2021). *Superficies mínimas y regladas. Ampliación de matemáticas en la educación secundaria* [Trabajo de fin de Máster inédito]. Universidad de Alcalá.

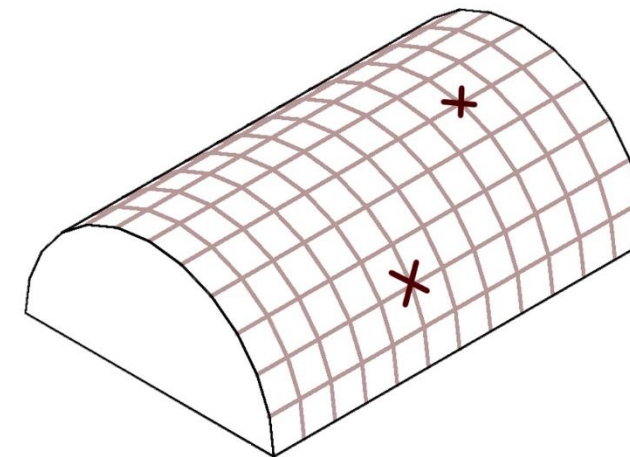


Fig. 56: Esquema de superficie de curvatura simple. Elaboración propia.

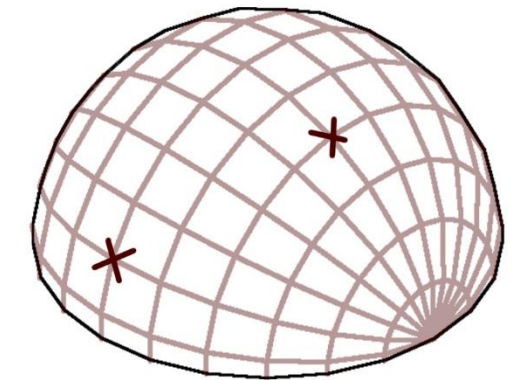


Fig. 57: Esquema de superficie de doble curvatura. Elaboración propia.

Al usar este tipo de superficies, Gaudí está dejando ver una vez más su admiración por la naturaleza. Al inspirarse en ella, sus composiciones se desligan de las del resto de arquitectos, tanto de su época como de tiempos anteriores, quienes se basaban en el uso de la geometría simple, con formas planas, líneas rectas, formas que no existen en la naturaleza.⁴⁵

En tiempos de Gaudí, los arquitectos pasaban de la recta y el plano a formas tridimensionales no propias tan representativas de la naturaleza por la falta de organicidad de su estructura, como el cubo, el octaedro, dodecaedro, etc. Se puede afirmar que, en la historia de la arquitectura, la gran mayoría de las veces, los pilares pueden ser prismáticos o cilíndricos, las cupulas son semiesferas, las cubiertas de los edificios, planos horizontales u oblicuos intersecado, o incluso pirámides, forma ya utilizada desde la arquitectura egipcia. (Figura 58)

El interés por Gaudí por las formas de la naturaleza no era solamente a nivel decorativo u ornamental, sino que llegó a la conclusión de que las estructuras de la naturaleza eran funcionales. Las formas naturales no existen de esta forma como método de expresión de la belleza, sino que, la utilidad y la funcionalidad de las estructuras de los organismos tiene prioridad ante la forma, haciendo que esta dependa de ella completamente.

Gaudí logró ver en la naturaleza las formas estructurales más útiles y bellas, como los troncos de los árboles o los huesos, cuya forma podría ser la idónea para las columnas, o la forma de una concha de un molusco, podría ser la forma de la cubierta de un edificio (Figura 59). Muchas de las estructuras naturales se forman por materiales fibrosos, gracias a los que podemos ver el desarrollo de sus rectas y curvas, dando lugar al uso de Gaudí de las superficies regladas.⁴⁶

⁴⁵ Blair, D. A., Hodge, T. & Prigozhin, G. (2015). *Curvas y Superficies en la Naturaleza. Una crítica a las formas biológicas y sus funciones*. Journal of Experimental Biology

⁴⁶ Bassegoda Nonell, J., & García Gabarró, G. (1998). *La catedral de Antoni Gaudí. Estudio analítico de su obra*. Edicions UPC.



Fig. 58: Necrópolis de Guiza (Pirámides de Keops, Kefrén y Micerino). El Cairo, Egipto.



Fig. 59: Tronco y ramas, estructura que sustenta los árboles.

Dentro de la naturaleza, existen diversos campos, en los que vamos a dividirnos para observar que formas regladas se dan en cada uno de ellos:

- Campo de la botánica. En este, podemos observar dos motivos que convierten la geometría vegetal en geometría reglada. Por una parte, está la composición fibrosa de las plantas, fibras comparables a líneas rectas, generatrices, que se desarrollan apoyándose en otros elementos, las directrices.

Por otro lado, la ley de gravedad también influye en la forma estructural de los organismos, que provoca que, en diversas ramas u hojas, las formas resultantes sean secciones de superficies regladas, o formas catenarias.

A causa de estos antecedentes, podemos encontrar así, en la vegetación, numerosas formas en la vegetación de paraboloides hiperbólicos o conoides en hojas o flores, como hiperboloides en troncos o ramas de los árboles, o incluso formar helicoidales en los tallos dispuestos en torno a las ramas o troncos.⁴⁷

- Campo de la geología. Esta ciencia es la encargada del estudio de la composición de la Tierra. El paso del tiempo, y consecuentemente, la erosión provocada por los diversos agentes, han ido convirtiendo las formas terrestres en formas semejantes a superficies regladas.

Un valle entre dos montañas puede ser causado por la erosión de agua o incluso de rocas que se van desprendiendo y desgastando la superficie, pudiendo darle al valle una forma equivalente a un paraboloides hiperbólico.

La erosión provocada por la acción del viento produce formas semejantes a los paraboloides de revolución, también presentes dentro de las cuevas, en las estalactitas y estalagmitas.⁴⁸

⁴⁷ Mandelbrot, B. (2020). *La geometría fractal de la naturaleza*. Tusquet Editores.

⁴⁸ Bassegoda Nonell, J., & García Gabarró, G. (1998). *La catedral de Antoni Gaudí. Estudio analítico de su obra*. Edicions UPC.

- Campo de la anatomía. Al igual que en el reino vegetal, en el reino animal también se encuentran elementos cuya composición es fibrosa, provocando esto que sus formas se asemejen con la geometría reglada.

Por ejemplo, los tendones que se encuentran entre los dedos de las manos son semejantes a las generatrices de paraboloides hiperbólicos, ya que, al separar dos dedos contiguos, se crean hiperboloides, directrices de la superficie reglada.

Por otro lado, muchos de los huesos podrían asemejarse también a hiperboloides, los músculos podrían recordar a conoides, o incluso las formas resultantes en nuestro cuerpo cubierto de piel, a paraboloides hiperbólicos.⁴⁹

⁴⁹ Bassegoda Nonell, J., & García Gabarró, G. (1998). *La catedral de Antoni Gaudí. Estudio analítico de su obra*. Edicions UPC.

6.1. Paraboloide

Se denomina paraboloide de revolución o, simplemente, paraboloide, a la superficie reglada derivada de la revolución de una parábola sobre su eje de simetría. Se trata de una forma similar a un cono, pero, en lugar de tener una base circular, tiene una base parabólica. El paraboloide tiene tres formas principales⁵⁰:

- Paraboloide de revolución. Es la superficie reglada que se relaciona con el paraboloide si no se precisa la tipología. Se logra al rotar una parábola en torno a su eje de simetría. Si al paraboloide de revolución se le interseca con un plano paralelo al eje de rotación, sin tener que ser estos dos elementos coincidentes, se obtiene una parábola, que disminuye su tamaño cuanto más nos alejamos del eje de simetría, mientras que, si se interseca con un plano horizontal, perpendicular al anterior, se obtiene una circunferencia, que disminuye su tamaño a medida que nos acercamos al vértice del paraboloide. (Fig. 60)
- Paraboloide elíptico. Es muy semejante al anterior, pero se diferencia en que, si lo intersecamos horizontalmente, la forma obtenida es una elipse. En otras palabras, es un paraboloide de revolución que se ha estirado horizontalmente.
- Paraboloide hiperbólico. Se llama así a esta superficie reglada ya que es la combinación de dos parábolas, dependiendo del punto de vista que se mire. Desde un punto de vista, se trata de una parábola cuyas ramas están orientadas hacia abajo, y desde el otro, estas se orientan hacia arriba. Si utilizamos un plano para intersecar esta superficie, perpendicular a estas parábolas, se obtiene una hipérbola como figura plana, de dos ramas. (Fig. 61)

⁵⁰ Gómez-Serrano, J. (2002). *Gaudí. La búsqueda de la forma: Espacio, geometría, estructura y construcción*. (D. Geralt-Miracle, Org.), Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunweg Editores S. A. (Obra original publicada en 2002).

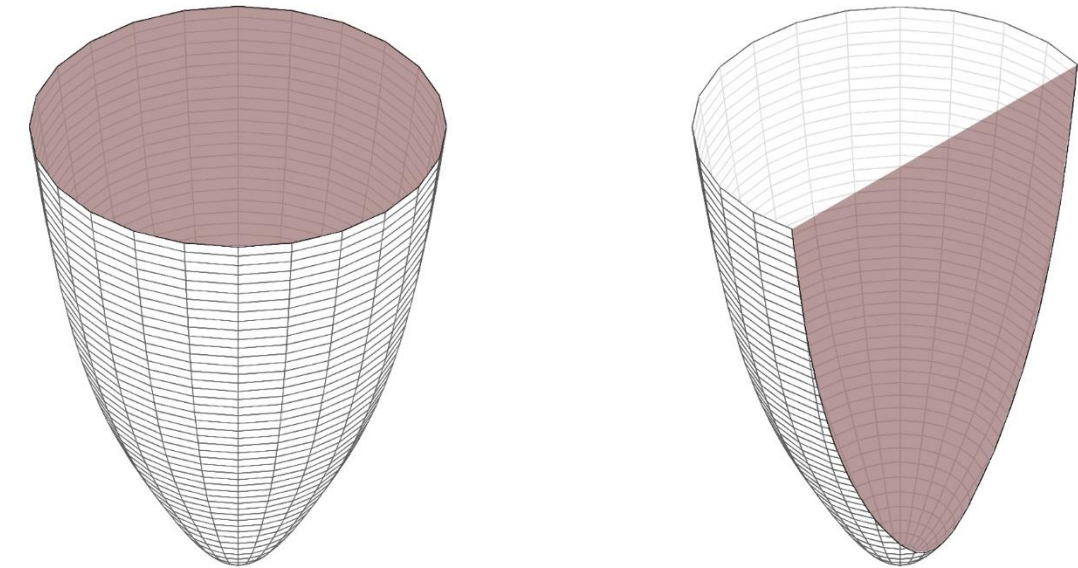


Fig. 60: Desarrollo de paraboloide de revolución. En la primera imagen, forma resultante de la intersección con plano perpendicular al eje ,y en la segunda, con plano paralelo. Circunferencia y parábola. Elaboración propia.

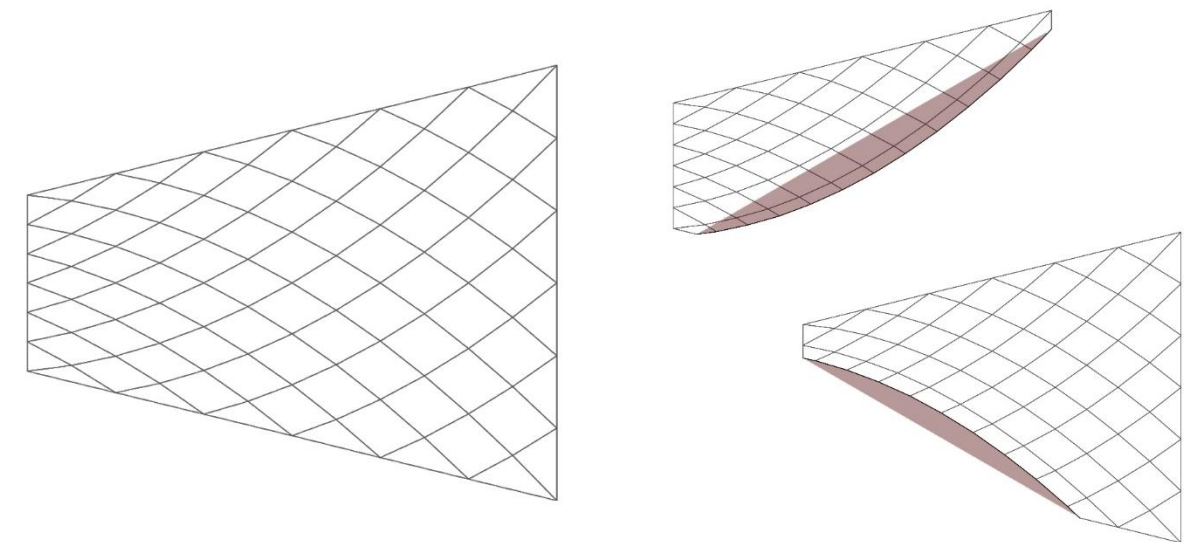


Fig. 61: Desarrollo de paraboloide hiperbólico. En la primera imagen, superficie al completo, y en las restantes, formas resultantes de la intersección con planos perpendiculares. Hipérbolas. Elaboración propia.

En la Casa Batlló, Gaudí utiliza paraboloides hiperbólicos en el diseño de la fachada y las ventanas del edificio, utilizando estas formas para crear dinamismo en la fachada, con curvaturas suaves y líneas onduladas que crean una sensación de fluidez y armonía. (Fig. 62 y 63)

En la Casa Milà, el arquitecto utiliza paraboloides elípticos en la forma de las chimeneas y techos del edificio. Estas formas curvas y suaves se integran perfectamente en la organicidad del edificio, creando movimiento y continuidad en la estructura.

En la Sagrada Familia, Gaudí diseñó varias torres con formas de paraboloides elípticos, que se elevan sobre la fachada principal y en la parte central de la nave principal. Estas torres poseen una forma alargada y curvada, que se estrecha hacia arriba, y se inspiran en las formas naturales y orgánicas que caracterizan la arquitectura de Gaudí. En el Templo, Gaudí también crea varios campanarios que poseen la forma de paraboloides de revolución. (Fig. 64)

En general, Antoni Gaudí utilizó los paraboloides como forma de integrar la naturaleza en la arquitectura, creando organicidad y fluidez inspiradas en las curvas y movimientos de la naturaleza. Los paraboloides pueden encontrarse en la naturaleza, como en el caso de las conchas de diversos moluscos, e incluso en las crestas de las olas⁵¹. Por ejemplo, la concha de un caracol marino, puede tener una forma de paraboloide de revolución en su espira, lo que le permite expandirse de manera eficiente. Por otro lado, las crestas de las olas pueden formar patrones de paraboloides de revolución, causados por la acción del viento en la superficie del agua. Estos patrones pueden observarse en las fotografías aéreas de las olas en el mar (Fig. 65).

Otras estructuras de la naturaleza donde podemos encontrar formas semejantes al paraboloide es en montañas, en la forma de las dunas del desierto, o en la forma que se produce al caer una gota dentro de un líquido, o en la forma que adopta la arena mojada dejada caer.

⁵¹ Fernández Ordóñez, J. A. (2002). *Gaudí. Estructura y Naturaleza*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Fig. 62 y 63: Ventanas sobre escalera semejantes a paraboloides hiperbólicos y ondulaciones en fachada principal que evocan a esta superficie reglada. Casa Batlló. Barcelona. 1904-1906.

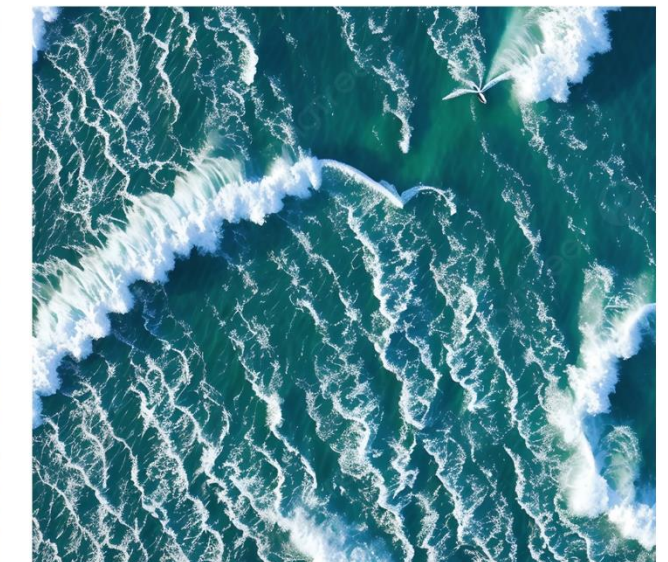
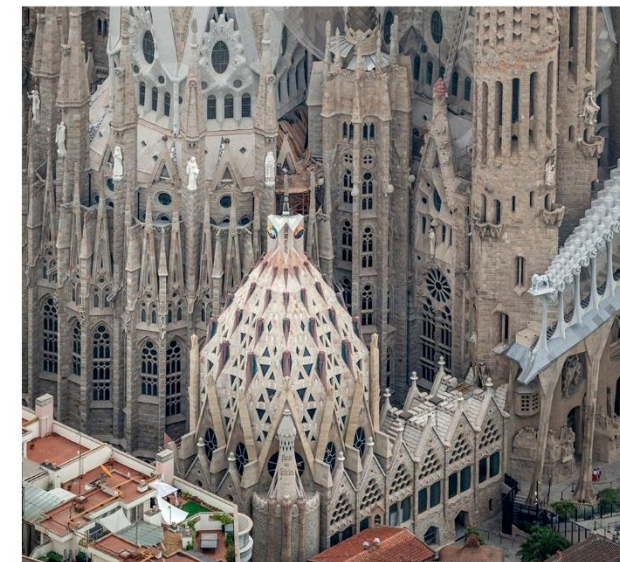


Fig. 64: Sacristía de Poniente. Paraboloide de revolución. Sagrada Familia. Barcelona. 1882-actualid.

Fig. 65: Vista aérea de oleaje. Formas similares a paraboloides hiperbólicos.

6.2. Hiperboloide

Para definir esta superficie reglada, debemos comprender previamente la curva mediante la que se genera. La hipérbola es una curva plana y abierta, generada a partir de dos puntos fijos en el plano, denominados focos, y una recta que pasa por ellos, la directriz. También puede definirse como lugar geométrico de los puntos cuya diferencia de distancias a los dos focos es constante.

Dentro de la hipérbola nos encontramos tres ejes principales. El eje focal, línea recta que pasa por los dos focos; el eje mayor, contenido en el eje focal, ya que se trata de la recta comprendida entre los focos; y el eje no focal, perpendicular al primero pasando por el medio de los focos, dando lugar su intersección al centro de la hipérbola.⁵²

Dependiendo del eje de rotación que se utilice, existen dos tipos de hiperboloides:

- Hiperboloide de dos hojas. Es el más simple de los dos, simétrico, cuyo eje de rotación es el eje focal, constituyendo una superficie reglada por cada rama de la hipérbola. (Figura 66)
- Hiperboloide de una hoja. El más complejo y más utilizado por Gaudí. Se crea a partir de la revolución de la hipérbola sobre el eje no focal, creando una superficie reglada de una hoja que se extiende indefinidamente en una dirección, mientras que a otra se cierra en un punto. Este tipo de hiperboloide, si es intersecado por un plano por su eje, da lugar a una forma simétrica, mientras que, si se trata de un plano paralelo a este eje, puede dar lugar a una forma asimétrica. (Figura 67)

⁵² Do Carmo, M. P. (2016). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications.

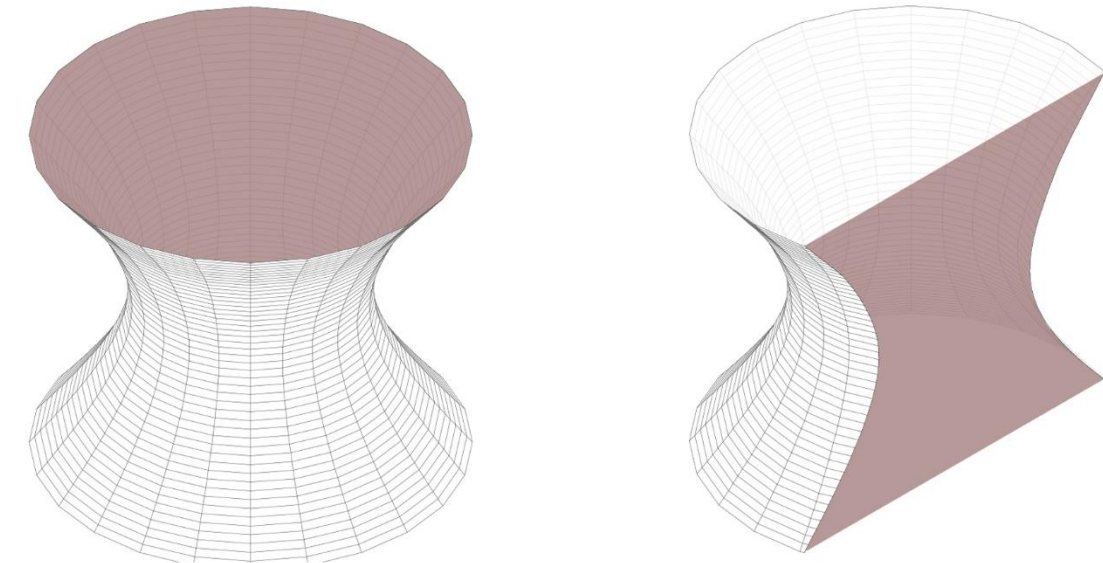


Fig. 66: Desarrollo de hiperboloide de dos hojas. En la primera imagen, forma resultante de la intersección con plano perpendicular al eje, y en la segunda, con plano paralelo. Circunferencia e hipérbola. Elaboración propia.

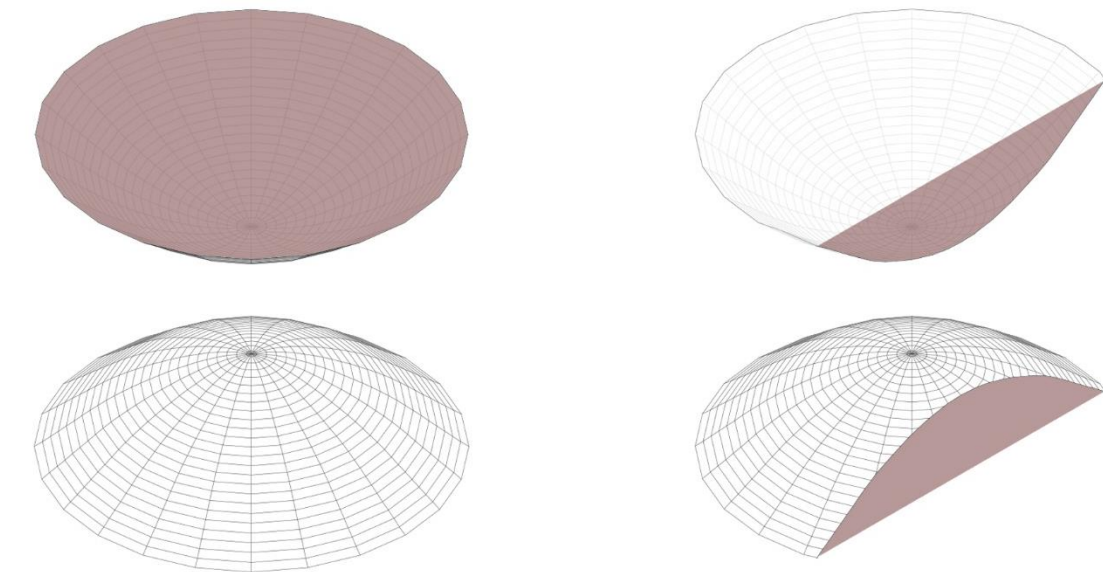


Fig. 67: Desarrollo de hiperboloide de una hoja. En la primera imagen, forma resultante de la intersección con plano perpendicular al eje, y en la segunda, con plano paralelo. Circunferencia e hipérbola. Elaboración propia.

Puede apreciarse el uso del hiperboloide en diversas obras de Gaudí:

- Park Güell. El uso del hiperboloide se ve, en este caso, en el diseño de los bancos, debido a sus propiedades estructurales, las cuales aportan una mayor resistencia y estabilidad al elemento. Además de por el interés estructural, el uso de esta superficie reglada tiene una finalidad estética, concordando con el paisaje del resto del parque. (Figura 68)
- Casa Milà. En este edificio, Gaudí utiliza el hiperboloide en las chimeneas y torres de ventilación, diseñados como columnas helicoidales, siendo estas estructuras hiperbólicas, generadas mediante la rotación de una hipérbola alrededor de un eje. Esta superficie reglada es utilizada en este caso, al igual que en el anterior, por sus propiedades estructurales, capaces de soportar la fuerza del viento. (Figura 69)
- Cripta de la Colonia Güell. Se utiliza el hiperboloide para generar una serie de columnas y bóvedas en la nave central de la cripta. Esta estructura es capaz de soportar su propio peso, además de la fuerza del viento. (Figura 70)
- Sagrada Familia. Uno de los ejemplos más característicos del uso del hiperboloide en esta obra es en las aperturas entre columnas para dar paso a la luz del exterior.

Antonio Gaudí utilizó el hiperboloide en el Park Güell para el diseño de unos bancos ondulados, los usó para dar forma al techo de los dormitorios en la Casa Batlló, o, por ejemplo, en las chimeneas y torres de ventilación de la Casa Milà, o en la cripta de la Colonia Güell.⁵³ Pero, donde más utilizó esta superficie fue en la Sagrada Familia. Aquí, el arquitecto crea formas curvas y onduladas en las columnas gracias al hiperboloide, dotando a estas de una sensación de movimiento y fluidez. Además, el uso del hiperboloide permitió que la estructura no requiriese grandes cantidades de material.⁵⁴

Al contrario que en la mayoría de las formas usadas por Gaudí en sus obras, el hiperboloide no es una de las que se puede encontrar fácilmente en la naturaleza.

⁵³ Cirlot, J. E. (2002). *Gaudí. Triangle Postals*.

⁵⁴ Collins, G. (2010). *Gaudí: An Introduction to his Architecture*. Thames & Hudson.



Fig. 68: Bancos cuyas moldeaciones se asemejan a hiperboloides. Park Güell. Barcelona. 1900-1914.



Fig. 69: Coronaciones de chimeneas semejantes a hiperboloides. Casa Milà. Barcelona. 1906-1912.



Fig. 70: Hiperboloides creados entre columnas de la nave central. Cripta Güell. Barcelona. 1898.



Fig. 71: Hiperboloides como entrada de luz. Sagrada Familia. Barcelona. 1882-actualidad.

6.3. Elipsoide

Se denomina elipsoide a la superficie reglada simétrica obtenida a partir de la rotación de una elipse en torno a uno de sus ejes principales. (Figura 72)

Todos los puntos por los que está formado el elipsoide se encuentran a una distancia focal constante del centro. Esta superficie tiene tres ejes principales, el eje mayor, eje mediano y eje menor. El mayor y el menor son perpendiculares entre sí, mientras que el mediano es perpendicular a ambos.

La forma del elipsoide viene determinada por la longitud de sus ejes. Si estos tres ejes fuesen de longitudes iguales, estaríamos frente a una esfera, mientras que, si varían en sus dimensiones, podemos obtener elipsoides con formas más alargadas o achatadas en relación a la esfera.⁵⁵

⁵⁵ Do Carmo, M. P. (2016). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications.

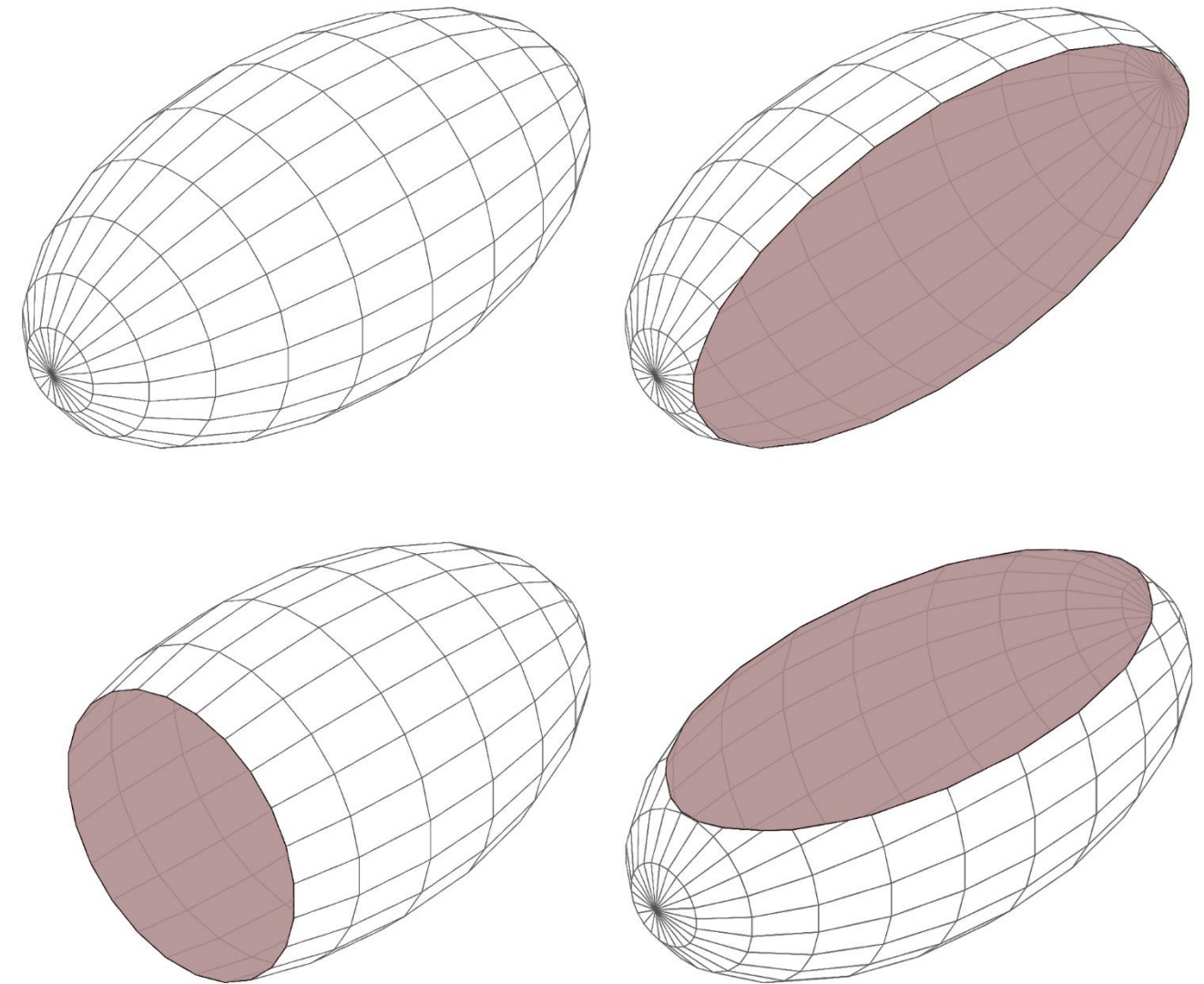


Fig. 72: Desarrollo de elipsoide. En las imágenes seccionadas, vemos las formas resultantes al intersecar la superficie con planos paralelos a sus ejes, siendo dos elipses y una circunferencia. Elaboración propia.

Antoni Gaudí utiliza el elipsoide en los "nudos" de las columnas de la Sagrada Familia con la finalidad de distribuir eficientemente las solicitaciones, sin zonas en las que los esfuerzos a soportar sean destacables con respecto a otras.

Los elipsoides utilizados en las columnas son empleados a modo de transición fluida y orgánica entre las diferentes partes que conforman el elemento estructural, inspirándose en los patrones de ramificación de la vegetación. (Figuras 73 y 74)

El uso del elipsoide une funcionalidad y formalidad, ya que esta forma da estabilidad y resistencia al conjunto, además de ser una pieza clave en la obra de la Sagrada Familia.⁵⁶

En la naturaleza, podemos encontrar elementos con estructuras similares a la elipsoidal, como ciertos frutos, semillas, granos de cereales, o incluso piedras que, por erosión, han acabado adoptando esa forma.

⁵⁶ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.



Fig. 73 y 74: Elipsoide en intersección del fuste de las columnas con las ramificaciones superiores. Antoni Gaudí. Sagrada Familia. Barcelona. 1882 - actualidad.

6.4. Conoide

Se denomina conoide a la superficie reglada producto del giro de una recta, denominada generatriz, alrededor de un eje, teniendo siempre un punto anclado en dicho eje, denominado vértice. La generatriz es una recta comprendida entre el vértice hasta otra línea, generalmente curva, conocida como directriz.⁵⁷

En función de la posición y grado de curvatura de la directriz, se obtienen diversos tipos de conoide:

- Cono recto. Obtenido si la directriz es una línea recta paralela al eje de rotación del conoide.
- Cono oblicuo. Obtenido si la directriz es una línea recta no paralela al eje.
- Conoide elíptico o parabólico. Resultado de un conoide cuya directriz es una curva cerrada, en forma de elipse o parábola, respectivamente.

Dentro de los elementos de la naturaleza, podemos encontrar estructuras similares a los conoides en ciertas conchas de caracoles o algunas plantas.

⁵⁷ Do Carmo, M. P. (2016). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications.

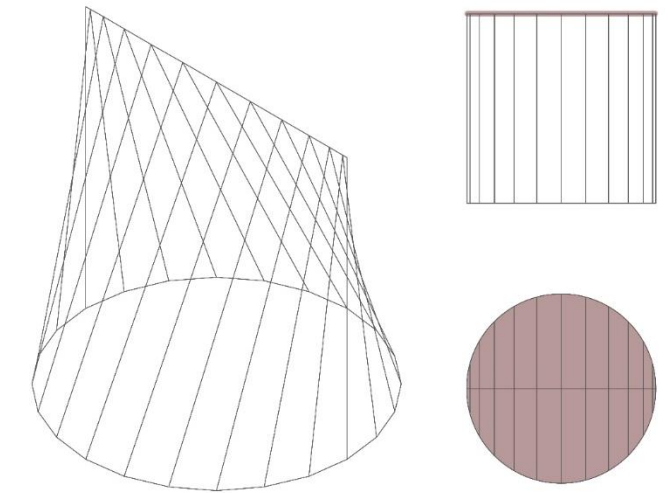


Fig. 75: Conoide recto de base circular. Elaboración propia.

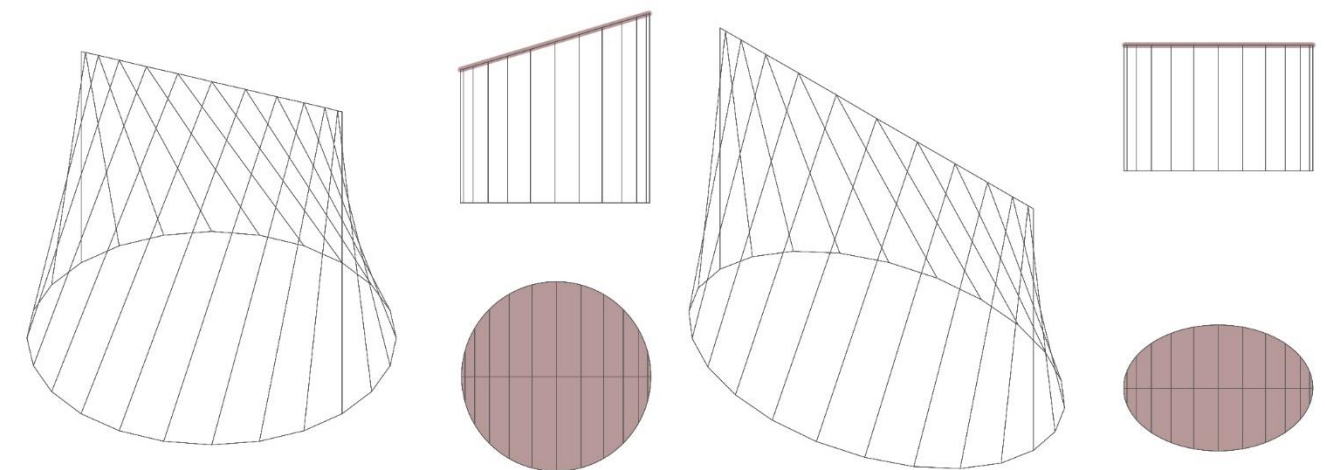


Fig. 76: Conoide oblicuo de base circular. Elaboración propia.

Fig. 77: Conoide recto de base elíptica. Elaboración propia.

Antoni Gaudí fue el encargado, en 1909, del proyecto que daría lugar a las Escuelas Provisionales de la Sagrada Familia hasta que la misma fuese concluida, ya que, en ese momento, estas aulas e instalaciones pasarían a disponerse en la planta sótano del Templo.

Al tratarse de un edificio provisional, el coste del mismo debía ser el menor posible, por lo que el uso de estructuras regladas, lo que disminuye la cantidad de material a usar, abarataría costes.

Esta obra se desarrolla gracias al uso de bóvedas divididas mediante tabiques, los cuales intersecan con los muros exteriores de forma oblicua, secante, o mediante curvas, de forma más suave. (Figura 78) Pero el uso de esta superficie reglada se desarrollaría en cubierta:

"[...] y en cubierta, también tabicada, compuesta por dos conoides de plano director, unidos por una de las directrices que era una jácena de hierro, levantó una escuela con tres aulas y con un coste mínimo"⁶⁸ (Figura 79)

⁶⁸ Bassegoda Nonell, J., & García Gabarró, G. (1998). *La catedral de Antoni Gaudí. Estudio analítico de su obra*. Edicions UPC.



Fig. 78: Intersección de conoide con tabiques. Escuelas Sagrada Familia. Barcelona. 1909.



Fig. 79: Cubierta realizada a partir de conoides. Escuelas Sagrada Família. Barcelona. 1909.

6.5. Helicoide

Un helicoide es una superficie tridimensional, semejante a una hélice o la rosca de un tornillo, una espiral estirada desde sus extremos.

Para crear un helicoide, tomamos una línea recta, y la desplazamos en una dirección a la vez que la rotamos sobre un eje dispuesto en el centro. Este proceso da lugar a una superficie reglada, curva, que se extiende de forma ilimitada en ambas direcciones.⁵⁹

Existen diferentes tipos de helicoides, dependiendo de sus características geométricas, pudiendo ser:

- Helicoide cilíndrico recto. Tipo más común de helicoide, donde las directrices son una hélice cilíndrica exterior y otra hélice interior coaxial con la primera. (Figura 80)
- Helicoide cilíndrico oblicuo. Al igual que el caso anterior, existen dos hélices, una exterior y una interior. En este caso, la interior se desplaza verticalmente una distancia determinada. (Figura 81)
- Helicoide axial recto. Helicoide cuyas directrices son una hélice cilíndrica y una línea recta en forma de eje. (Figura 82)
- Helicoide axial oblicuo. Al igual que el anterior, superficie reglada formada por una hélice cilíndrica y su eje, que, en este caso, se desplaza verticalmente una determinada distancia. (Figura 83)

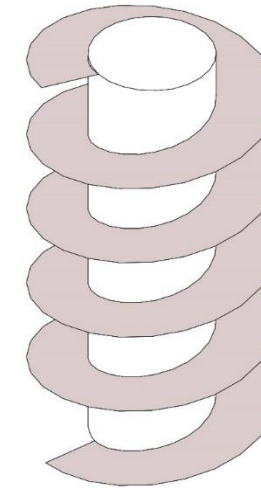


Fig. 80: Desarrollo axonométrico y en alzado de helicoide cilíndrico recto. Elaboración propia.

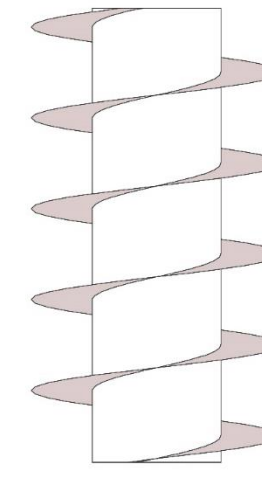


Fig. 81: Desarrollo axonométrico y en alzado de helicoide cilíndrico oblicuo. Elaboración propia.

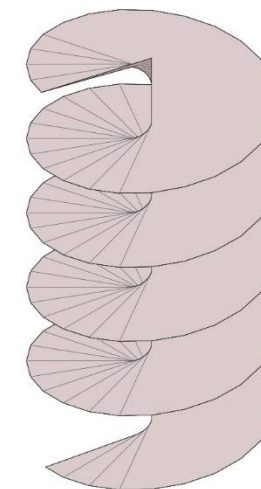


Fig. 82: Desarrollo axonométrico y en alzado de helicoide axial recto. Elaboración propia.

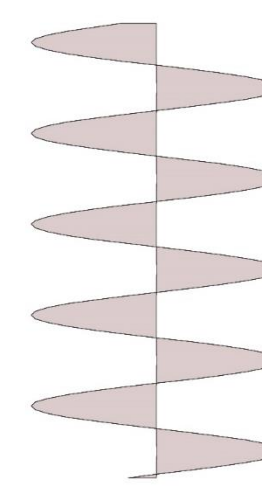


Fig. 83: Desarrollo axonométrico y en alzado de helicoide axial oblicuo. Elaboración propia.

⁵⁹ Do Carmo, M. P. (2016). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications.

En las obras de Gaudí, podemos observar el uso del helicoide tanto en elementos principales como decorativos, tales como:

- Casa Batlló. En este caso, Gaudí utiliza el recurso del helicoide como nexo entre la luz natural y artificial, desde las aperturas de fachada hasta la luminaria central de la sala de estar de la planta noble. (Figura 84)
- La Sagrada Familia. La escalera interior de la Sagrada Familia, posee forma de escalera de caracol, siguiendo la estructura de una espiral ascendente, similar a un helicoide. Esta semejanza se consigue mediante la combinación de curvas suaves y cambios de dirección en la escalera. (Figura 85)

El diseño de la escalera, además de conseguir el propósito propio de un núcleo de comunicaciones, proporciona una experiencia espacial y visual única, que armoniza con el entorno, dando lugar a una transición fluida entre las diferentes alturas de la Sagrada Familia.⁶⁰

En la naturaleza, podemos encontrar formas helicoidales en las escamas de las piñas, en las conchas de los caracoles marinos (Figura 86) o incluso en los tornados, que en su interior crean formas semejantes al helicoide. (Figura 87)

⁶⁰ *Las escaleras de caracol de la Sagrada Familia – Sagrada Familia Barcelona* (s.f.). Sagrada Familia Barcelona. <https://sagradafamilia-tickets.com/es/blog-sagrada-familia/las-escaleras-de-caracol-de-la-sagrada-familia/>



Fig. 84: Helicoide en luminaria de salón. Casa Batlló. Barcelona. 1904-1906.



Fig. 85: Helicoide en escalera. Sagrada Familia. Barcelona. 1882-actualidad.



Fig. 86: Concha marina con estructura semejante a helicoide.



Fig. 87: Tornado, estructura similar al helicoide axial oblicuo.

7. Obra magna: La Sagrada Familia

La historia de la Sagrada Familia comienza en 1866, cuando Josep María Bocabella decide fundar la Asociación Espiritual de Devotos de San José, con la finalidad de construir un templo en honor a la Sagrada Familia. Para comenzar, éste compra una parcela en Barcelona, y le encarga el proyecto a Francisco de Paula del Villar, hasta que, en 1883, Antoni Gaudí tomara las riendas tras la renuncia de del Villar.

La idea de Gaudí daría un giro completo a la propuesta original, convirtiendo al templo en una obra maestra de la arquitectura, abandonando el gótico, creando un estilo que combinase el estilo gótico con el modernismo catalán.

Durante el tiempo de Gaudí al mando del proyecto, se introdujeron numerosas innovaciones y técnicas arquitectónicas revolucionarias, al igual que en todos los proyectos realizados a lo largo de su carrera, como el uso de superficies regladas, arcos catenarios, o el juego de luces para crear atmosferas específicas dentro del templo.⁶¹

Tras el fallecimiento de Antoni Gaudí en 1926, solamente una parte de la Sagrada Familia estaba construida, por lo que el proyecto pasó a manos de Domènec Sugrañes. Tras la Guerra Civil Española, la construcción se detuvo por motivos bélicos y la escasez de recursos. En este momento, quien sería el encargado del proyecto sería Francesc Quintana, que dejaría paso a otros arquitectos tras su fallecimiento en 1957.

En la actualidad, el proyecto está en manos de Jordi Faulí, quien asumió la responsabilidad de continuar con la construcción del templo en 2012, siendo prevista la conclusión de la obra en 2026.

Con el trascurso de los años, la Iglesia de la Sagrada Familia se ha convertido en símbolo emblemático de la ciudad de Barcelona, siendo declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2005, considerada una de las obras arquitectónicas más relevantes e impresionantes del mundo.⁶²

⁶¹ Navascués Palacio, P. (1993). *SUMMA ARTIS. Historia general del Arte: Vol. 35. ARQUITECTURA ESPAÑOLA (1808-1914)*. ESPASA Calpe, S. A. (Obra original publicada en 1993)

⁶² *Historia del templo – Sagrada Familia – Sagrada Familia*. (s.f.). Sagrada Família; Proveïdors oficials d'entrades – Sagrada Família. <https://sagradafamilia.org/es/historia-del-templo>



Fig. 88: Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. Fotografía exterior, Barcelona, 1882-actualidad.

7.1. El número secreto de la Sagrada Familia

Como ya se explicaba anteriormente, Antoni Gaudí era un hombre de profundas creencias religiosas, por lo que optó por elegir un número con el que se modularía, tanto en planta como en sección, el templo de la Sagrada Familia. Este número, al igual que los apóstoles, es el 12. El espacio se compone con cinco tipos de poliedros regulares, cuyas caras, vértices y aristas se componen por el propio número o por múltiplos y divisores de el mismo. Estos son:

- Tetraedro. Poliedro formado por cuatro caras, conformadas por triángulos equiláteros.⁶³ Por lo tanto, los números por los que se forma el tetraedro son 4 ($12/3$) caras, 4 ($12/3$) vértices y 6 ($12/2$) aristas. (Figura 89)
- Cubo. Poliedro formado por seis caras, conformadas por cuadrados.⁶⁴ Por lo tanto, los números por los que se forma el cubo son 6 ($12/2$) caras, 8 ($12 \cdot 2/3$) vértices y 12 aristas. (Figura 90)
- Octaedro. Poliedro formado por ocho caras, conformadas por triángulos equiláteros.⁶⁵ Por lo tanto, los números por los que se forma el octaedro son 8 ($12 \cdot 2/3$) caras, 6 ($12/2$) vértices y 12 aristas. (Figura 91)
- Dodecaedro. Poliedro formado por doce caras, conformadas por pentágonos regulares.⁶⁶ Por lo tanto, los números por los que se forma el dodecaedro son 12 caras, 20 ($12 \cdot 5/3$) vértices y 30 ($12 \cdot 5/2$) aristas. (Figura 92)
- Icosaedro. Poliedro formado por veinte caras, conformadas por triángulos equiláteros.⁶⁷ Por lo tanto, los números por los que se forma el icosaedro son 20 ($12 \cdot 5/3$) caras, 12 vértices y 30 ($12 \cdot 5/2$) aristas. (Figura 93)

⁶³ *tetraedro* | *Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/tetraedro>. Consultado el 12/06/23.

⁶⁴ *cubo* | *Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/cubo>. Consultado el 12/06/23.

⁶⁵ *octaedro* | *Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/octaedro>. Consultado el 12/06/23.

⁶⁶ *dodecaedro* | *Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/dodecaedro>. Consultado el 12/06/23.

⁶⁷ *icosaedro* | *Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/icosaedro>. Consultado el 12/06/23.

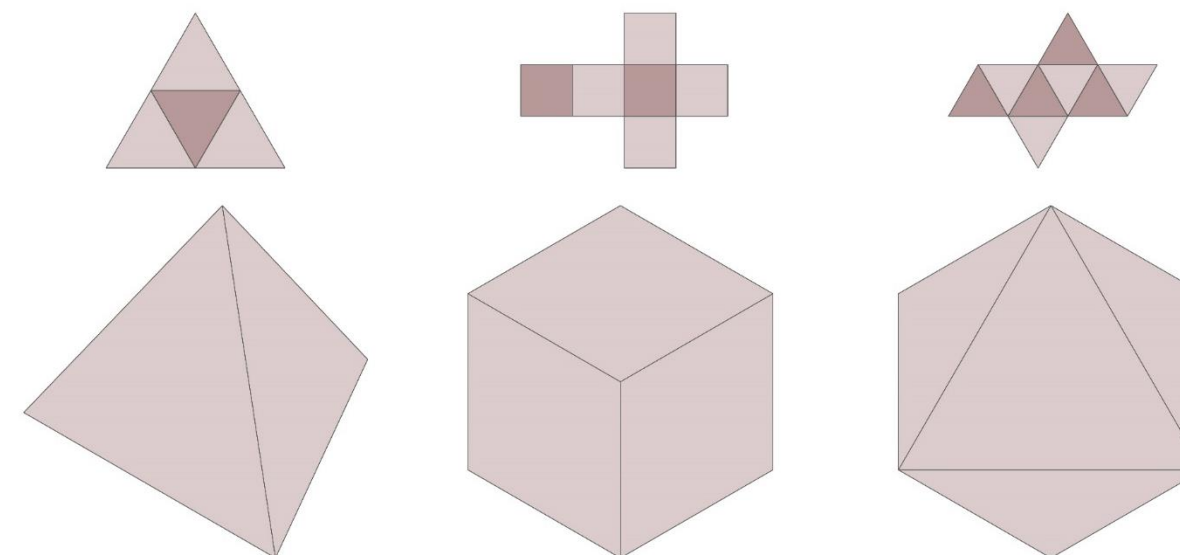


Fig. 89, 90 y 91: Desarrollo en plano desplegable y vista axonométrica de tetraedro, hexaedro y octaedro respectivamente. Elaboración propia.

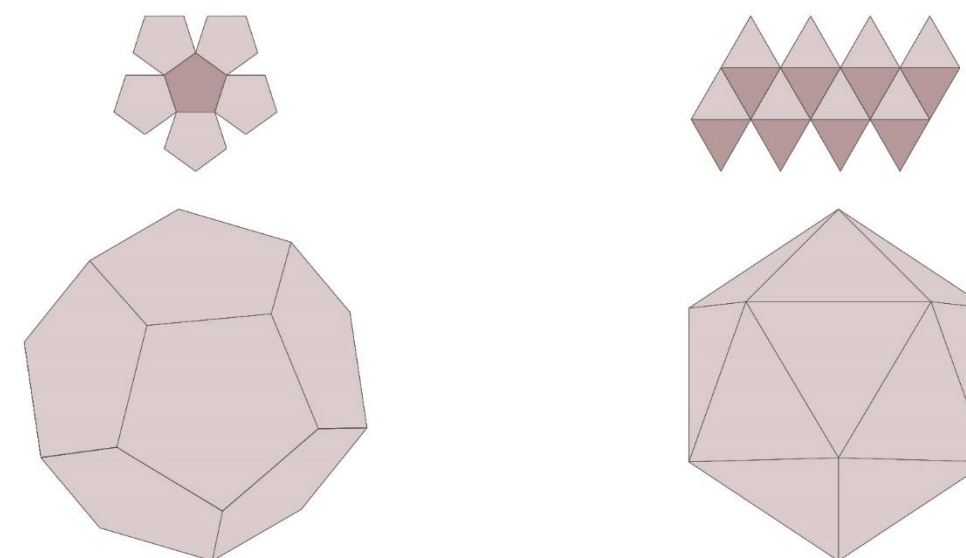


Fig. 92 y 93: Desarrollo en plano desplegable y vista axonométrica de dodecaedro e icosaedro, respectivamente. Elaboración propia.

Además, todos ellos conforman los sólidos platónicos, sólidos convexos, cuyas caras, formadas por polígonos regulares, no están dobladas hacia el interior del volumen.

Antoni Gaudí decide utilizar en las proporciones de la Sagrada Familia las relaciones $1/4$, $1/3$, $1/2$, $2/3$, $3/4$ y 1 , asociadas a los divisores de 12, crea 12 campanarios con pináculos y los poliedros regulares que intervienen en el diseño de los pináculos sean el cubo, octaedro y dodecaedro, que poseen 12 aristas, 12 aristas y 12 caras respectivamente.⁶⁸

En la fachada del Nacimiento, las bases de los pináculos se forman por paraboloides que poseen hexágonos en sus lados, que encajan perfectamente con el polígono triangular del poliedro central.

En la fachada de la Pasión, los pináculos poseen en la base un cuadrado que rota y encaja perfectamente con la cara cuadrada del poliedro.

Por último, en la fachada de la Gloria⁶⁹, los pináculos se conforman a partir de formas pentagonales.

Si analizamos el templo en planta, la longitud mayor de esta es de 90 metros, que, dividiéndolos entre 12, da lugar a 7,50 metros, orden que modula las medidas entre ejes de las columnas, elementos dispuestos en planta y alturas de la Sagrada Familia. (Figura 94)

⁶⁸ Alsina, C. (2012). *Gaudí. La búsqueda de la forma. Macla de geometrías* (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunwerg Editores S. A.

⁶⁹ "La fachada del Nacimiento, orientada al este, es la más antigua de las tres y está dedicada al nacimiento de Jesús. [...] La fachada de la Pasión, orientada al oeste, está dedicada a la pasión, muerte y resurrección de Cristo [...] La tercera es la fachada de la Gloria, orientada al sur, que será la fachada principal de la basílica y está dedicada a la naturaleza gloriosa de Jesús, incluso después de su muerte." *Fachadas de la Sagrada Familia | Historia y simbolismo*. (s.f.). Sagrada Familia Tickets | Priority Access. <https://sagradafamilia.barcelona-tickets.com/es/sagrada-familia-facades/>

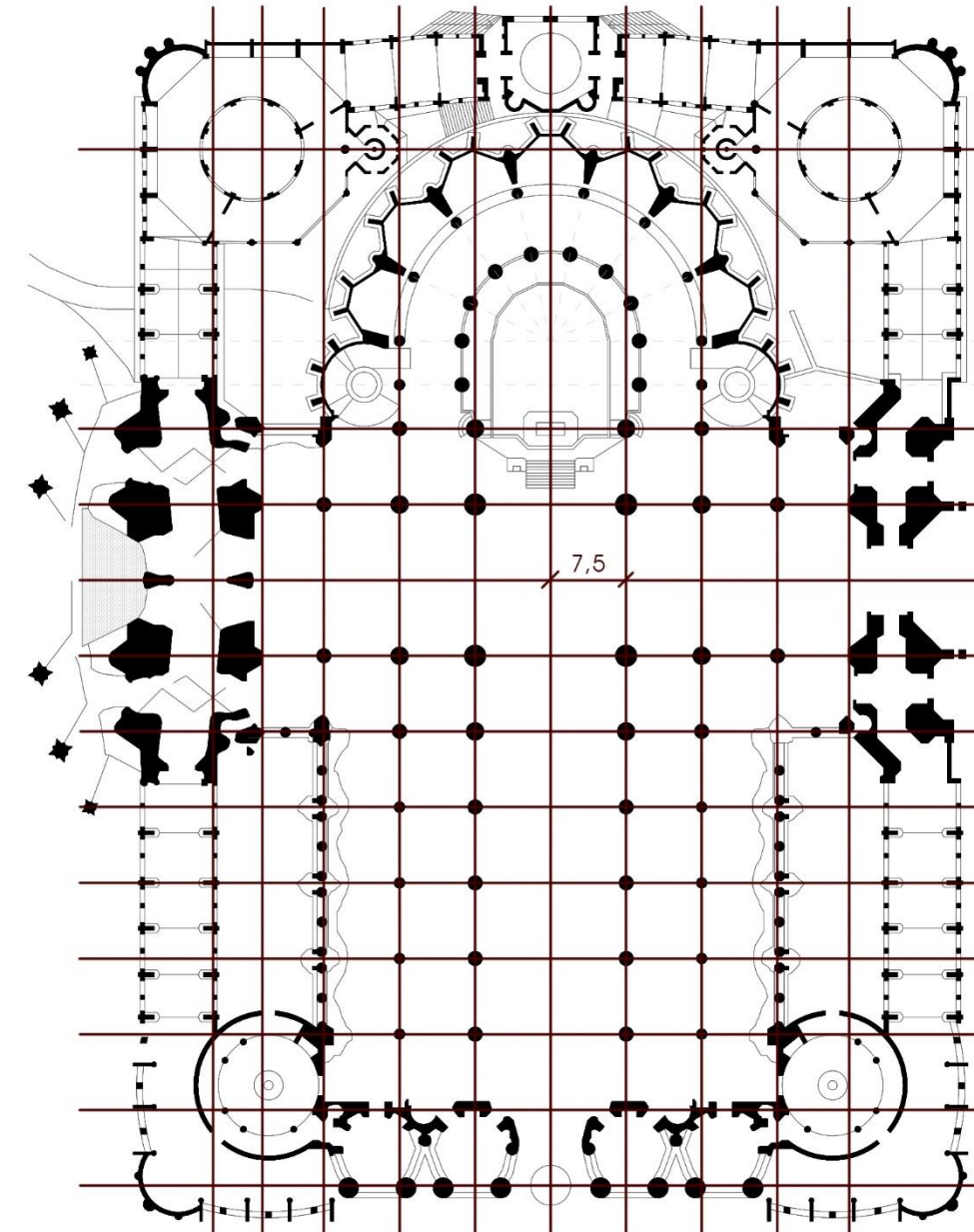


Fig. 94: Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. Planta destacando los ejes dispuestos en retícula de módulo 7,5 metros. Elaboración propia.

7.2. Columnas de doble giro

"Gaudí había probado una gran diversidad de columnas [...] Finalmente, después de dos años de investigación, consiguió lo que quería: una columna nueva en la que el movimiento era esencialmente la fuente de su generación.

Así, a partir de un mismo polígono estrellado como base, dos superficies helicoidales se elevan y giran helicoidalmente en direcciones opuestas [...] y cuando se cortan generan unas aristas que se multiplican hasta llegar a conformar la circunferencia."⁷⁰

"Afortunadamente, entre los elementos originalmente conservados estaban los moldes de la columna de base octogonal que había hecho Gaudí, y también las plantillas de zinc situadas a cada metro, y una buena parte de la columna original, con el «trenzado» que unía las plantillas con yeso. La palabra «trenzado» define el trabajo que había que hacer a partir del yeso para pasar de una plantilla a otra con la ayuda de una regla.

En los originales en negativo (es decir, los moldes) y en una parte de los fragmentos de las columnas que se habían conservado era evidente que los tambores tenían un metro de altura y que los giros en ambos sentidos que originaban las aristas se producían a ocho, cuatro y dos metros de altura en la columna octogonal"⁷¹

⁷⁰ Bonet i Armengol, J. (2012). *Gaudí. La búsqueda de la forma. Columnas de doble giro* (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunwerg Editores S. A.

⁷¹ Puig Boada, I. (2011). *El Templo de la Sagrada Família*. Ediciones Omega S.A.



Fig. 95: Templo Expiatorio de la Sagrada Família. Bosque arbolado formado por columnas de doble giro. Barcelona, 1882-actualidad.

7.2.1. Síntesis de las columnas clásicas

Antoni Gaudí crea para la Sagrada Familia una nueva columna, una evolución de las columnas clásicas. Esta, la columna de doble giro, es una síntesis de los tres tipos de columnas clásicas⁷², que se dividen en:

- Columna lisa. Columna arquitectónica caracterizada por la falta de adornos, encontrada en la arquitectura clásica, tanto de Grecia como de Roma. Fue utilizada como elemento estructural y como elemento decorativo. Posee tres partes: base, fuste y capitel. Un ejemplo de este tipo de columnas podría ser las que conforman la portada del Panteón de Agripa, en Roma. (Figura 96)
- Columna estriada. Columnas caracterizadas por poseer hendiduras longitudinales a lo largo del fuste de la columna. Estas otorgan a la columna textura y profundidad, y se presentan rectas y equidistantes entre sí. Además, estas estrías ayudan a resaltar las proporciones de la columna, dando armonía al edificio. Se utilizan tanto en el orden dórico, como en el jónico y en el corintio, variando y adaptándose a cada uno de los órdenes. Un ejemplo sería el Partenón de Atenas. (Figura 97)
- Columna salomónica. Columna caracterizada por tener un fuste en forma de espiral y por poseer mucha ornamentación. El fuste de estas columnas posee un estriado helicoidal, creando una apariencia única. El capitel también presenta aspecto decorativo, variando según el estilo en el que se use. Claro ejemplo de estas columnas es el baldaquino de San Pedro en el Vaticano.⁷³(Figura 98)

⁷² Bonet i Armengol, J. (2012). *Gaudí. La búsqueda de la forma. Columnas de doble giro* (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunweg Editores S. A.

⁷³ Apuntes de Historia de la Arquitectura. Primer curso. Profesor: Javier Pérez Gil.



Fig. 96: Columnas lisas. Panteón de Agripa, Roma, 27 a. C.



Fig. 97: Columnas estriadas. Partenón, Acrópolis de Atenas, 447-438 a. C.



Fig. 98: Columnas salomónicas. Baldaquino de San Pedro, Ciudad del Vaticano, G. L. Bernini, 1623-1634.

7.2.2. Modelado de las columnas de doble giro

Con el fin de entender el proceso creativo que llevó a Antoni Gaudí a conformar sus columnas, es necesario seguir los pasos de su geometría. En primer lugar, se parte de un cilindro maleable y una chapa con una perforación en forma de estrella con los extremos redondeados. Si se hace pasar este cilindro por el agujero, se genera un estriado vertical, como en las columnas clásicas, si el movimiento fuera recto, siguiendo la generatriz del propio cilindro.

Sin embargo, Antoni Gaudí cambia este movimiento recto por un giro, por lo que las ranuras se graban en forma helicoidal, al igual que en las columnas salomónicas. El momento clave de la transformación llega cuando, después de esta primera pasada helicoidal, se realiza otra exactamente igual, pero en sentido contrario. La columna resultante es la intersección de dos columnas salomónicas simétricas.

Esta columna gaudiniana, o de doble giro, se transforma desde la estrella al círculo, pasando por un proceso en el que se va estrechando a medida que se eleva su fuste, a la vez que se multiplica el estriado cada metro, logrando finalmente la forma circular en sección.⁷⁴ (Figura 99)

⁷⁴ Las columnas de doble giro - Blog Sagrada Familia. (s.f.). Blog Sagrada Familia. <https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/>

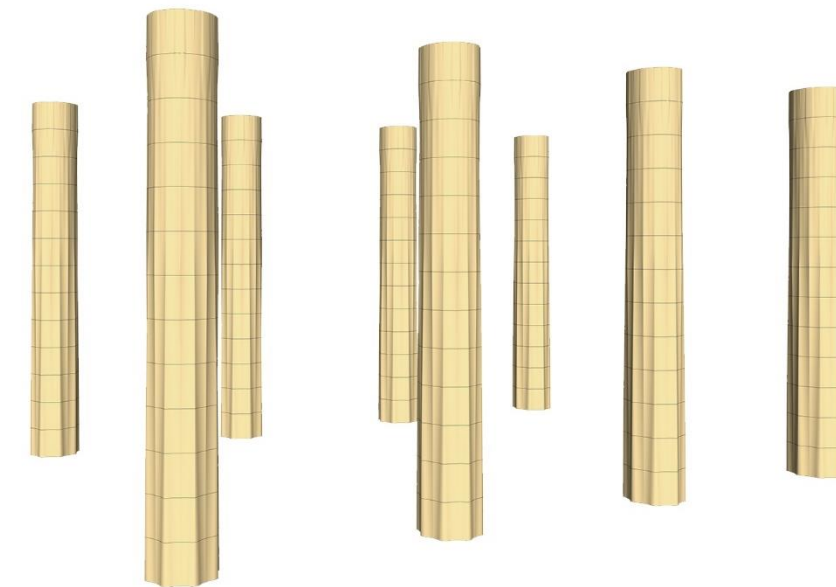


Fig. 99: Modelado 3D de columnas de doble giro de diez puntas. Elaboración propia.

7.2.3. Cuatro tipos de columnas

Las columnas que sustentan el templo de la Sagrada Familia podrían dividirse en cuatro grupos, según la capacidad de carga estructural requerida en cada caso, según la posición de las mismas y de las solicitaciones en cada lugar. (Figura 100)

- Columnas dispuestas en las esquinas del crucero. Estas son las que más carga soportan, debido a que sostienen la cúpula central y parte de las cuatro torres que emergen del centro del templo, dedicada cada una de ellas a cada evangelista. Además de esto, al igual que el resto de soportes, deben resistir las cargas provocadas por las bóvedas, cubiertas y demás elementos que se disponen alrededor.
- Columnas bajo las Torres de los Evangelistas. Son un total de ocho, las que se disponen en sentido perpendicular a las anteriores, tras ellas. Son las encargadas de sostener la mayor parte de la carga procedente de las torres.
- Columnas bajo el ábside y nave principal. Estas sostienen el peso de la Torre de la virgen, que, al ser tan pesada, necesita que los soportes se encuentren a poca distancia entre sí, para que la carga que soporta cada una de ellas sea menor. El resto de las columnas de este grupo sostiene el peso de las bóvedas del cuerpo central de la iglesia y parte del peso de las naves laterales.
- Columnas bajo las naves laterales y alrededor del ábside. Estas son las que menos resistencia estructural tienen, dividiendo la iglesia en tres naves. Reciben la mayor parte del peso de las laterales y de algún otro elemento.^{75 76}

⁷⁵ Giralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.

⁷⁶ Las columnas de doble giro-Blog Sagrada Familia. (s.f.). Blog Sagrada Familia. <https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/>

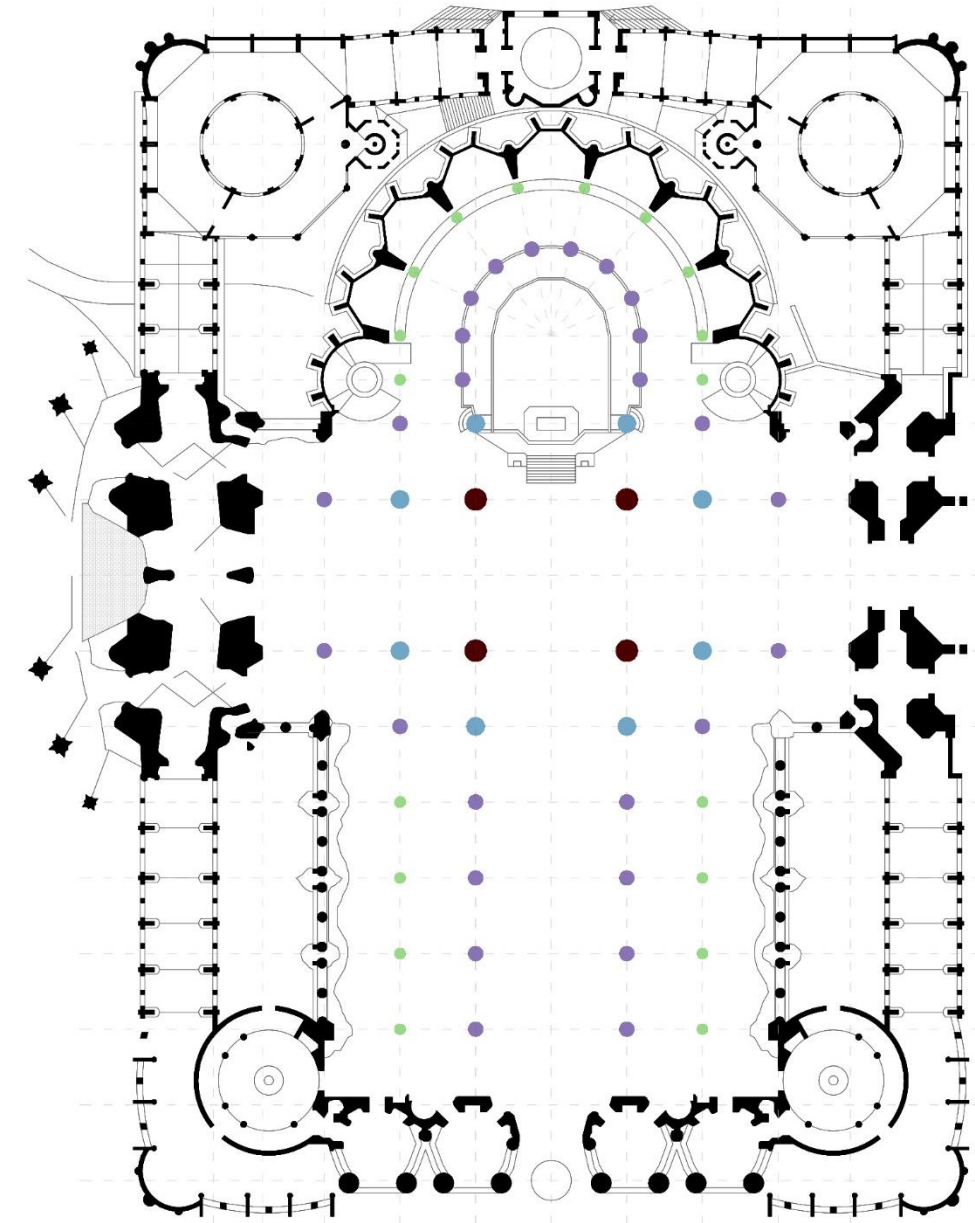


Fig. 100: Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. Planta destacando las columnas según jerarquía. Elaboración propia.

7.2.4. Bases estrelladas

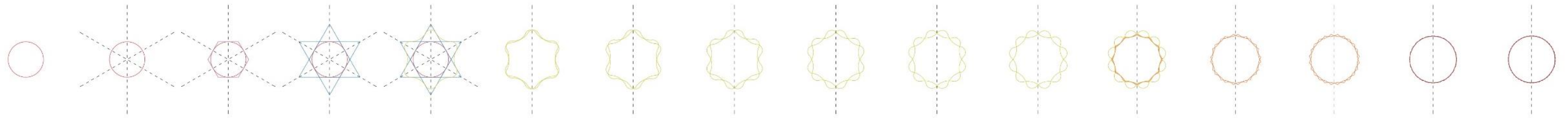
Además de diferenciarse por la resistencia ante las cargas de la Sagrada Familia, una de las características propias de cada tipo de columna es la forma de su base. Al tratarse de una estrella, nos referiremos a ellas en función del número de puntas que tiene cada una, poseyendo la mayor doce, la más importante en relación con la jerarquía de cargas, coincidiendo con el número secreto de la Sagrada Familia.

Para conseguir estas bases estrelladas, Antoni Gaudí utiliza el recurso de la superposición de polígonos regulares simples, tales como el triángulo equilátero, el cuadrado y el pentágono, que recordemos que son los polígonos que forman las caras de los poliedros explicados anteriormente.

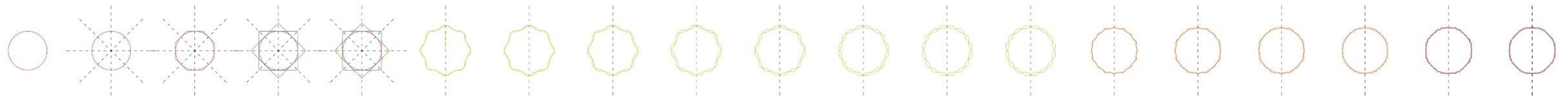
Para crear la estrella de seis puntas, el arquitecto superpone dos triángulos equiláteros, para la base estrellada de ocho puntas, utiliza dos cuadrados, para la de diez, dos pentágonos, y finalmente, para la de doce, utiliza y superpone tres cuadrados. (Figuras 101 y 102 en páginas siguientes, respectivamente)

No obstante, aunque nos referimos a las bases como estrelladas, la geometría final de las basas no son en forma de punta, sino que, tanto las exteriores como las interiores, provocadas por la intersección de los polígonos, tienen un acabado redondeado, agradable al tacto, que ofrece una visual más sinuosa de las columnas, más orgánica.⁷⁷

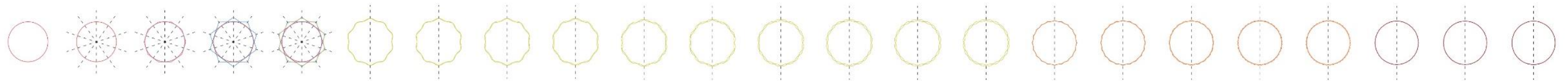
⁷⁷ Puig, A. (2011). *La Sagrada Familia Según Gaudí*. El Aleph Editores.



Desarrollo en planta de **columnas de seis puntas.**



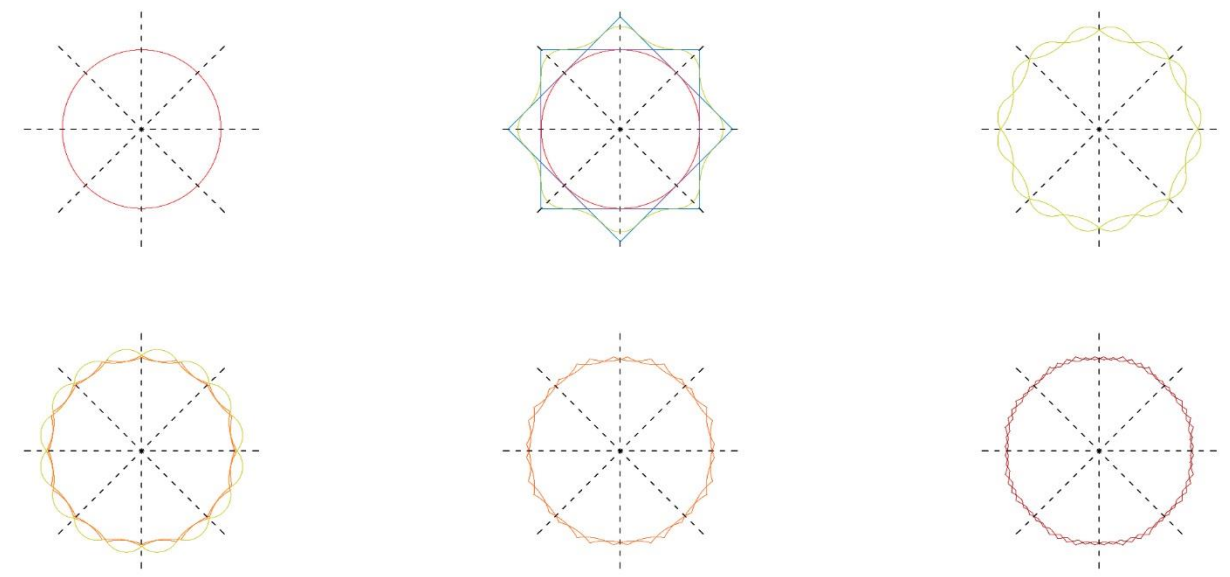
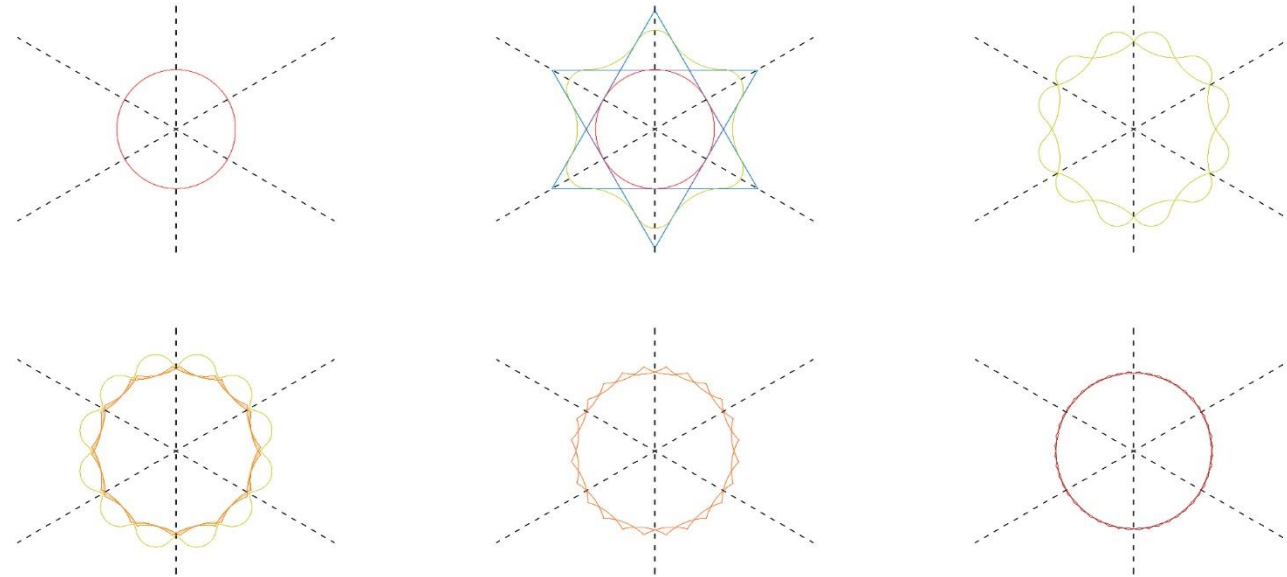
Desarrollo en planta de **columnas de ocho puntas.**



Desarrollo en planta de **columnas de diez puntas.**

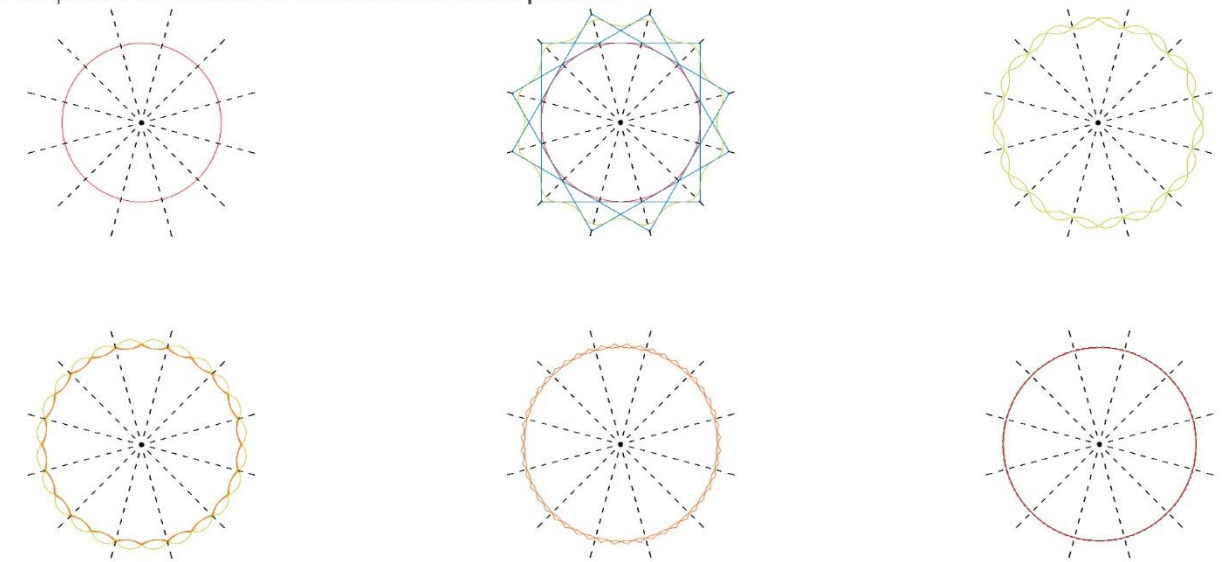
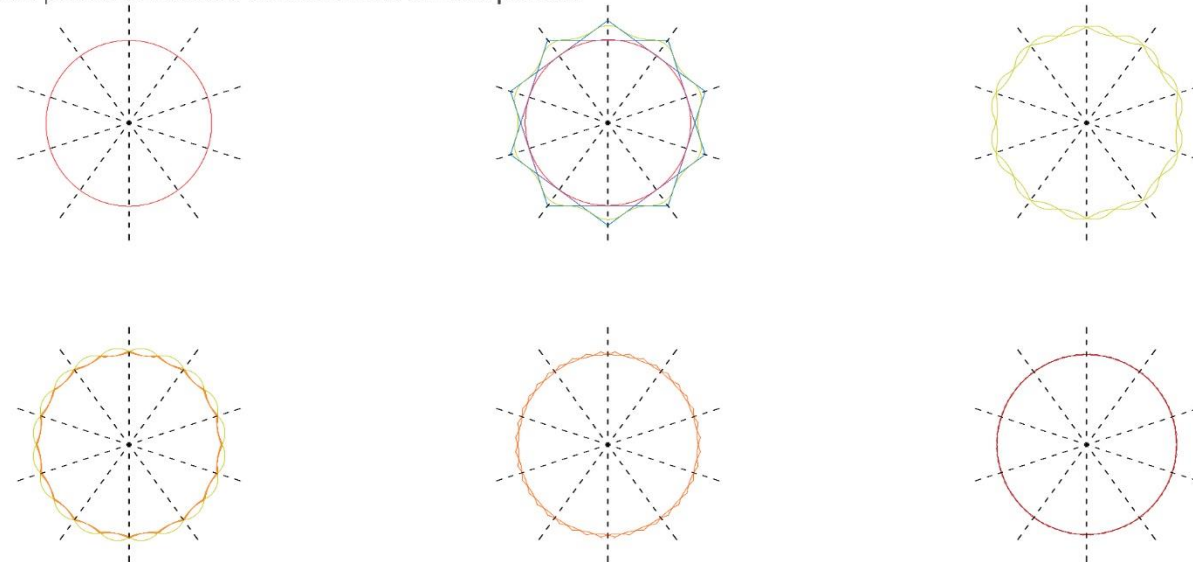


Desarrollo en planta de **columnas de doce puntas.**



Desarrollo en planta en detalle de **columnas de seis puntas.**

Desarrollo en planta en detalle de **columnas de ocho puntas.**



Desarrollo en planta en detalle de **columnas de diez puntas.**

Desarrollo en planta en detalle de **columnas de doce puntas.**

7.2.5. Diámetro y altura

Todas las medidas que forman las columnas tienen relación en sus proporciones. Por ejemplo, la altura total de cada una de ellas equivale al doble del número de puntas que conforman la base estrellada de la misma. Las columnas de Gaudí poseen una base, un fuste que podemos subdividir en tres partes, y un capitel, representado en forma de nudo del árbol, del que salen las ramificaciones superiores.⁷⁸ Para explicar las relaciones en altura con las bases, dividiremos las columnas según su localización (Figura 103):

- Columnas dispuestas en las esquinas del crucero. La base de estas posee 12 puntas ($12 \times 6/6$). La altura total es de 24 metros, siendo el fuste de 21 metros de altura ($12\text{m} + 6\text{m} + 3\text{m}$, de abajo hacia arriba). La altura de la base es de 1,20 metros, y la altura desde el fuste hasta el eje del capitel es de 1,80 metros. El diámetro interior de la base es de 2,1 metros, 10 veces menos que la altura total del fuste.
- Columnas bajo las Torres de los Evangelistas. La base de estas es de 10 puntas ($12 \times 5/6$). La altura total es de 20 metros, siendo el fuste de 17,5 ($21 \times 5/6$) metros de altura ($10\text{m} + 5\text{m} + 2,5\text{m}$, de abajo hacia arriba). La altura de la base es de 1,00 metros, y la altura desde el fuste hasta el eje del capitel es de 1,50 ($1,80 \times 5/6$) metros. El diámetro interior de la base es de 1,75 metros ($2,10 \times 5/6$), 10 veces menos que la altura total del fuste.
- Columnas bajo el ábside y nave principal. La base de estas es de 8 puntas ($12 \times 4/6$). La altura total es de 16 metros, siendo el fuste de 14 ($21 \times 4/6$) metros de altura ($8\text{m} + 4\text{m} + 2\text{m}$, de abajo hacia arriba). La altura de la base es de 0,80 metros, y la altura desde el fuste hasta el eje del capitel es de 1,20 ($1,80 \times 4/6$) metros. El diámetro interior de la base es de 1,40 metros ($2,10 \times 4/6$), 10 veces menos que la altura total del fuste.
- Columnas bajo las naves laterales y alrededor del ábside. La base de estas es de 6 puntas ($12 \times 3/6$). La altura total es de 12 metros, siendo el fuste de 10,50 ($21 \times 3/6$) metros de altura ($6\text{m} + 3\text{m} + 1,5\text{m}$, de abajo hacia arriba). La altura de la base es de 0,60 metros, y la altura desde el fuste hasta el eje del capitel es de 0,90 ($1,80 \times 3/6$) metros. El diámetro interior de la base es de 1,05 metros ($2,10 \times 3/6$), 10 veces menos que la altura total del fuste.

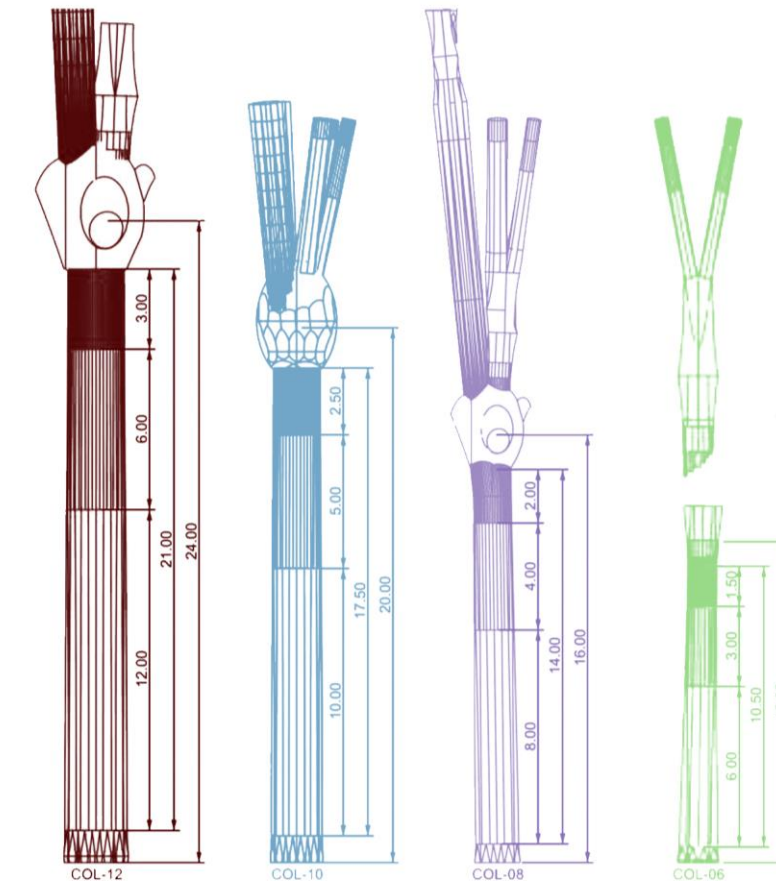


Fig. 103: Cuatro modelos de columnas de doble giro con sus respectivas cotas. Sagrada Familia. Barcelona. 1882-actualidad.

⁷⁸ *Las columnas de doble giro* – Blog Sagrada Familia. (s.f.). Blog Sagrada Familia. <https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/>

Conclusión

La arquitectura de Antoni Gaudí no es como la mayoría de la que conocemos hoy en día. A simple vista, puede parecer que sus obras se basan en una formalidad orgánica, y que todo gira en torno de la imagen final que va a transmitir al espectador. Tras haber analizado detenidamente todos los aspectos tenidos en cuenta por el arquitecto para crear cada una de sus obras, queda demostrado que no es así. Un aspecto a tener en cuenta a la hora de entender la materialidad de sus obras son sus raíces, la familia de artesanos de la que proviene, quienes tienen en cuenta las características de los materiales, los esfuerzos que soportan, la facilidad para la talla, la maleabilidad, ductilidad, etc.

La admiración de Gaudí por la naturaleza es otra de las bases fundamentales de su arquitectura. Comprender que los elementos vegetales, las formas humanas, las especies marinas, tienen una forma determinada debido a su funcionalidad y no a su formalidad, es el punto de partida desde el que hay que posicionarse para entender al arquitecto.

La arquitectura no se basa en edificios, conjuntos escultóricos, trazados urbanos o mobiliario. La arquitectura trasciende a todo esto, llevándolo a todo lo que nos encontramos a nuestro alrededor. Trasladar las estructuras naturales, que son las que llevan funcionando desde el origen para que, por ejemplo, un árbol siga en pie, o una persona pueda mantenerse erguida, a una edificación, y, a partir de ahí, crear un entorno con una finalidad determinada, que acoja a un público en concreto, en un lugar específico, y conseguir la armonía entre todos estos parámetros, eso es la arquitectura.

El mensaje que me ha llegado tras haber estudiado la arquitectura de Antoni Gaudí, es que, en el momento en el que creamos algo cuya funcionalidad se cumple, la forma la sigue sin necesidad de ser forzada. La simplicidad de llevar los elementos estructurales al exterior para dar un mensaje a quien esté destinada la obra, el juego de luces gracias a aperturas con una disposición concreta, el uso de materiales austeros, simples... todos estos detalles que Antoni Gaudí tuvo en cuenta en cada una de sus obras, hacen que sean unas de las referencias más importantes de la historia de la arquitectura.

En un primer momento, la motivación personal por llevar a cabo este trabajo era meramente estructural, entender el porqué del uso de ciertas formas para poder resistir unas sollicitaciones determinadas, y ver cómo podría jugar compositivamente con ello en el interior de sus obras. Tras haber finalizado, he comprendido que no es necesario llevar la arquitectura hasta la modernidad más absoluta, ni el uso de sistemas constructivos o materiales más novedosos, sino que, a veces, hay que detenerse a mirar lo que tenemos alrededor, a buscar la simplicidad, la funcionalidad.

Bibliografía

Libros:

- Alsina, C. (2012). *Gaudí. La búsqueda de la forma. Macla de geometrías* (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunwerg Editores S. A.
- Bargós Massó, J. (1974). *Gaudí, el hombre y la obra* (O. de los Ríos Magriñá, trad.). Gráficas Condal. Corchetes de autor.
- Bassegoda Nonell, J., & García Gabarró, G. (1998). *La catedral de Antoni Gaudí. Estudio Analítico de su obra*. Edicions UPC.
- Blair, D. A., Hodge, T. & Prigozhin, G. (2015). *Curvas y Superficies en la Naturaleza. Una crítica a las formas biológicas y sus funciones*. *Journal of Experimental Biology*.
- Bonet i Armengol, J. (2012). *Gaudí. La búsqueda de la forma. Columnas de doble giro* (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunwerg Editores S. A.
- Cirlot, J. E. (2002). *Gaudí. Triangle Postals*.
- Collin, G. (2010). *Gaudí: An Introduction to his Architecture*. Thames & Hudson.
- del Castillo-Olivares, M. D. E. (2019). *Luz y color en la arquitectura madrileña: vidrieras de los siglos XIX y XX* (O. Nieto Yusta, Org.). Centro de Estudios Ramón Areces, Editorial Universitaria Ramón Areces. (Obra original publicada en 2019).
- Do Carmo, M. P. (2016). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications.
- Fernández, S. H. (2003). El cálculo de estructuras en la obra de Gaudí. Ingeniería Civil.
- Fernández Ordoñez, J. A. (2002). *Gaudí. Estructura y Naturaleza*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Geralt-Miracle, D. (2012). *Gaudí Esencial*. La Vanguardia Ediciones, S. L.
- Gómez-Serrano, J. (2002). *Gaudí. La búsqueda de la forma: Espacio, geometría, estructura y construcción*. (D. Geralt-Miracle, Org.). Ayuntamiento de Barcelona, Institut de Cultura, Lunwerg Editores S. A. (Obra original publicada en 2002).
- Mandelbrot, B. (2020). *La geometría fractal de la naturaleza*. Tusquet Editores.
- Navascués Palacio, P. (1993). *SUMMA ARTIS. Historia general del Arte: Vol. 35. ARQUITECTURA ESPAÑOLA (1808-1914)*, ESPASA Calpe, S. A. (Obra original publicada en 1993).
- Puig, A. (2011). *El Templo de la Sagrada Familia Según Gaudí*. El Aleph Editores.
- Puig Boada, I. (2011). *El Templo de la Sagrada Familia*. Ediciones Omega S. A.
- Tarragó, S. (Ed.). (1991). *Antoni Gaudí. Estudios Críticos 5*. Ediciones del Serbal.

Tesis/Trabajos de Fin de Grado

- Pastor Pérez de Lis, M. (2021). Superficies mínimas y regladas. Ampliación de matemáticas en la educación secundaria. Universidad de Alcalá.

Páginas web:

- Arquitectura Catalana. Cat. (2019, 18 de octubre). *Fábrica Casaramona – Arquitectura Catalana. Cat.* <https://www.arquitecturacatalana.cat/es/obras/fabrica-casaramona>
- *Biografía de Robert Hooke*. (s. f.). <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hooke.htm>.
- *Casa Museu Enric d'Ossó | Vinebre* (s. f.). <https://turismevinebre.cat/que-visitar/casa-museu-enric-dosso-cervello/>

- *Colegio de las Teresianas | Barcelona Modernista y Singular*. (s.f.). Barcelona Modernista y Singular | Descubre lugares modernistas y singulares. <https://modernismobarcelona.com/lugares/colegio-de-las-teresianas/>
- *cubo | Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/cubo>
- *dodecaedro | Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/dodecaedro>
- *El interior. Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona*. (s. f.). Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona. Recuperado 1 de febrero de 2023, de <https://www.casabatllo.es/antoni-gaudi/casa-batllo/interior/>.
- *Escuela de Arte de Glasgow – Ficha, Fotos y Planos – WikiArquitectura*. (s.f.). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/escuela-de-arte-de-glasgow/>
- *Fachadas de la Sagrada Familia | Historia y simbolismo*. (s.f.). Sagrada Familia Tickets | Priority Access. <https://sagradafamilia.barcelona-tickets.com/es/sagrada-familia-facades/>
- *Historia del templo – Sagrada Familia – Sagrada Familia*. (s.f.). Sagrada Familia; Proveedores oficiales d'entrades – Sagrada Familia. <https://sagradafamilia.org/es/historia-del-templo>
- *icosaedro | Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/icosaedro>
- *La Cripta de la Colonia Güell*. (s.f.). Las Piedras de Barcelona. <https://laspiedrasdebarcelona.blogspot.com/2018/09/la-cripta-de-la-colonia-guell.html>
- *La leyenda de San Jorge y el dragón*. (2022, 19 abril). *Historia.nationalgeographic.com.es*. Recuperado 31 de enero de 2023, de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/leyenda-san-jorge-y-dragon_12574
- *La Manzana de la Discordia en Barcelona*. (s. f.). Casa Batlló de Antoni Gaudí, Barcelona. <https://casabatllo.es/antoni-gaudi/barcelona/manzana-discordia/>. Recuperado el 31 de enero de 2023.
- *Las columnas de doble giro – Blog Sagrada Familia*. (s.f.). Blog Sagrada Familia. <https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/>
- *Las escaleras de caracol de la Sagrada Familia – Sagrada Familia Barcelona* (s.f.). Sagrada Familia Barcelona. <https://sagradafamilia-tickets.com/es/blog-sagrada-familia/las-escaleras-de-caracol-de-la-sagrada-familia/>
- *Metro de París – Ficha, Fotos y Planos – WikiArquitectura*. (s.f.). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/metro-de-paris/>
- *octaedro | Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/octaedro>
- *Productos*. (s. f.). Home – GUNT Gerätebau. <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-y-diseno-mecanico/estatica/puentes-vigas-arcos-cables/arco-parabolico/022.11016/se110-16/glct-1:pa-150:ca-8:pr-1276>
- *tetraedro | Diccionario de la lengua española*. (s.f.). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/tetraedro>

Procedencia de imágenes

- Figura 1.
<https://www.posterlounge.es/p/473707.html>
- Figura 2.
<https://www.nrw-vakantie.nl/de-hohenhof-in-hagen>
- Figura 3.
https://arthive.com/es/victorhorta/works/605223~Tassel_Mansion_Hotel_Tassel
- Figura 4.
<https://canasdeviaje.com/cuatro-edificios-art-nouveau-de-victor-horta-en-bruselas-en-un-carrete-de-36-fotografias/>
- Figura 5.
<https://canasdeviaje.com/cuatro-edificios-art-nouveau-de-victor-horta-en-bruselas-en-un-carrete-de-36-fotografias/>
- Figura 6.
https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-del-pueblo/maison-du-peuple_06/
- Figura 7.
<https://www.gsa.ac.uk/about-gsa/key-information/the-mackintosh-building/>
- Figura 8.
<https://www.dezeen.com/2018/06/04/charles-rennie-mackintosh-hill-house-helensburgh-architecture/>
- Figura 9.
https://es.wikiarquitectura.com/willow_tea_rooms_1905_arch_10/
- Figura 10.
<https://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2011/07/olbrich-pabellon-de-la-secesion-viena.html>
- Figura 11.
https://www.urbipedia.org/hoja/Estaci%C3%B3n_de_metro_en_Karlsplatz#/media/File:Otto_Wagner.Estacion_metro.plan_osl.jpg
- Figura 12.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Maiolikahaus>
- Figura 13.
https://es.wikiarquitectura.com/edificio/caja-de-ahorros-postal-de-viena/postal-bank-vienna-wikiarquitectura_022/
- Figura 14.
<https://thespaces.com/buy-a-piece-of-an-1898-parisian-masterpiece-for-e840000/5/#gallery>
- Figura 15.
<https://www.sortiraparis.com/es/que-visitar-en-paris/historia-patrimonio/articulos/290541-sabia-que-el-castel-beranger-es-uno-de-los-edificios-emblematicos-del-art-nouveau-en-paris>

- Figura 16.
<https://frenchmoments.eu/castel-beranger/#>
- Figura 17.
<https://parisenmetro.eu/estacion-abbesses/>
- Figura 18.
<https://rutadelmodernisme.com/es/ficha/palau-de-la-musica-catalana-es/>
- Figura 19.
<https://www.gaudigolfclub.com/reus/>
- Figura 20.
<https://fundacionantoniogaudi.org/el-proyecto-de-fin-de-carrera-de-gaudi/>
- Figura 21.
<https://fundacionantoniogaudi.org/el-proyecto-de-fin-de-carrera-de-gaudi/>
- Figura 22.
<https://fundacionantoniogaudi.org/el-proyecto-de-fin-de-carrera-de-gaudi/>
- Figura 23.
<https://oldbcn.com/es/turismo/arte-publico/farolas-de-la-placa-reial>
- Figura 24. ´
<https://www.bcncatfilmcommission.com/es/location/casa-vicens>
- Figura 25.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Bellesguard>
- Figura 26.
<https://bellesguardgaudi.com/bellesguard/>
- Figura 27.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 28.
<https://cooksipgo.com/gaudi-la-pedrera-barcelona-spain/>
- Figura 29.
<https://cristinafigueroa.es/portfolio/la-manzana-de-la-discordia-en-barcelona/>
- Figura 30.
<https://www.barcelonasiempre.com/es/casa-batllo>
- Figura 31.
https://cronicaglobal.espanol.com/vida/casa-batllo-mejor-monumento-mundo-segun-remarkable-venue-awards-2021_596239_102.html

- Figura 32.
<https://www.talenthouse.com/item/2469858/28667919>
- Figura 33.
<https://www.dosde.com/discover/casa-batllo/>
- Figura 34.
<https://www.arquitecturacatalana.cat/es/obras/nous-apartaments-a-les-golfes-de-la-casa-mila>
- Figura 35.
<https://www.lapedrera.com/ca/la-pedrera/arquitectura>
- Figura 36.
<https://www.lapedrera.com/ca/la-pedrera/arquitectura>
- Figura 37.
<https://www.lapedrera.com/es/la-pedrera/arquitectura-gaudi>
- Figura 38.
<https://www.lapedrera.com/es/la-pedrera/arquitectura-gaudi>
- Figura 39.
https://metropoliabierta.elespanol.com/el-pulso-de-la-ciudad/secretos-pedrera-gaudi_17736_102.html
- Figura 40.
Fotografía de elaboración propia.
- Figura 41.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 42.
<https://www.terranostrum.es/turismo/palacio-de-los-condes-de-miranda>
- Figura 43.
<https://architecturalvisits.com/col%C2%B7legi-de-les-teresianes/>
- Figura 44.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 45.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 46.
<https://architecturalvisits.com/col%C2%B7legi-de-les-teresianes/>
- Figura 47.
<https://architecturalvisits.com/col%C2%B7legi-de-les-teresianes/>
- Figura 48.
<https://architecturalvisits.com/col%C2%B7legi-de-les-teresianes/>
- Figura 45.
<https://blog.sagradafamilia.org/es/divulgacion/sagrada-familia-receptaculo-otros-proyectos-gaudi/>

- Figura 46.
https://es.wikiarquitectura.com/cripta_colonia_guell_procesos/ Editada por la autora.
- Figura 47.
<https://barcelonasecreta.com/cripta-colonia-guell-patrimonio-cultural/>
- Figura 48.
<https://barcelonasecreta.com/cripta-colonia-guell-patrimonio-cultural/>
- Figura 49.
Dibujo de elaboración propia. Uso de GeoGebra.
- Figura 50.
Dibujo de elaboración propia. Uso de GeoGebra.
- Figura 51.
<https://cooksipgo.com/gaudi-la-pedrera-barcelona-spain/>
- Figura 52.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 53.
<https://www.dosde.com/discover/cripta-guell/>
- Figura 54.
<https://escardo.eu/gaudi/es/colonia-guell-2/>
- Figura 55.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 56.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 57.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 58.
<https://www.ngenespanol.com/historia/como-se-construyeron-las-piramides-de-giza/>
- Figura 59.
<https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/biodiversidad/arbol-recurso-valor-incalculable/>
- Figura 60.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 61.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 62.
<https://101lugaresincreibiles.com/2018/06/fotos-de-interior-y-exteriores-de-casa-batllo-otra-genialidad-de-gaudi-en-barcelona.html>

- Figura 63.
<https://www.dosde.com/discover/casa-batllo/>
- Figura 64.
<https://twitter.com/sagradafamilia/status/1062997287864025090>
- Figura 65.
https://es.pngtree.com/freebackground/seen-from-above-enjoy-the-panoramic-view-of-beautiful-waves_2337784.html
- Figura 66.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 67.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 68.
<https://lasombradegaudi.blogspot.com/2012/10/un-paseo-diferente-por-el-park-guell.html>
- Figura 69.
<https://www.eluleka.es/comunidad-de-viajeros/espana/cataluna/barcelona/blog/la-pedrer-a-casa-mila-otra-genialidad-de-antoni-gaudi>
- Figura 70.
<https://irlosa.iimdo.com/2014/04/06/cripta-colonia-g%C3%BCell/>
- Figura 71.
<https://twitter.com/sagradafamilia/status/893037697304080386>
- Figura 72.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 73.
<https://chitiya.wordpress.com/gaudi-y-la-geometria/>
- Figura 74.
<https://www.archdaily.cl/cl/964192/de-la-piedra-artesanal-a-la-impression-3d-evolucion-tecnologica-y-material-de-la-sagrada-familia-de-gaudi>
- Figura 75.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 76.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 77.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 78.
<https://www.dosde.com/sagrada-familia-gran-creacion-gaudi-foto.html>
- Figura 79.
<https://blog.sagradafamilia.org/es/divulgacion/las-escuelas-de-la-sagrada-familia/>

- Figura 80.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 81.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 82.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 83.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 84.
<https://www.dosde.com/casa-batllo-original-gaudi-lujo.html>
- Figura 85.
<https://sagradafamilia.barcelona-tickets.com/es/sagrada-familia-towers/>
- Figura 86.
https://es.123rf.com/photo_17915867_gibbula-concha-con-forma-de-espiral-dram%C3%A1tica-parcialmente-enterrada-en-la-arena-en-la-playa-.html
- Figura 87.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-se-forman-los-tornados_19185
- Figura 88.
<https://www.timeout.es/barcelona/es/noticias/reconocen-la-sagrada-familia-como-el-mejor-monumento-del-mundo-2020-012521>
- Figura 89.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 90.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 92.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 93.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 94.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 95.
<https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/>
- Figura 96.
<https://www.monumentosderoma.es/el-panteon/>
- Figura 97.
<https://www.diariodeburgos.es/noticia/z582e9bcc-e5f8-72ac-d222fe61d00901d8/202303/los-fragmentos-del-partenon-regresaran-a-atenas-el-24-de-marzo>

- Figura 98.
<https://www.holyart.es/blog/articulos-religiosos/historia-del-baldaquino-de-san-pedro/>
- Figura 99.
Modelo 3D de elaboración propia.
- Figura 100.
Planimetría de elaboración propia.
- Figura 101.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 102.
Dibujo de elaboración propia.
- Figura 103.
<https://blog.sagradafamilia.org/es/especialistas/las-columnas-de-doble-giro/> Editada por la autora.



Antoni Gaudí