



GEOMETRÍA GAUDINIANA

CLAUDI ALSINA
JOSEP GÓMEZ-SERRANO

El objetivo de este texto es mostrar la excelencia de Gaudí en la creatividad arquitectónica gracias a una combinación perfecta entre el buen oficio constructivo y una visión estructural profunda con una sorprendente investigación geométrica de formas, transformaciones y operaciones espaciales. Nuestra aproximación a la geometría gaudiniana pretende poner de manifiesto que la genialidad del arquitecto fue en gran parte el resultado de un análisis geométrico profundo, de una investigación espacial sin precedentes en el mundo de la arquitectura. Esa labor garantiza ahora, por encima de la admiración por un hombre y una obra, la proyección de ideas y recursos arquitectónicos que formarán parte, para siempre, del repertorio compositivo con soporte científicotécnico.

Referentes culturales y naturales de Gaudí

«El interior del templo será como un bosque.»
Antoni Gaudí

Una parte de la geometría inherente a la obra de Gaudí podría considerarse asociada a los referentes naturales y culturales que observó el arquitecto con una complacencia especial durante su juventud. Durante su primer período, el conocimiento de estilos adquirido en la biblioteca de la Escuela de Arquitectura, las observaciones en los campos de Reus, las innumerables excursiones por toda Cataluña, etcétera, constituyeron una fuente de inspiración formal, el poso de un eclecticismo inicial. Era tanto su interés por la naturaleza que, por ejemplo, en 1871, pendiente aún de aprobar la asignatura de Mecánica racional, se matriculó, entre otras cosas, en Historia natural, y, aunque no era una materia necesaria para estudiar Arquitectura, se examinó y la aprobó.

Las decoraciones de la Alhambra de Granada, los arcos de Poblet, las rocas de Montserrat, las formas de los frutos y los árboles, la torsión de los troncos y los huesos..., toda una serie de elementos se convirtió en referentes naturales o artísticos que explican parcialmente muchos detalles del primer Gaudí. No obstante, a pesar de las muchas explicaciones orales que confió a sus seguidores y discípulos sobre la maestría de la naturaleza, tampoco hay que sobrevalorar la influencia formal directa de esos elementos. Las soluciones gaudinianas son, raramente, la expresión literal de algo preexistente. Gaudí hacía pasar la inspiración por el tamiz de una creatividad personal inagotable. Así, la famosa afirmación «Este árbol cercano a mi obrador: éste es mi maestro» expresa muy bien la

A la izquierda:
Arborescencia de las columnas
del templo de la Sagrada Família

devoción por la obra de Dios, pero las columnas arborescentes de la Sagrada Família van mucho más allá en cuanto a complejidad geométrica que el crecimiento helicoidal del tronco de los eucaliptos o el desarrollo en el espacio natural del ramaje de los plátanos.



Maclación de paraboloides hiperbólicos, hiperboloides de una hoja y columnas (1926)

Una investigación experimental en el obrador

«Yo soy geómetra, que quiere decir sintético.»

Antoni Gaudí

En el estudio de Gaudí, tanto el material bibliográfico como el gráfico se reducían a lo imprescindible. En su obrador había un taller fotográfico, un espacio para hacer esculturas, un almacén para guardarlas, una amplia zona para confeccionar maquetas de yeso, espejos para ensayar visiones indirectas, campanas tubulares para estudiar sonoridades, techos móviles para experimentar la iluminación y una infinidad de «modelos» de los que se servía para investigar activamente soluciones óptimas.

Gaudí se formó a sí mismo resolviendo sus propios problemas: «En los libros raramente se encuentra lo que se busca y, cuando se encuentra, a menudo está mal, de modo que al final siempre acaban pensándose las cosas directamente».

Gaudí limitó su interés geométrico a lo necesario, y nunca dejaba de sorprenderse cuando lo que encontraba era innovador: «Mis ideas estructurales y estéticas son de una lógica "indisputable". Me ha dado mucho que pensar el hecho de que no hayan sido aplicadas antes, el que tenga que ser yo el primero en hacerlo. Eso sería lo único que, en todo caso, me haría dudar. No obstante, creo que, convencido del perfeccionamiento que representan, tengo el deber de aplicarlas».

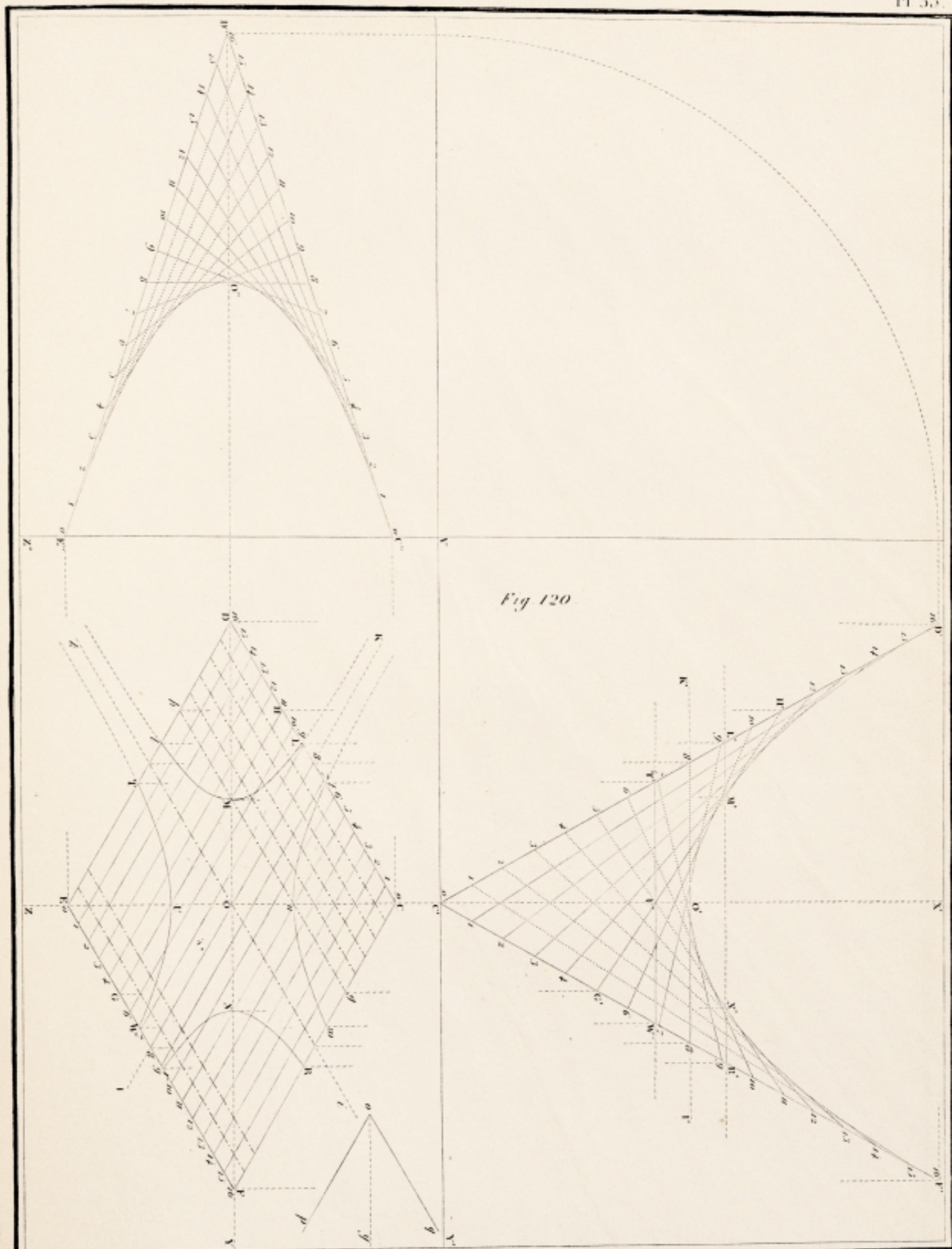
Hay que destacar que Gaudí utilizaba el término «indisputable» en el sentido de «indiscutible». Esa firme defensa de sus resultados es la clave a partir de la cual podemos empezar a entender su trabajo a partir del año 1883 y el resultado de su legado: la obra final es siempre el fruto de una profunda reflexión experimental geométrica



Maqueta de las columnas y los techos del obrador (1926)

A la derecha:
Paraboloide hiperbólico representado
en el tratado de C. F. A. Leroy (1855)

Fig 120



guiada por la funcionalidad, las posibilidades de construcción y la estructura que darán sentido arquitectónico a la creación. Sin embargo, antes de hacer la maqueta a escala (1:10 o 1:25) que debía concretar cualquier proyecto, Gaudí descartaba mil soluciones parciales siguiendo una reflexión metódica y sistemática, ajena a las prisas y a los compromisos temporales o económicos.

Cabe señalar también que para Gaudí hacer un proyecto de arquitectura era desarrollar y ejecutar una obra «íntegramente», cuidarse de todos los aspectos, hasta los detalles más mínimos. La acústica, la iluminación, la higiene, la ventilación, los cierres, la decoración, el mobiliario, etcétera, todo podía concebirse e integrarse en el proyecto. Aquí Gaudí puso en práctica el profundo conocimiento que tenía de los oficios relacionados con la arquitectura de su tiempo, desde el de picapedrero hasta el de albañil, sin olvidar a los ceramistas, los herreros, los pintores, los modelistas, los fundidores, los jardineros, etcétera.

Creatividad tridimensional

«La evidencia es a los ojos del espíritu lo que la visión a los del cuerpo.»

Antoni Gaudí

Crítico con los procedimientos académicos de expresión gráfica, Gaudí fue capaz de desarrollar la creatividad tridimensional combinando al mismo tiempo cuatro elementos clave: una extraordinaria inteligencia espacial innata; una contemplación profunda de la realidad; una investigación sobre modelos tangibles, y una visión pragmática de las posibilidades constructivas, estructurales y compositivas.

Sin embargo, ese dominio del espacio nunca le llevó a crear objetos escultóricos. Sus «formas» son siempre elementos arquitectónicos, pendientes de una funcionalidad imprescindible y con elementos de una gran belleza de cara al exterior: la derivada de la decoración, la de la propia originalidad compositiva y la ligada a la propia coherencia estructural.

A continuación vamos a sintetizar algunas de las características de los recursos de exploración del espacio que utilizó Gaudí:

LA TRASLACIÓN. Es el proceso de repetir mediante desplazamientos, lo que crea el efecto de cenefa. Gaudí lo utilizó también espacialmente en Bellesguard, en los arcos del colegio de las Teresianas, en el rosario de esferas de piedra del Parc Güell, etcétera.

LA SIMETRIZACIÓN. Se trata del proceso que utiliza planos de simetría para generar objetos de simetría especular. Las fachadas de las casas Calvet y Batlló, la escalinata de acceso al Parc Güell, las plantas del Palacio Episcopal de Astorga y de la Sagrada Família, etcétera, son ejemplos claros de simetrización, lo mismo que los estudios «estereofuniculares» que hizo Gaudí con hilos, cadenas y cargas para obtener una simulación de la estructura buscada.

LA MODULACIÓN. El uso de módulos prefabricados en el Parc Güell, el sistema de medidas (módulo de 7,5 metros) y proporciones de la Sagrada Família (1, 1/3, 1/4, 1/2, 3/4, 2/3, 1) y el reticulado de la estructura de la Casa Milà son ejemplos definitivos del gusto gaudiniano por ordenar el espacio a partir de la modulación.

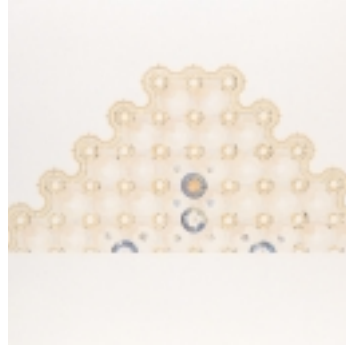
LA GENERACIÓN HELICOIDAL. Este principio combina de forma compleja una o dos rotaciones en torno a un eje y traslaciones en la dirección de éste, lo que origina un intere-



Traslación de arcos catenarios de la Casa Milà. Modelo catenario del Espacio Gaudí



Simetrización



Modulación



Generación helicoidal



Redondeo de formas



Maclación



Vaciado



Disección



Fractalidad

sante movimiento vertical ligado a las hélices cilíndricas, al helicoide y a las rampas helicoidales. Muchas columnas, escaleras de caracol, chimeneas, etcétera, gaudinianas nos muestran este principio.

Si se añade la posibilidad de hacer homotecias, se crea un efecto propio de las hélices en conos. Las chimeneas del Palau Güell y la aguja del pabellón de entrada al Parc Güell son ejemplos espectaculares de ello.

EL REDONDEO DE FORMAS. Se trata del proceso de suavizar ángulos y puntas añadiendo contornos suaves a partir de parábolas, arcos de círculo, perfiles sinusoidales, etcétera. En el caso extremo tendríamos la deformación topológica suave de un cuerpo. Encontramos ese efecto en la entrada del Parc Güell, en la fachada de la Casa Milà, en las columnas de la Sagrada Família, etcétera.

LA MACLACIÓN. La operación, compleja, de intersectar o acoplar diversas figuras geométricas culmina en la obra gaudiniana en la Sagrada Família, con la maclación de superficies regladas y elipsoidales y, muy especialmente, con la creación de los pináculos.

EL VACIADO. Este procedimiento consiste en obtener un cuerpo espacial por sustracción de unas partes determinadas. En la obra de Gaudí lo encontramos, por ejemplo, en el arco de la puerta principal del Palacio Episcopal de Astorga, en León; o en el friso creado en la moldura de algunas puertas de la Casa Milà después de haber retirado el material correspondiente con un dedo, o en algunas figuras geométricas de la Sagrada Família como los nudos culminantes de las columnas o las intersecciones de superficies que se observan en los techos.

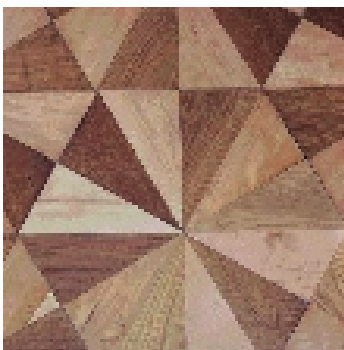
LA DISECCIÓN. Gaudí aplicó muy selectivamente ese principio de hacer una disección de figuras espaciales (especialmente superficies) y aprovechar solamente una parte, lo que a veces hace difícil descubrir el molde de procedencia. Por ejemplo, utilizó magistralmente partes del hiperboloide de una hoja y del paraboloides hiperbólico en los techos y los ventanales de la Sagrada Família.

LA FRACTALIDAD. Gaudí aprovechó el principio natural de la fractalidad en el crecimiento de las ramas de los árboles para diseñar las columnas de la Sagrada Família: el «tronco» origina, a partir de los «nudos» elipsoidales, nuevas «columnas rama», una manera genial de distribuir y transmitir las cargas superiores.

LA AUTOSEMEJANZA. Es el principio según el cual se utiliza a la vez una misma forma de medidas muy diferentes, a escalas distantes. Gaudí la empleó magistralmente cuando, por ejemplo, en la Sagrada Família aplicó paraboloides hiperbólicos gigantescos a las bóvedas y, a un tiempo, usó modelos minúsculos de la misma superficie para decorar la carga de las columnas al suelo, o en la leve decoración de algunas partes del techo de la Sagrada Família (techo de paraboloides) o en la inclusión de las luces en el techo.

Formas poligonales gaudinianas

«La disposición constructiva debe dominar la mecánica.»
Antoni Gaudí



Mosaico de parquet basado en la división del hexágono regular en triángulos rectángulos



Mosaico hexagonal cerámico para la Casa Escofet. La decoración incluye espirales

A la derecha:
Hiperboloide de una hoja representado en el tratado de C. F. A. Leroy (1855)

Las formas poligonales planas son omnipresentes en la obra de Gaudí en dos ámbitos: como determinantes de elementos constructivos (plantas, ventanas, separadores, baldosas, etcétera) y como generadoras de decoración (cerámica, letras, *trencadís*, etcétera).

Los polígonos planos regulares más usuales son los triángulos, los cuadrados, los pentágonos, los hexágonos, los octágonos, los decágonos y los dodecágonos. Un ejemplo emblemático es el de los triángulos de ladrillo de Bellesguard, las baldosas cuadradas de la Casa Vicens, las ventanas pentagonales de El Capricho o las baldosas hexagonales del paseo de Gràcia.

Como muestra de la creatividad poligonal gaudiniana podemos observar el diseño de las piezas de madera utilizadas para embaldosar algunas dependencias de la Casa Milà. Gaudí descubrió el hexágono regular como reunión de triángulos rectángulos. Así obtuvo una subdivisión (en dos colores) del hexágono en 12 triángulos rectángulos. Como éste es una baldosa perfecta, el mosaico generado presenta un efecto sorprendente.

En el ámbito espacial las formas poligonales tienen un triple protagonismo: estructuralmente, como formas con cargas para estudiar los funículos; como poliedros en las cruces y los pináculos, y como generadores de las columnas de la Sagrada Família.

Gaudí estudió el diseño de los arcos y las bóvedas a partir de hilos con saquitos de perdigones como pesos para visualizar las distribuciones de las cargas poligonales. La meticulosidad del arquitecto a la hora de hacer esos estudios puede observarse en la descripción siguiente: «Lo calculo todo: primero, supongo unos pesos para buscar el funículo, y después visto el funículo hallado con formas y materiales cuyos pesos vuelvo a revisar, y a veces varío ligeramente los funículos. De ese modo sale la forma lógica nacida de las necesidades. Los funículos de la Sagrada Família los he encontrado gráficamente, y los de la Colònia Güell experimentalmente, pero ambos procedimientos son lo mismo, y el uno es hijo del otro.»

Fig. 46.

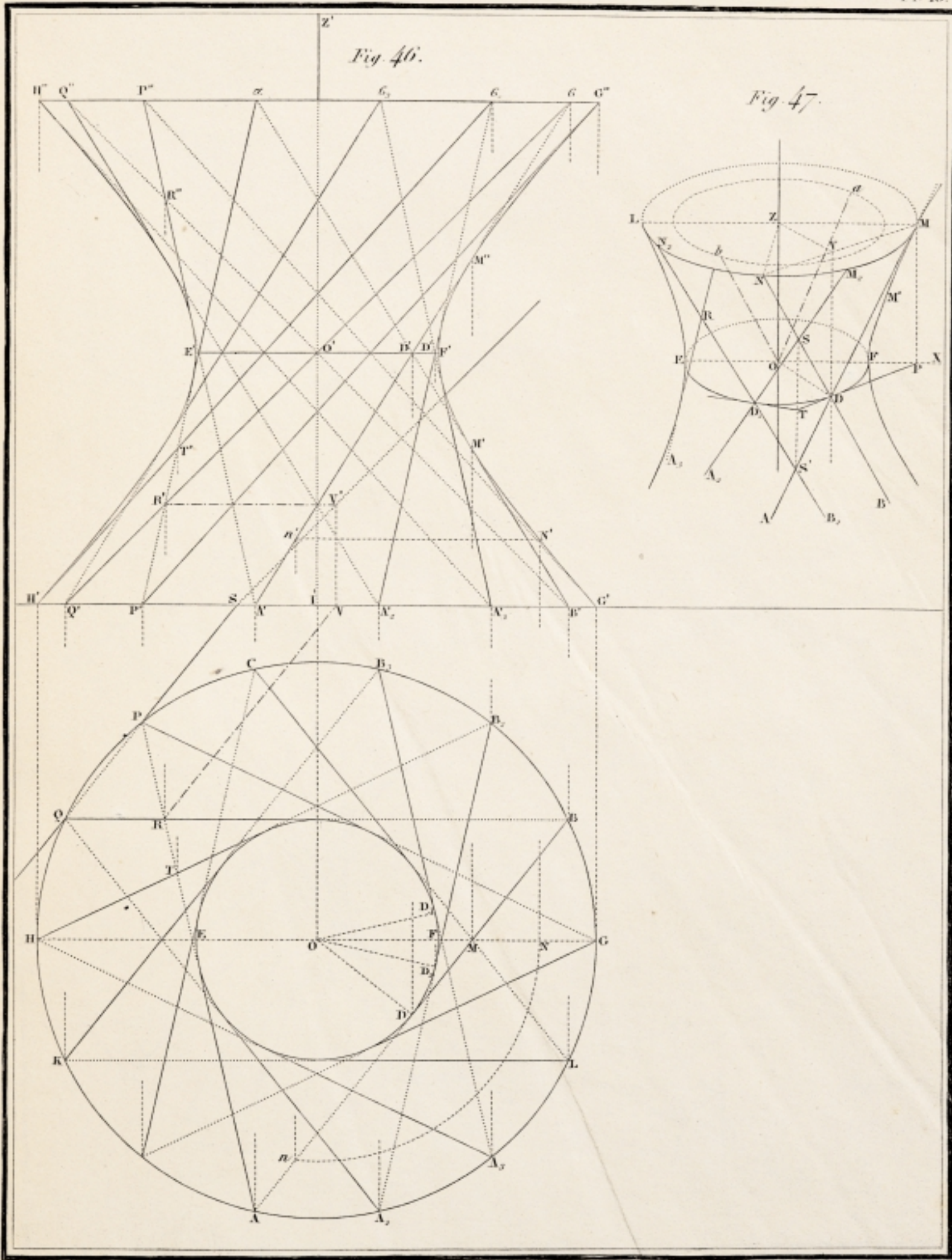
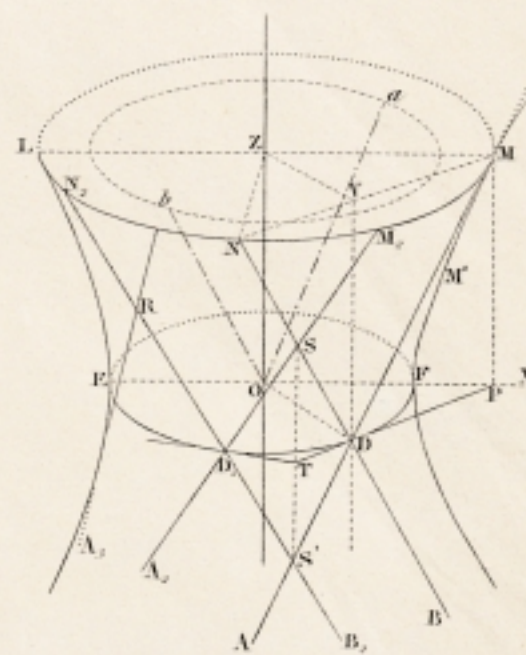


Fig. 47.



En esta última frase puede constatarse la aproximación que hace Gaudí de los «resultados experimentales» a la «estática gráfica».

En cuanto a los poliedros, encontramos polígonos asociados a cubos, octaedros, dodecaedros o sus intersecciones (ver el apartado «Macra de geometrías», p. 118).

En lo referente a las columnas (ver el apartado «Columna de doble giro», p. 104), hay que recordar que las columnas para $n = 6$, $n = 8$, $n = 10$ y $n = 12$ están hechas en la Sagrada Família con hormigón armado en el centro y piedra (de Montjuïc) alrededor para $n = 6$; de granito para $n = 8$; de basalto para $n = 10$, y de pórfido para $n = 12$.

Las columnas de la Sagrada Família nacen de un juego geométrico finísimo en el que se mueven polígonos y se intersecan volúmenes, y representan sin duda la culminación del meditado y profundo itinerario geométrico de Gaudí.

Curvas planas gaudinianas

«Las formas continuas son las perfectas.»

Antoni Gaudí

Hay cinco tipos de curvas con un protagonismo especial en la obra de Gaudí: las catenarias, las espirales, las sinusoidales, las cónicas y las redondeadas. A continuación mencionamos las características y los ejemplos principales de cada uno.



Arcos catenarios de la Casa Milà

CATENARIA. La curva catenaria se había estudiado en física y matemáticas mucho antes de Gaudí. Se corresponde con la forma de una cadena que cuelga libremente de dos extremos y su ecuación es $y = a \cosh(x/a) = a (\exp(x/a) + \exp(-x/a))/2$, en la cual a es constante, \cosh indica el coseno hiperbólico y \exp , la función exponencial que tiene por base el número e . Cerca de su mínimo la catenaria se aproxima muy bien mediante la parábola $a + x^2/2a$ (para valores grandes de x , sin embargo, diverge mucho de esta parábola), y eso ha llevado a menudo a la confusión entre parábola y catenaria.

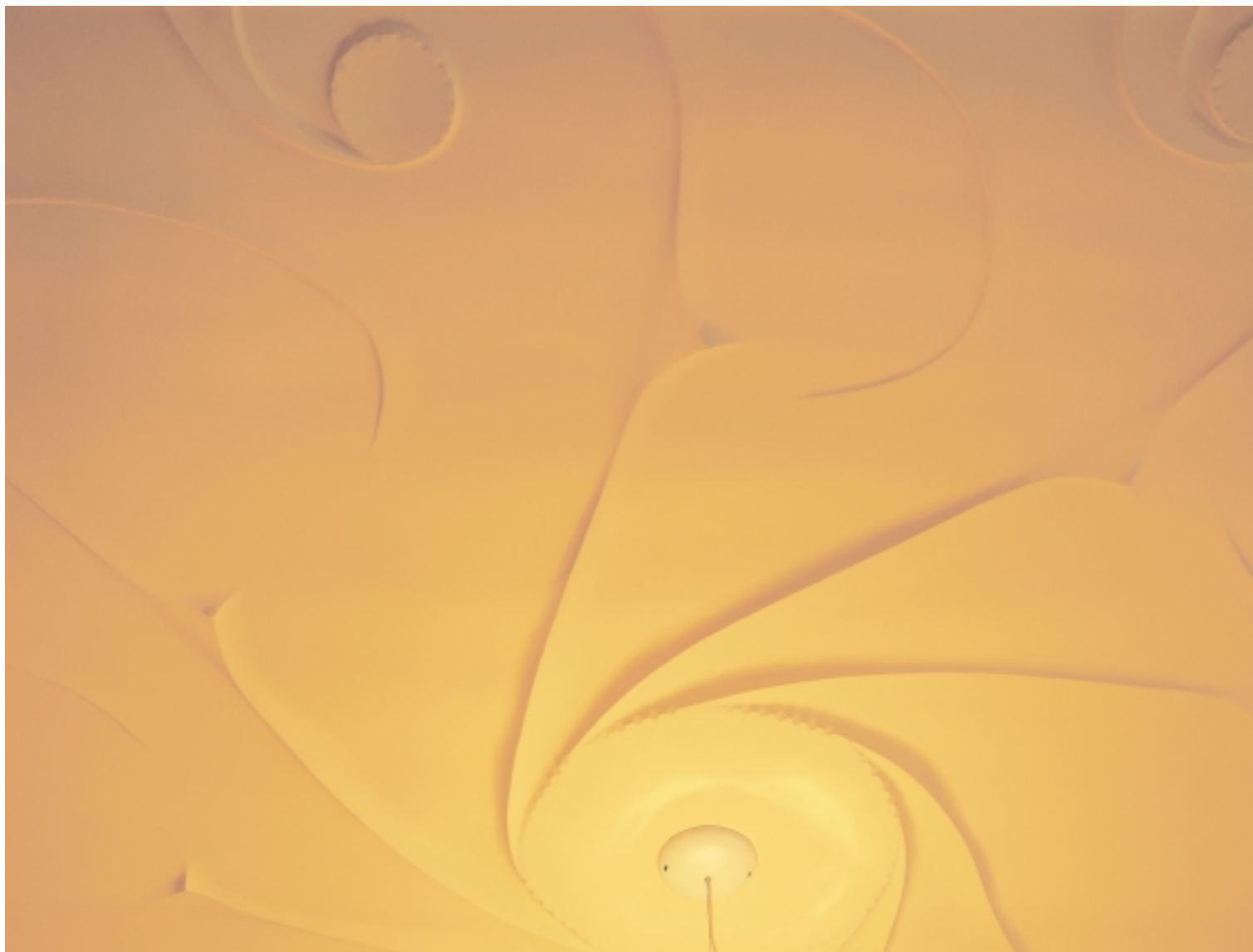
No obstante, Gaudí fue el primero en descubrir que la simetrización de la catenaria daba lugar a uno de los arcos más perfectos: el que se aguanta a sí mismo. Encontramos bellos arcos gaudinianos en la Cooperativa Obrera Mataronense, en el colegio de las Teresianas, en el mirador de la Finca Güell, en las puertas del Palau Güell, en las cuadras de los pabellones de la Finca Güell y en la Casa Milà. Según Joan Bergós, el escudo de la familia Güell tenía forma de catenaria en el diseño gaudiniano como agradecimiento por haber podido hacer arcos de ese tipo en el Palau Güell.



Sinusoides del Parc Güell

ESPIRALES. Con hilos que se bobinan o se rebobinan en torno a cilindros o conos (por ejemplo, en conchas marinas), podemos dibujar las espirales más bellas. En la espiral de Arquímedes, la distancia al palo central cilíndrico es proporcional al ángulo girado. En la logarítmica, equiangular o logística, las rectas desde el origen se cortan con un ángulo igual. Esos dos tipos de espirales son omnipresentes en la naturaleza (conchas de caracol, girasoles, cuernos, colas, etcétera). En la obra de Gaudí tienen un papel decorativo importante: en las rejas del parque de la Ciutadella, en el balcón de la Casa Vicens, en el dragón de la Finca Güell, en el mosaico del paseo de Gràcia, en el timbre de la Casa Calvet y, por descontado, en la Sagrada Família.

SINUSOIDES. Las formas sinusoidales son propias de los movimientos serpenteantes, de las olas del mar, de las sombras de hélices espaciales, y las encontramos en la obra



Espirales de la Casa Milà



Curvas redondeadas del Parc Güell

gaudiniana en el respaldo del banco del Parc Güell, en el muro de la Casa Miralles, en diversas decoraciones y, de una manera sorprendente y magistral, en las Escuelas Provisionales de la Sagrada Família y en su propio obrador (ver el apartado «Conoides», p. 88).

CÓNICAS. Las circunferencias, las elipses, las parábolas y las hipérbolas son curvas presentes en muchas formas gaudinianas porque constituyen secciones principales de las superficies regladas, las cuales, como veremos, son piezas clave del repertorio geométrico de la época. Ese hecho motivó a Gaudí a estudiar en profundidad las cónicas, sus trazados y sus propiedades ligadas a la acústica y la iluminación en las superficies correspondientes. El uso de los círculos en el banco del Parc Güell merece, en ese sentido, un reconocimiento especial.

CURVAS REDONDEADAS. Son curvas topológicamente equivalentes a un círculo que se obtienen por deformación continua de éste y que se erigen en sello característico del modernismo. En la obra de Gaudí las encontramos en la decoración de puertas, sofás,

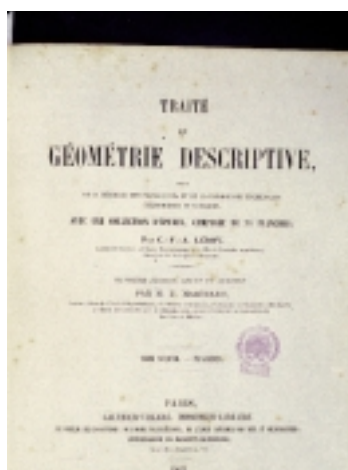
fachadas, balcones, ventanas, escaleras, etcétera, y también determinando plantas (pabellones de la entrada del Parc Güell) y en las formas exuberantes de la Casa Milà.

Superficies regladas gaudinianas

«El uso de las superficies regladas es lógico por su superioridad plástica y su facilidad constructiva.»

Antoni Gaudí

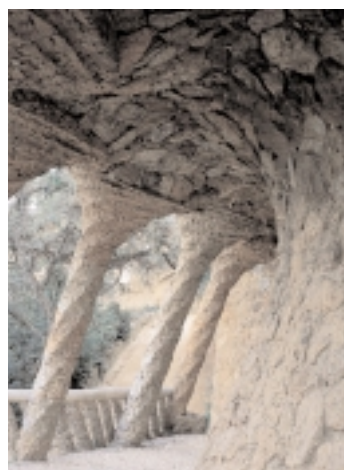
Una de las grandes aportaciones de Gaudí a la arquitectura moderna ha sido el uso constructivo de las superficies regladas. Muchas de ellas contaban con una historia destacada en el ámbito geométrico, pero fue precisamente Gaudí el primer arquitecto que se dio cuenta de su interés arquitectónico. Las descubrió en su época de estudiante, especialmente a partir de los estudios de geometría descriptiva del texto de C. F. A. Leroy de 1855, aunque fue a raíz de su redescubrimiento experimental, trabajando con modelos y maquetas, cuando incorporó progresivamente a sus proyectos todo el repertorio reglado.



Portada del tratado de C. F. A. Leroy (1855), estudiado por Gaudí



Torre cilíndrica de El Capricho



Columnas helicoidales del Parc Güell



Rampa helicoidal de la Casa Milà

CILINDROS. Los cilindros circulares son superficies regladas generadas por una recta que gira paralelamente en torno a un eje. En general, dada cualquier curva plana, las rectas perpendiculares a los puntos de la curva forman una superficie cilíndrica; cuando la curva es una circunferencia hablamos de un cilindro circular.

El uso clásico de formas cilíndricas lo encontramos en las primeras obras de Gaudí: en las bases de las torrecillas de la Casa Vicens, en las torrecillas y las cubiertas de los pabellones de la Finca Güell, en el Parc Güell, en la torre principal de El Capricho, en las torres del Palacio Episcopal de Astorga o en la Casa Fernández Andrés (Casa de los Botines) de León.

HELICOIDES. Un helicoide es una superficie generada por el movimiento de una recta que se mueve paralela a un plano y se apoya en una recta perpendicular a éste y en una hélice asociada a un cilindro perpendicular al plano y que tiene como eje central la recta fijada. Así, pues, se origina al provocar un movimiento helicoidal (rotación, en torno al eje, compuesta con translación de dirección paralela a éste).

A la derecha:
Helicoide representado en el
tratado de C. F. A. Leroy (1855)

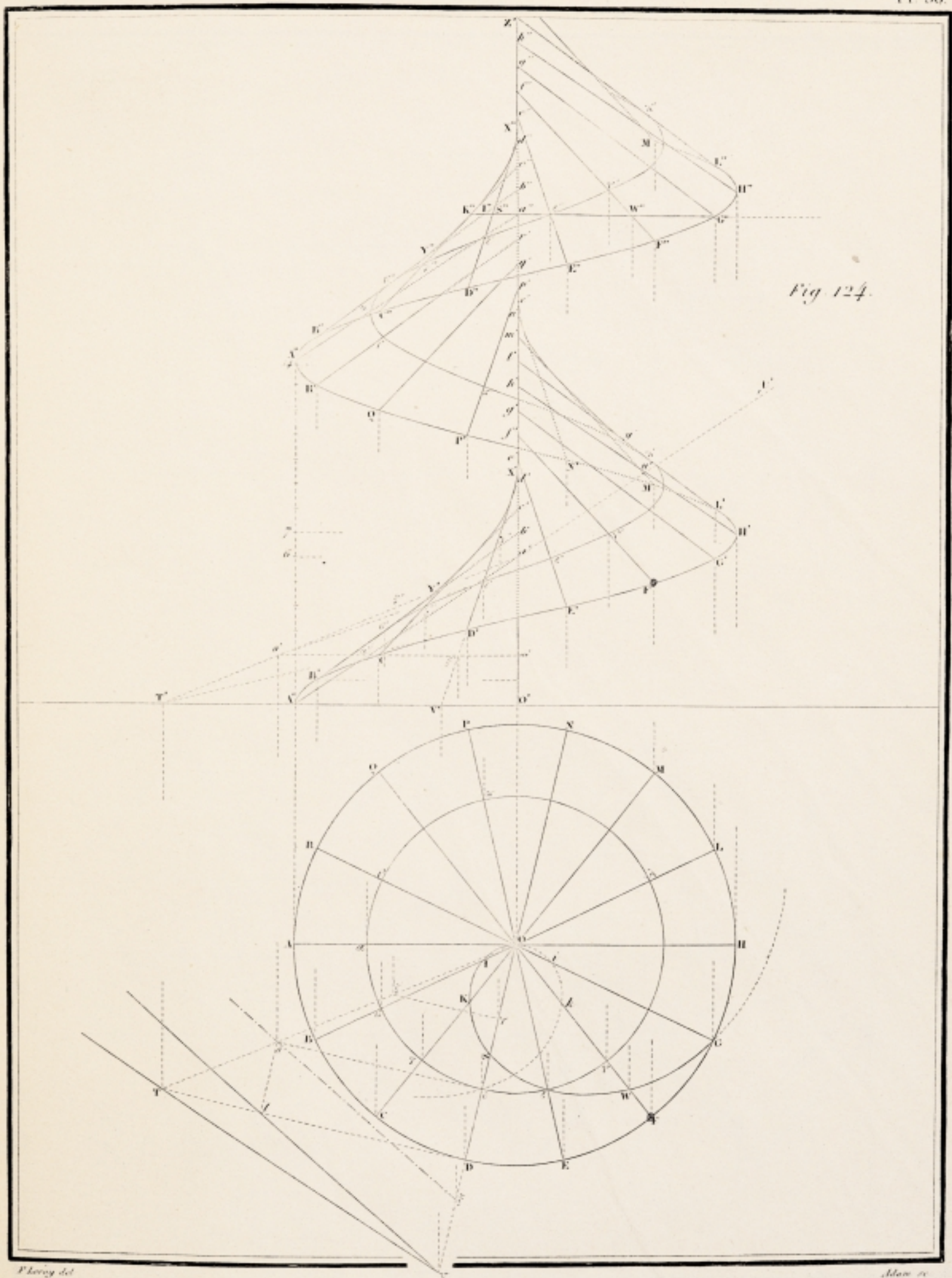


Fig. 124.

Por tanto, estamos ante la típica forma de la superficie inferior de una losa de escalera de caracol, tan fácilmente construible con madera, piedra o bóveda catalana. La pendiente constante de la hélice es el punto clave para entender el uso del helicoides como escalera.

Encontramos escaleras de caracol espectaculares, por ejemplo, en El Capricho y en la Sagrada Família en diversos lugares de las torres.



Cono del cupulín del Palau Güell

RAMPAS HELICOIDALES. La rampa helicoidal que D. J. Struik denomina «helicoides desarrollable» es la superficie que nace a partir de un cilindro y una hélice fijada a la superficie cilíndrica, considerando todas las rectas tangentes a la hélice. La rampa helicoidal puede apoyarse sobre rectas del helicoides interior al cilindro prolongadas hacia fuera.

La rampa helicoidal admite un sencillo modelo de cartulina: para formar la rampa se hace una corona circular con pequeños cortes que permiten la flexión de la cartulina. En el Palau Güell, en la Casa Milà y en la cripta de la Colònia Güell encontramos interesantes rampas helicoidales de acceso.

CONOS. Todas las rectas que, al pasar por un punto, se apoyan en una curva espacial (que no contiene el punto dado) dan lugar a una superficie conoidal. Cuando esa curva es una circunferencia o una elipse, tenemos los conos circulares o elípticos tradicionales.

En el Palau Güell encontramos formas conoidales en los capiteles de las columnas interiores de los comedores, en el soporte del sol del panel que simboliza los rayos solares y, por descontado, en las chimeneas de la azotea. También en la Casa Batlló descubrimos chimeneas que culminan en conos y en una bolita vértice, posiblemente una evocación del apagavelas de metal.

En el Palacio Episcopal de Astorga tenemos torres conoidales siempre rematadas con paneles artísticos de hierro, de formas similares a las de las torres de las esquinas de la Casa de los Botines de León. Hay destacar que también en Astorga, en el porche de la entrada del Palacio Episcopal, encontramos un uso inteligente y espectacular de la superficie conoidal: los arcos conoidales de acceso son el resultado de intersectar el cilindro que configura el porche con semiconos de eje perpendicular al del cilindro. En el Parc Güell encontramos un cono de piedra que forma un tejadito al lado de los edificios de portería, como un sombrero debajo del cual pueden refugiarse los visitantes.



Hiperboloide de una hoja del Parc Güell

SUPERFICIES CONOIDALES RECTAS. Estas superficies regladas están determinadas por una recta, un plano perpendicular y una curva en el espacio, y formadas por todas las rectas que se apoyan en la dada y en los puntos correspondientes de la curva fijada, y todas esas rectas son paralelas al plano dado.

En las Escuelas Provisionales de la Sagrada Família y en la cubierta del almacén de esculturas del obrador de Gaudí encontramos usos especiales de esas superficies (ver el apartado «Conoides», p. 88), al considerar curvas sinusoidales.

HIPERBOLOIDES DE UNA HOJA. Estas notables superficies están formadas por rectas que se apoyan entre dos elipses iguales y paralelas, y que unen un conjunto bien definido de puntos correspondientes entre las dos elipses. Tienen dos familias de rectas generadoras, las unas en un sentido y las otras en el contrario, y representan un caso especial entre los conos elípticos y los cilindros elípticos.

El caso común de revolución se origina a partir del giro de una hipérbola en torno al eje de simetría que no corta la curva. Esta superficie reglada también puede describirse como el conjunto de rectas que se apoyan simultáneamente en una terna de



Una geometría compleja de los pináculos del templo de la Sagrada Família

rectas que se cruzan de dos en dos; ninguna pareja se encuentra en el mismo plano y las rectas no son todas paralelas a un mismo plano.

Es fácil hacer modelos con hilos elásticos y bases girables, o una construcción con yeso entre dos circunferencias dadas, o modelos con barras articuladas.

Gaudí incorporó a la arquitectura el hiperboloide de una hoja después de descubrir que era una forma óptima como campana. La empleó en algunas columnas de la entrada del Parc Güell, en el Palau Güell, en las cuadras de la Finca Güell y de la Casa Calvet, y en bóvedas o ventanales de la Sagrada Família, siempre ligada a la iluminación del templo.



Paraboloides hiperbólicos de los soportales de la iglesia de la Colònia Güell



El primer paraboloide hiperbólico hecho por Gaudí en la glorieta del campo de las Higueras de la Finca Güell

PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS. El paraboloide hiperbólico, una de las superficies más importantes y originales usadas por Gaudí, es una superficie reglada formada por rectas que se apoyan en dos rectas que se cruzan en el espacio de una forma ordenada, es decir, estableciendo una correspondencia biyectiva entre los puntos de apoyo correspondientes (por ejemplo, haciendo que las rectas generadoras sean todas paralelas a un plano dado, perpendicular a una de las rectas directrices). De acuerdo con un teorema de Jacques Binet, dada cualquier superficie S torcida, reglada y no desarrollable, y una recta r de S , la superficie formada por todas las rectas de los vectores normales a S a lo largo de r es el paraboloide hiperbólico. En consecuencia, esa superficie tiene un papel relevante en toda la geometría diferencial de superficies regladas. Hay que subrayar que la superficie del producto $z = x \cdot y$ de números reales es un paraboloide hiperbólico.

Gaudí utilizó un modelo tradicional en el que, en lugar de hilos flexibles, se usaban hilos acabados con pesos que quedaban tensos por la acción de esos mismos pesos. Es fácil hacer modelos con hilos elásticos o construirlos con yeso. Con un perfil de alambre sumergido en agua de jabón, la película de jabón forma una superficie mínima que visualmente se aproxima mucho al paraboloide hiperbólico.

La primera obra en la que Gaudí utilizó la forma del paraboloide hiperbólico fue, en 1884, la glorieta del campo de las Higueras de la Finca Güell, en Les Corts de Sarrià (Bassegoda, 1989). Se trata de una pareja de paraboloides simétricos hechos de ladrillo que soportan una parte del suelo del mirador. En los acabados de alguna chimenea del Palau Güell se observan unos pequeños paraboloides hiperbólicos. Las primeras presencias un poco más importantes las encontramos en algunas zonas del techo de la cripta de la Colònia Güell, especialmente en la del pórtico, y en la cubierta del pabellón de la entrada al Parc Güell, una forma decorada con *trencadís* multicolor. Fue sin embargo en la Sagrada Família donde los paraboloides hiperbólicos hallaron su culminación.

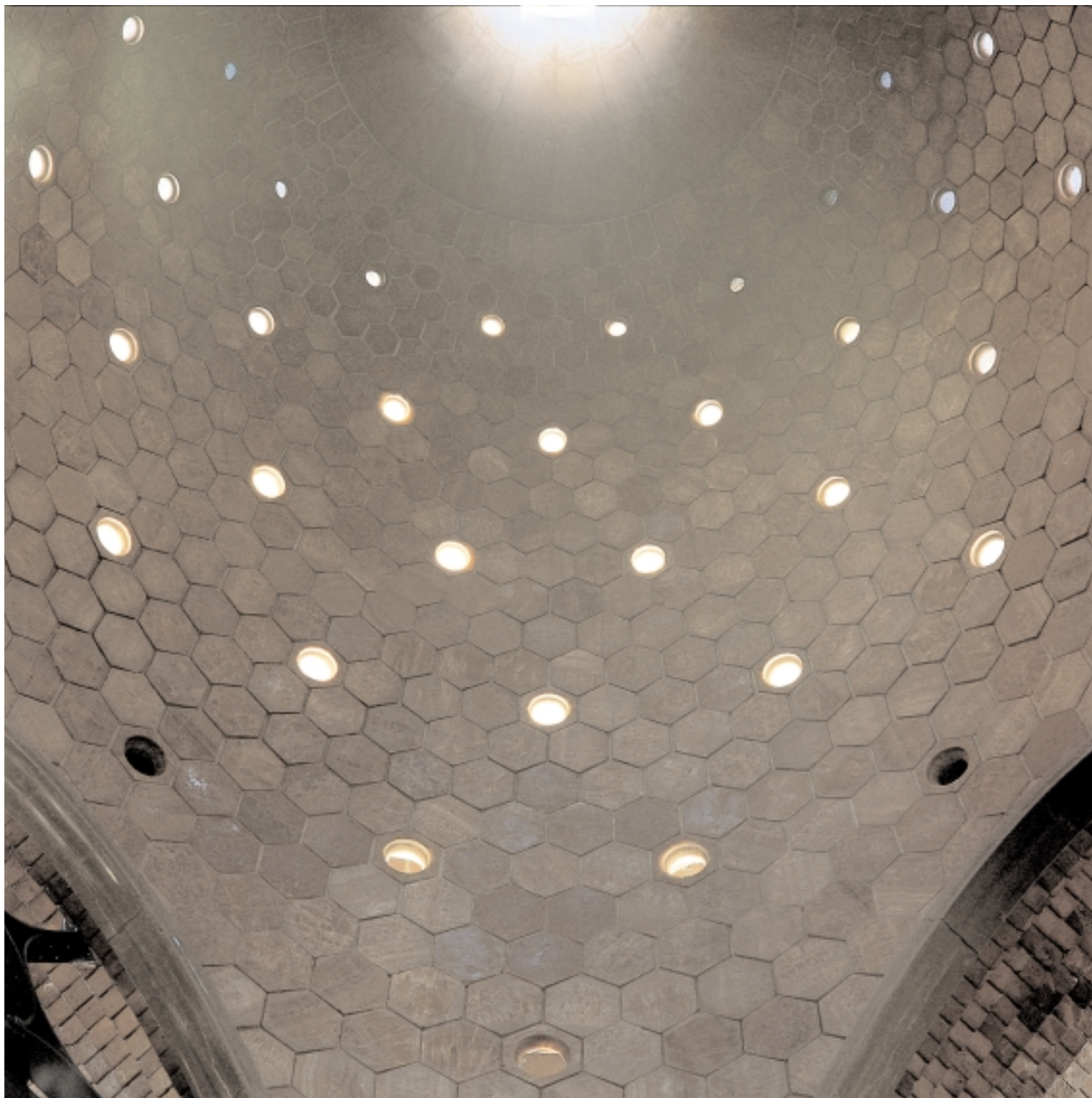
Uno de los primeros ejemplos del templo lo encontramos en los ventanales laterales, donde los paraboloides hiperbólicos se acoplan a las complejas formas de los hiperboloides de una hoja presentes en torno al centro elíptico, en el que forman parte del ventanal. Un segundo caso lo conforman las bases de las grandes columnas, que crean una transición suave entre el suelo plano y el principio de las columnas, con parejas de medios paraboloides hiperbólicos de 16 centímetros simetrizados. En el techo de las naves laterales, los árboles de columnas están rematados por capiteles hiperboloidales, y los paraboloides hiperbólicos se utilizan como solución para suavizar la intersección de los hiperboloides de una hoja, aprovechando restos de los hiperboloides implicados para construir las generatrices de los hiperbólicos. También en la base de los pináculos de la fachada del Nacimiento de la Sagrada Família se observa una combinación interesante de formas. La culminación del uso de los paraboloides hiperbólicos se encuentra en la cubierta superior de las naves y las sacristías, donde las dimensiones son mayores, y también en los campanarios y en el cimborrio, donde estas superficies, que exteriormente muestran la parte cóncava, alcanzan una gran altura.

Las demás superficies

«Para que un objeto sea extraordinariamente bello es necesario que su forma no tenga nada de superfluo.»

Antoni Gaudí

Entre las superficies no regladas, Gaudí hizo un uso singular del paraboloide de revolución en la cúpula del Palau Güell, de los elipsoides en los nudos de las columnas



Paraboloide de revolución del Palau Güell, con decoración hexagonal y entradas de luz cenital inspiradas en la Alhambra de Granada

de la Sagrada Família, y de las esferas en el terreno simbólico religioso en el rosario de piedra del Parc Güell, en las chimeneas de la Casa Batlló y de la Milà, etcétera.

Hay otras formas gaudinianas que surgen de la imitación directa del natural cuando miramos esculturas, frutos, árboles, etcétera.

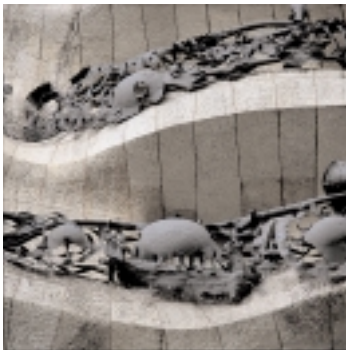
Un campo abierto de investigación lo constituye el estudio de las muchas superficies gaudinianas que no responden a ningún referente geométrico clásico (las formas



La esfera, metáfora de una cuenta de rosario, del Parc Güell



Representación explícita de una tortuga de la fachada del Nacimiento del templo de la Sagrada Família



Representación explícita de vegetación en los balcones de la Casa Milà

de la fachada y la azotea de la Casa Milà, los balcones de la Batlló, las deformaciones del Parc Güell, etcétera).

Los medios computacionales y de representación actuales (como el CAD) permitirán estudiar estas superficies alejadas del repertorio tradicional con ecuaciones algebraicas de grado dos (cuádricas), y posiblemente se descubrirán formas de proyectar «gestualmente» ideadas por Gaudí, pero que hoy pueden dar lugar a realidades arquitectónicas muy nuevas y creativas. Los nuevos materiales también serán decisivos a la hora de hacer factibles, constructivamente, esos proyectos.

Metáforas geometrizadas

«La curva cerrada es el sentido de la limitación, de la misma forma en que la recta es la expresión del infinito.»

Antoni Gaudí

Las formas geométricas gaudinianas nacen a menudo de una investigación funcional o plástica, pero también podemos encontrar bellos ejemplos de figuras al servicio de una metáfora, para transmitir un mensaje o dar concreción formal a un significado que el observador, como reto, debe descubrir. En ese sentido, hemos encontrado cuatro grados de cripticidad utilizados por Gaudí.

FORMAS QUE EVOCAN EXPLÍCITAMENTE FORMAS NATURALES Y QUE TODO EL MUNDO PUEDE APRECIAR. El dragón del Parc Güell, el árbol de la fachada del Nacimiento, los frutos, las palmeras, las tortugas, los ángeles, los santos, etcétera, son piezas escultóricas que forman parte de la obra gaudiniana y que expresan siempre el máximo realismo.

FORMAS QUE EVOCAN EXPLÍCITAMENTE ALGUNOS ELEMENTOS RELATIVOS AL PROPIETARIO DE LA OBRA Y QUE PUEDEN LLEGAR A DEDUCIRSE SI SE LE CONOCE. Gaudí incorporó a menudo al encargo civil, de forma explícita, las personalidades de sus clientes, o, al menos, algunas de sus características. Así, la loa del señor Vicens, de la casa que lleva su nombre, queda perfectamente plasmada en la composición de la fachada y en la decoración interior. Algunos detalles de la Casa Calvet evocan la dedicación del cliente al ramo textil. Los elementos grecorromanos de la entrada del Parc Güell no dejan de ser una señal que remite a la admiración que sentía el conde Güell por la cultura griega antigua.

FORMAS QUE EVOCAN MUY IMPLÍCITAMENTE ALGUNOS HECHOS CONCRETOS Y QUE EN PRINCIPIO SOLAMENTE PUEDE APRECIAR UN NÚCLEO REDUCIDO DE ENTENDIDOS. Constituye un ejemplo muy bien documentado en ese sentido (Lahuerta, 1993) la famosa puerta de hierro del dragón de los pabellones de la Finca Güell, que presenta un dragón-serpiente que, junto con muchos otros elementos del conjunto, glosa los ideales nacionales que puso en verso Verdaguer en *La Atlántida*.

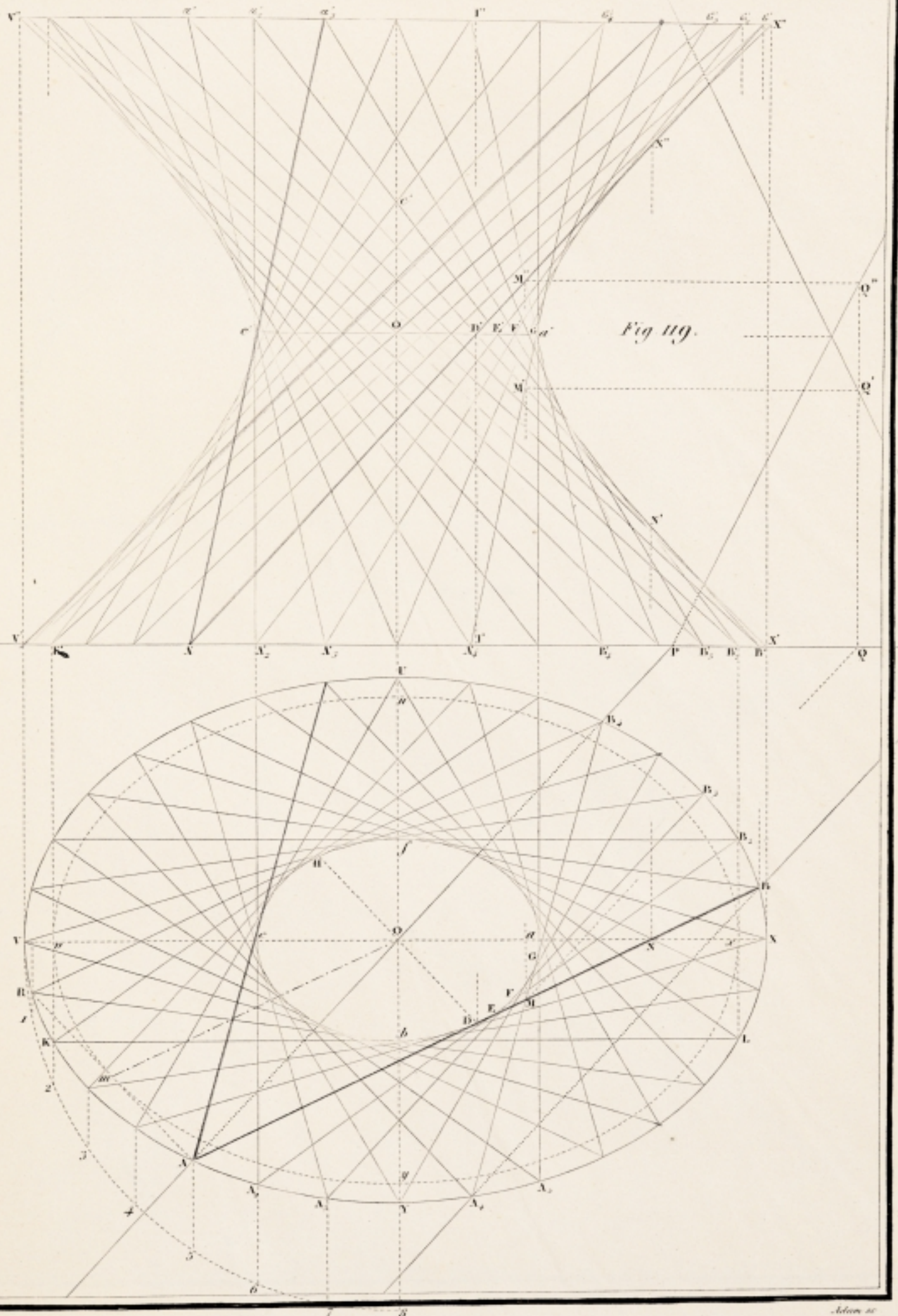
FORMAS QUE EVOCAN MUY SUBLIMINALMENTE ALGUNOS HECHOS QUE FORMAN PARTE DEL PENSAMIENTO ÍNTIMO DEL ARQUITECTO. Esas formas son más sutiles que las anteriores y han originado interpretaciones diversas. En la Casa Milà observamos la puerta de hierro de formas redondeadas, como reflejo del agua del mar o las burbujas de



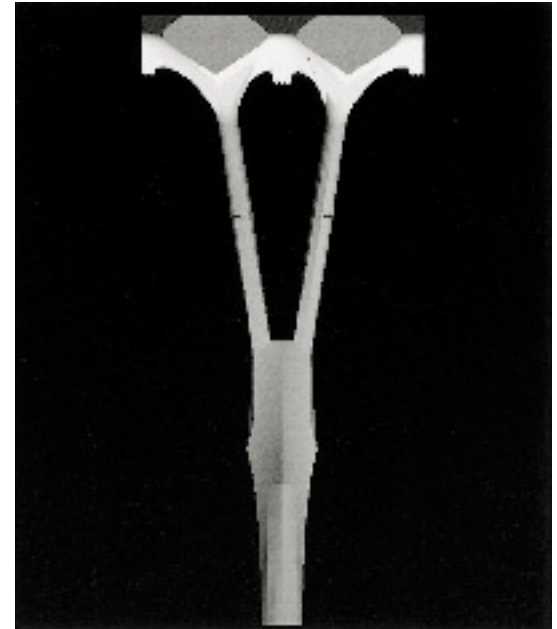
Dragón de la puerta de la Finca Güell.
El conjunto del acceso es una evocación
de *La Atlántida* de Jacint Verdaguer

jabón aplastadas... Y las baldosas del paseo de Gràcia ¿no son quizás un fondo marino, del mismo modo que los techos de yeso de La Pedrera representan el agua del mar?

Esa capacidad metafórica de Gaudí siempre dará lugar a múltiples interpretaciones o lecturas, pero en eso consiste, precisamente, uno de los grandes atractivos de la obra gaudiniana para profesionales muy diversos.



Representación informática (CAD) de columna y techo del templo de la Sagrada Família, utilizada en la construcción del proyecto de Gaudí



La geometría gaudiniana hoy

La obra de Gaudí forma un apartado sustancial de nuestro patrimonio arquitectónico con proyección mundial. Su uso magistral de las técnicas tradicionales constructivas y las originales soluciones estructurales que consiguió forman parte ya de unas de las páginas más brillantes de la arquitectura catalana del siglo xx.

Sin embargo, hay algunos aspectos del legado gaudiniano que hoy en día siguen muy vivos. Por un lado, la construcción de la Sagrada Família (Bonet, 2000) es un reto para la tecnología y la arquitectura del siglo xxi. Paralelamente, la investigación científica sobre la geometría gaudiniana, y las posibilidades computacionales y del CAD en ella, presentan hoy cuestiones interesantes, tanto en el sentido de poder entender el porqué de muchas soluciones adoptadas como en el de investigar, matemática y estructuralmente, nuevos mundos de curvas, superficies y relaciones espaciales que planteó Gaudí. Y hay que esperar que esos descubrimientos geométricos sirvan también para espolear a nuevas generaciones de arquitectos a encontrar su propia creatividad.

C. A. y J.G.-S.

A la izquierda:
Hiperboloide de una hoja elíptico,
representado en el tratado de
C. F. A. Leroy (1855)