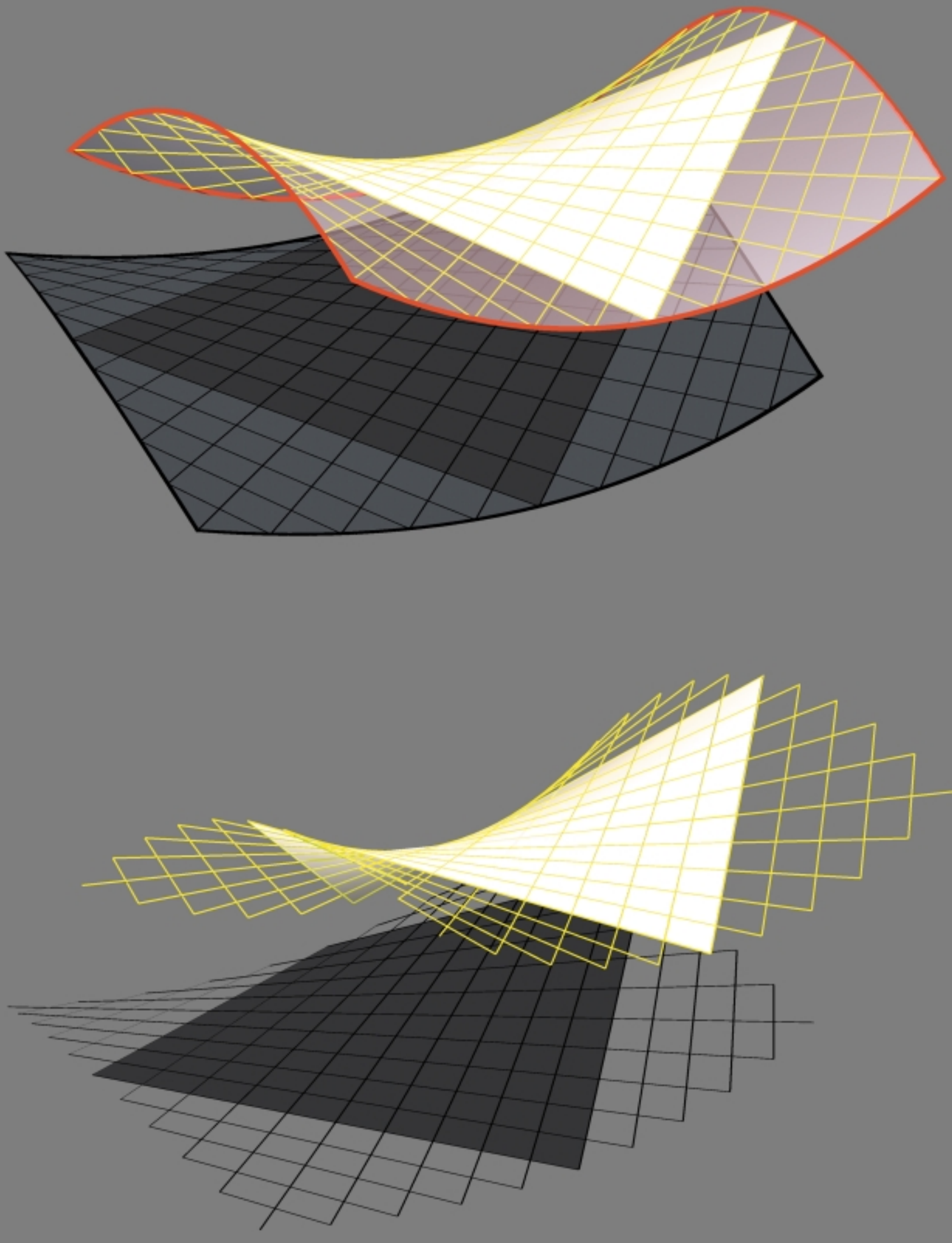
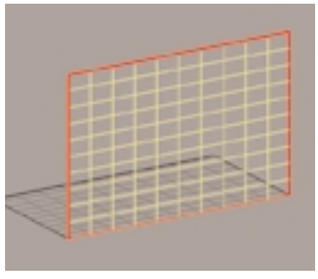
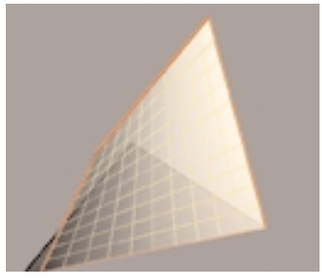
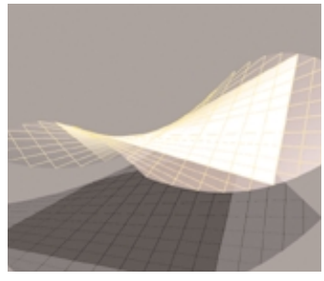
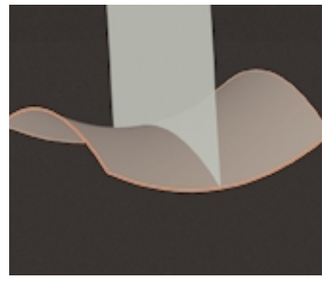


BÓVEDAS CONVEXAS

JOSEP-LLUÍS GONZÁLEZ
ALBERT CASALS

Forma y superficie

Tal como ya se ha indicado en el texto «Gaudí y la construcción» de este catálogo, el pórtico de la iglesia baja de la Colònia Güell está formado por un conjunto de pilares, arcos y bóvedas que forma una retícula triangular que da soporte a dos plataformas y dos tramos de escalera que habrían permitido acceder a la iglesia alta. Las bóvedas ocupan los vacíos triangulares de la estructura de arcos.

La solución normal habría sido construir unas bóvedas de doble curvatura, baídas o de traslación, es decir, cóncavas, muy comunes en la manera de hacer de los constructores catalanes de la época (J.-L. González, 1999a), pero las construidas en la práctica son bien diferentes (fig. 1). Les hemos aplicado el calificativo de «convexas» (J.-L. González, 1998a) por su particular forma, opuesta a la de las habituales o cóncavas.

Su análisis morfológico básico nos revela que estamos ante las primeras bóvedas de la historia de la arquitectura con forma de paraboloide hiperbólico (ver el apartado «Geometría gaudiniana», p. 26).

Gaudí resolvió el conjunto mediante tres tipos de bóvedas. El primero es el más fácil de trazar (fig. 2-3, p. 76), ya que es la bóveda mitad del tetraedro (Tomlow, 1979a). Los dos lados rectos se entregan en los frentes de los arcos; el tercero es una parábola convexa de gran flecha. Este rasgo morfológico comporta que sólo sea una solución útil cuando el tercer lado sea un muro, como ocurre en cinco de las bóvedas del nivel inferior del pórtico.

Para las otras dos bóvedas de este nivel y para las del tramo en rampa fue preciso buscar una segunda solución, ya que los lados son los arcos que no permiten tanta flecha; Gaudí la encontró en la intersección de un prisma triangular (formado a partir de los frentes de los arcos) con la parte central del tetraedro antes citado. Las líneas de intersección pasan a ser tres parábolas, dos convexas y una cóncava, o al revés, mucho más rebajadas, que se alojan fácilmente sobre las superficies laterales de los arcos de apoyo (fig. 4-5, p. 76).

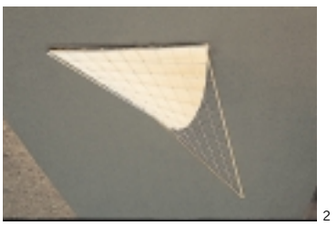
El tercer tipo de bóveda, de contorno trapezoidal, no añade nuevas dificultades, ya que se genera por la intersección de un prisma de ese contorno con el paraboloide, lo que da lugar a cuatro parábolas rebajadas, dos cóncavas y dos convexas (fig. 6, p. 76).

La superficie de las bóvedas está acabada con una compleja textura obtenida a partir de los elementos más sencillos de la albañilería: granos de arena y trozos triangulares de rasilla. La arena está adherida a un soporte de mortero que no queda a la vista. Los retales cerámicos están como embutidos en la arena. La decoración se completa mediante trozos de cerámica vidriada que forman un aspa o cruz de San Andrés.

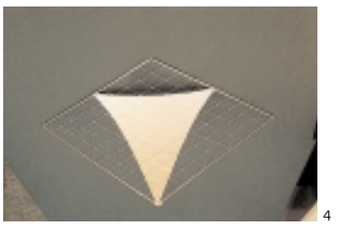
Secuencia geométrica de imágenes de un paraboloide hiperbólico y su sección parabólica

A la izquierda: Modelado informático de la generación de partes de un paraboloide hiperbólico


1


2


3


4


5


6


7


8

Visión global de las bóvedas (fig. 1)

Modelos e imágenes reales de dos de las bóvedas del soportal de la iglesia de la Colònia Güell (fig. 2-3-4-5)

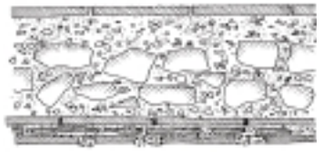
Visión global de las bóvedas (fig. 6)

La decoración de baldosas sigue las rectas directrices y generatrices (fig. 7-8)





Cortes hechos en la baldosa del techo y ordenación de las piezas cortadas (fig. 9-10)



Sección constructiva de una de las bóvedas (fig. 11)

Pues bien, la maestría de Gaudí se afirma una vez más cuando se advierte que toda esta composición plástica superficial está basada en las mismas propiedades geométricas del paraboloide hiperbólico. Las dos familias de rectas que generan la superficie son las trazas de la extraordinaria decoración de rasilla; el aspa destaca dos de esas rectas (fig. 7-8).

En los dos primeros tipos de bóvedas, las dos familias de generatrices se cruzan formando ángulos de 60 y 120 grados. Las parábolas de la trama de rasillas son las que se obtienen con intersecciones de planos paralelos al eje menor que acaban de completar la malla de triángulos equiláteros.

En el tercer tipo, las generatrices se cortan a 90 grados. El dibujo pasa a ser otro muy distinto y añade todavía más riqueza a todo el conjunto.

Como no podía ser de otra forma, el método para conseguir todos los trozos de rasilla es sorprendentemente sencillo: se trocea por medio de tres rectas que la cortan según la figura. De cada rasilla obtenemos dos piezas anchas y dos estrechas. Una de las familias de generatrices y la de las parábolas se dibujan con las piezas estrechas, y la segunda familia de generatrices se delinea por una junta ancha entre los retales triangulares grandes (fig. 9-10).

Es difícil obtener mayor complejidad con tan reducido número de elementos, y no es nada fácil imaginar de qué manera los albañiles dirigidos por Gaudí pudieron conseguir toda esta extraordinaria complejidad geométrica, aunque no podremos averiguarlo sin saber antes cómo fue la realización de su soporte. Decoración y soporte forman una unidad indisoluble.

Pues bien, no tenemos ningún documento, ni escrito ni gráfico, que nos aporte ninguna pista de cómo se construyeron.

Configuración constructiva

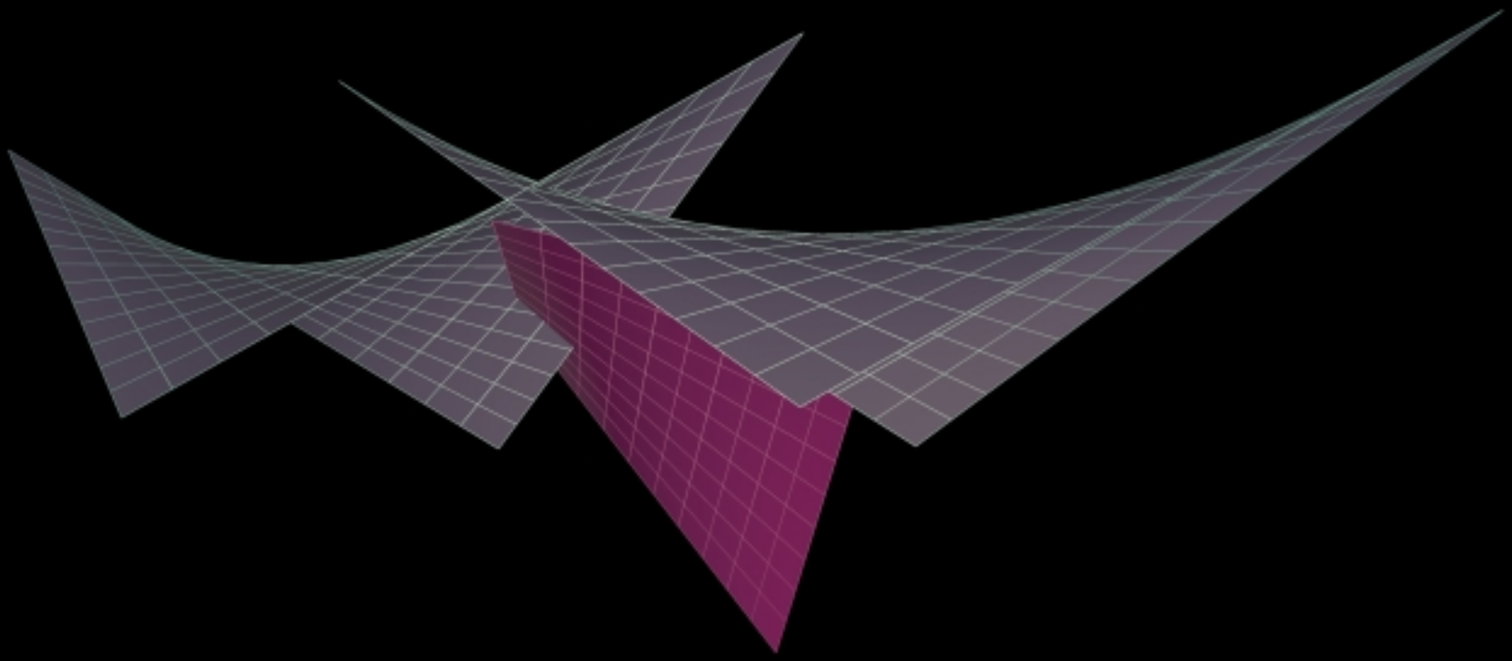
Las hipótesis formuladas hasta hoy que intentan explicar el proceso constructivo han sido dos: la de la bóveda tabicada y la del hormigón sobre encofrado. La primera versión es la que tiene mayor número de seguidores, aunque ni la apariencia ni ninguna documentación la avalan. La segunda, no muy verosímil, tiene como base documental lo escrito por el escultor Matamala en sus memorias (Puig Boada, 1976) unos cincuenta años después de haberse construido las bóvedas.

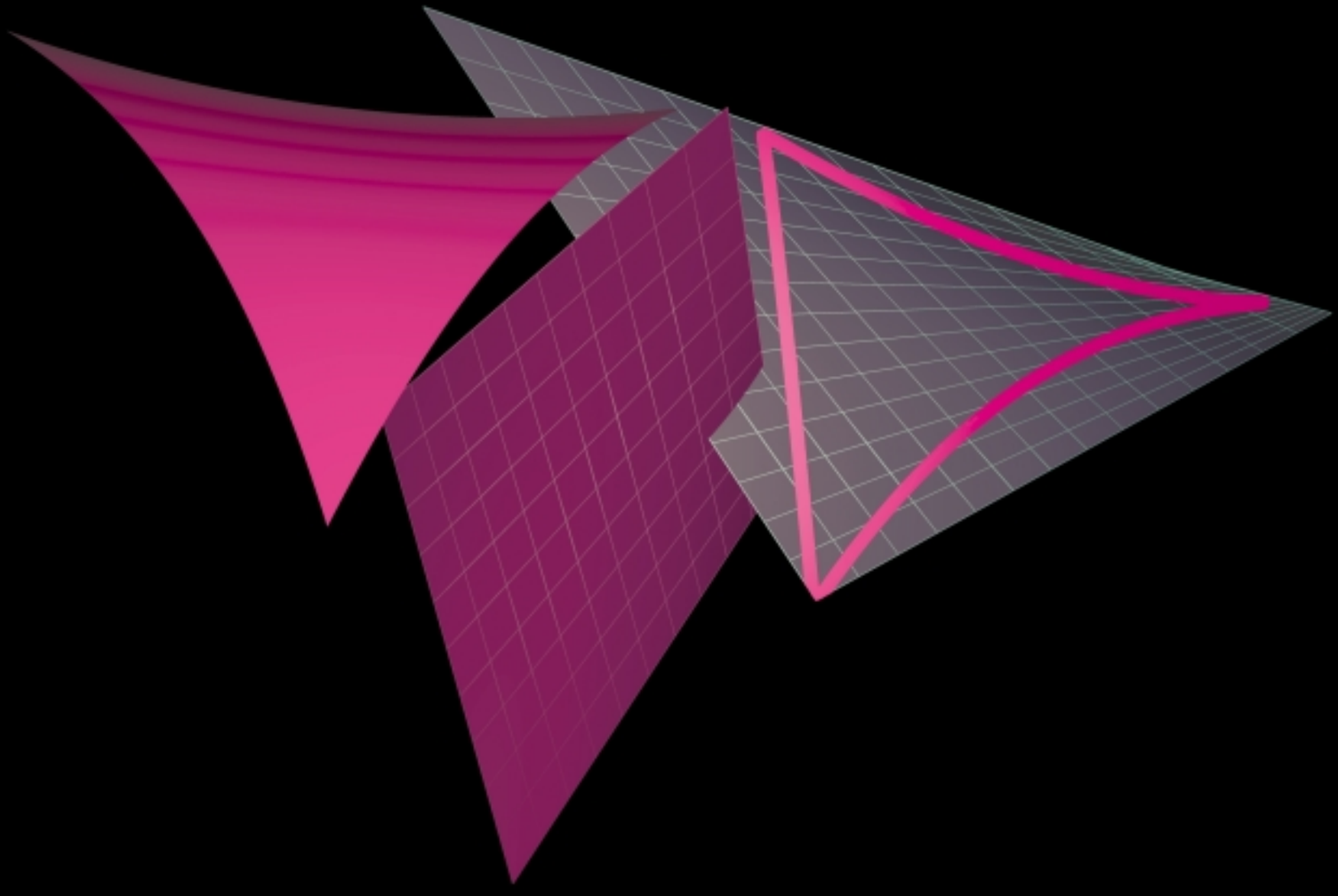
Las pequeñas catas o prospecciones que han podido realizarse (J.-L. González, 1999b) con motivo de los trabajos de restauración del edificio (financiados por la Diputación de Barcelona) permiten pasar de las hipótesis no documentadas a las que se basan, cuando menos, en su configuración constructiva visible.

El desperfecto que creó una salida de humos de una cocina militar de campaña de la guerra de 1936 ha permitido realizar una cata de la sección de la bóveda. La observación directa, junto con los análisis petrográficos de los materiales (Vendrell, 1997-2001), permite detallar la sección. De abajo a arriba encontramos (fig. 11):

— Capa de acabado con granos de arena.
— Capa de mortero de cemento pórtland que recibe los retales de rasilla de las rectas generatrices.
— Capa también de mortero que contiene pequeños trozos de rasilla como relleno.
— Capa continua de sólo una hoja de rasillas con juntas muy finas de mortero de cemento pórtland (lo cual anula la hipótesis de la bóveda tabicada, que necesita como mínimo dos hojas de la primera tomada con yeso).







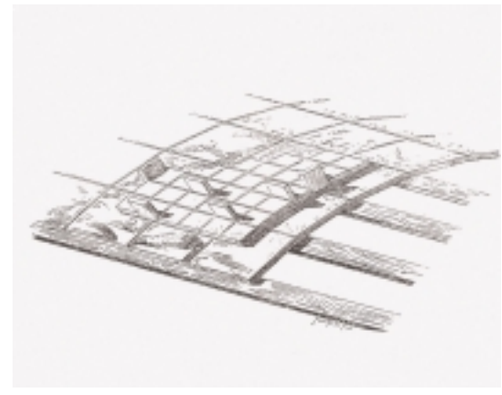
— Capa gruesa de conglomerado de mortero, piedras y trozos de ladrillo.
— Preparación del pavimento de la escalera o plataforma.

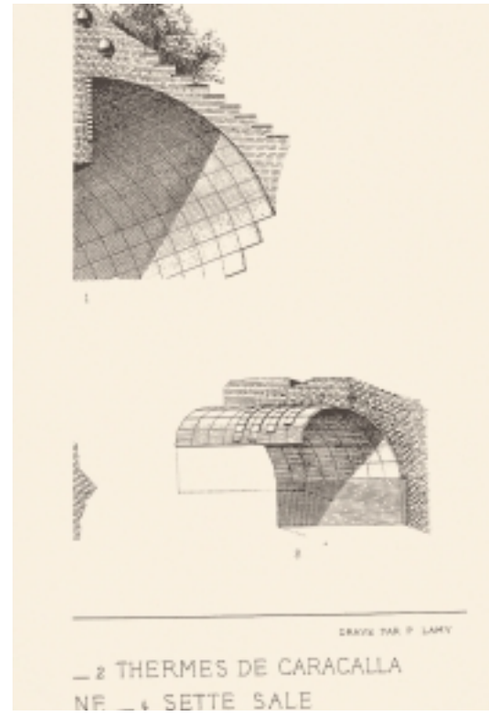
Gracias a las técnicas microscópicas, ha podido advertirse que los granos de arena de la primera capa se adhieren sólo en su mitad superior, con lo que se explica esa microtextura tan granada. Si se retira uno de ellos de su posición, se comprueba que la superficie de contacto está revestida de lechada de cal.

El repicado de una parte de las capas de mortero ha permitido ver que la capa continua de rasillas responde a una disposición muy regular a rompejuntas, similar a la del tablero techo de la iglesia baja.

Una explicación constructiva de esta disposición puede ser: la tercera capa es un enlucido que regulariza la superficie poliédrica de la hoja de rasillas; la segunda es la que, una vez dispuesta sobre la anterior, permite embutir en ella las rasillas siguiendo las dos familias de generatrices del paraboloide; la primera capa es consecuencia de haber lanzado la arena sobre una lechada de cal. Todo lleva a que la hoja continua de rasillas ya estaba acabada cuando sobre ella se realizó el revoco. Esta versión contradice la de Matamala, que suponía un encofrado sobre el que se colocaban la arena y, encima de ella, los retales de rasilla.

Todavía es preciso contestar, pues, a dos cuestiones clave: ¿quién actúa como elemento portante? y, en definitiva, ¿cómo se construyó?





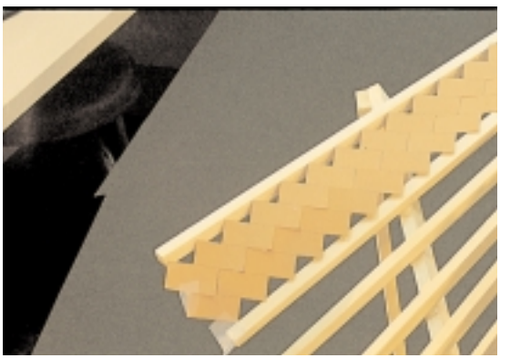
Imágenes de cómo hacían los constructores romanos las bóvedas de hormigón con la ayuda de piezas cerámicas apoyadas sobre tablones de madera (fig. 12-13)

El proceso de construcción

Una hipótesis que reúne con elegancia todas las preguntas y los indicios visibles puede formularse (J.-L. González, 2000b) a partir de la comparación de la sección descrita con algunas figuras de Auguste Choisy (1873), precisamente aquéllas con las que el ingeniero francés explicaba la construcción de las bóvedas de hormigón de la arquitectura imperial romana. En ellas aparece lo que se ha considerado siempre como un antecedente de las bóvedas tabicadas catalanas: las bóvedas delgadas de piezas cerámicas que actuaban como encofrado perdido de las auténticas bóvedas resistentes, que eran las de hormigón (fig. 12-13). A la vista de esas figuras, es razonable afirmar que en el pórtico de la iglesia de la Colònia Güell nos encontramos con unas bóvedas construidas a la manera romana. No sólo es un procedimiento totalmente factible, sino además el más apropiado a las características de la obra.

La primera operación es la realización del soporte del encofrado mediante tablones según

A la izquierda y anterior: Representación informática de la generación de tres bóvedas del soportal de la iglesia de la Colònia Güell



Maqueta de una construcción hipotética de las bóvedas convexas (fig. 14)

el haz de directrices, apoyados en puntales y elementos auxiliares. Sobre ellos se coloca una serie de cabios que actúan como las generatrices del paraboloide. Encima de éstos se sitúan las rasillas de la hoja única tomadas con mortero de cemento pórtland, de manera similar a la del tablero del techo de la iglesia baja (J.-L. González, 1990), que actúa como encofrado perdido, y sobre ellas se fabrica definitivamente el hormigón (fig. 14). Dada la configuración morfológica antedicha, trasmite su peso y las sobrecargas de uso sobre los arcos, mediante la sección abovedada cóncava.

El hormigón acaba de dar corporeidad al volumen necesario hasta enrasar, o bien con la superficie más o menos plana del tramo horizontal o bien con las superficies inclinadas de las rampas de la escalera.

Sobre las dificultades del replanteo para colocar tablones y cabios siguiendo el trazado de directrices y generatrices, no se olvide que ya se había conseguido replantear el edifico entero a partir de las medidas tomadas de la maqueta funicular, por lo que el pórtico no suponía una mayor complicación.

Una vez desmontada la cimbra se realiza la decoración final. La capa mortero busca una regularización de la superficie poliédrica que necesariamente generan las rasillas, y la siguiente es la que recibe los retales triangulares de rasilla. Su replanteo, ahora, ya no parece tan difícil, ya que se dispone de las referencias que han permitido situar tablones (directrices) y cabios (generatrices).

La última operación consiste en el proyectado de la arena sobre una lechada de cal fresca que consigue camuflar toda referencia del proceso.

Nos encontramos con un extraordinario juego sutil que permite adivinar cosas, pero esconde otras; Gaudí nos muestra la compleja ley de formación geométrica, pero no nos explica en absoluto cómo se ha construido y, es más, intenta hacer desaparecer cualquier señal de su realización mediante ese proyectado de arena que nos da una superficie continua y casi abstracta.

En definitiva, nada más lejos del «dolor de un construir redentor» apuntado por algunos (Lahuerta, 1993). Al revés: estamos ante el placer que supone, con un dominio virtuoso del propio oficio y del de los operarios, poder construir con una expresión sin límites, pero con el mínimo de medios y sin transgredir (sino todo lo contrario) las razones prácticas de la arquitectura; es decir, estamos ante la manera de entender la construcción de Gaudí.

J.-L. G. Y A. C.

A la derecha:
Secciones parabólica e hiperbólica
de un paraboloide hiperbólico