

LA NECESARIA COMPRENSIÓN PREVIA DE LA REALIDAD CONSTRUCTIVA DEL MONUMENTO: EL CASO SINGULAR DE LA CRIPTA DE LA COLONIA GÜELL

(THE NECESSARY PREVIOUS COMPREHENSION OF THE MONUMENT'S CONSTRUCTIVE REALITY; THE PECULIAR CASE OF THE GÜELL COLONY CRYPT)

Albert Casals Balagué, José Luis González Moreno-Navarro, Drs. Arquitectos
Pere Roca Fabregat, Dr. Ingeniero de Caminos C. y P.

Profesores de la Universitat Politècnica de Catalunya
ESPAÑA

Fecha de recepción: 4 - VIII - 93
128-135

RESUMEN

La Cripta de la Colonia Güell es un edificio de singular relevancia en la historia de la arquitectura, a pesar de tratarse sólo de una parte de la iglesia que proyectó Antoni Gaudí para don Eusebio Güell. Debe su notoriedad a la conjunción perfecta que en ella se dan entre la voluntad expresiva de su autor y los requerimientos de la estática, conjunción que se consiguió gracias al método de proyecto basado en las propiedades de las líneas funiculares. Y en ello reside la gran paradoja que envuelve a la cripta: ser estable a pesar de ser una parte de un conjunto que, en buena lógica, debería haber alcanzado el equilibrio al haberse completado, lo que, en consecuencia, pone en duda la estabilidad de éste si se hubiera finalizado.

El estudio realizado por los autores que permite entender esta paradoja ha utilizado como métodos para modelizar el edificio desde la estática gráfica, que no la explica hasta el método de los elementos finitos, que aporta suficientes datos para comprenderla. El modelo desarrollado finalmente es una herramienta potente y fiable que permite prever los efectos de cualquier modificación del estado actual del monumento, incluidos los producidos por su hipotética finalización.

SUMMARY

The Crypt of the Güell Colony is a building of a unique importance in the history of architecture although it is only a part of the church which Antoni Gaudí designed for Eusebio Güell. It owes its fame to the perfect conjunction of the expressive will of the author and the demands of statics it represents. This conjunction was achieved by using the design method based on the properties of funicular lines. This is where the great paradox of the Crypt lies: it is stable in spite of being a part of a whole which, logically thinking, should have reached the balance only after being completed, which, consequentially, casts doubt on whether the building would have been stable had it been finished.

This article presents the conclusions of a study which was carried out by the authors who allow this paradox to be understood. The study is a part of another complete physical-constructive analysis which compiles the necessary information for the restoration of the monument ordered by the Servei de Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona under the direction of the architect Antoni González. The methods for building modelling used in the study range from graphic statics, which does not explain the paradox, to the finite element method, which contributes a sufficient number of facts for such an explanation. The finally developed model is a powerful and reliable tool which allows us to foresee the effects of any modification of the present state of the monument, including those produced by its hypothetical completion.

El presente artículo recoge las conclusiones finales de mayor relevancia del estudio realizado por encargo del Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona sobre el comportamiento estructural de la Cripta de la Colonia Güell. Forma parte del análisis físico-constructivo con el

que, de acuerdo con la metodología que aplica dicho servicio en todas sus intervenciones de restauración monumental, se documentan previamente los edificios en los que se va actuar. De las fases iniciales de este estudio ya se dió noticia en un artículo aparecido en esta misma revista (1). Con el fin de no

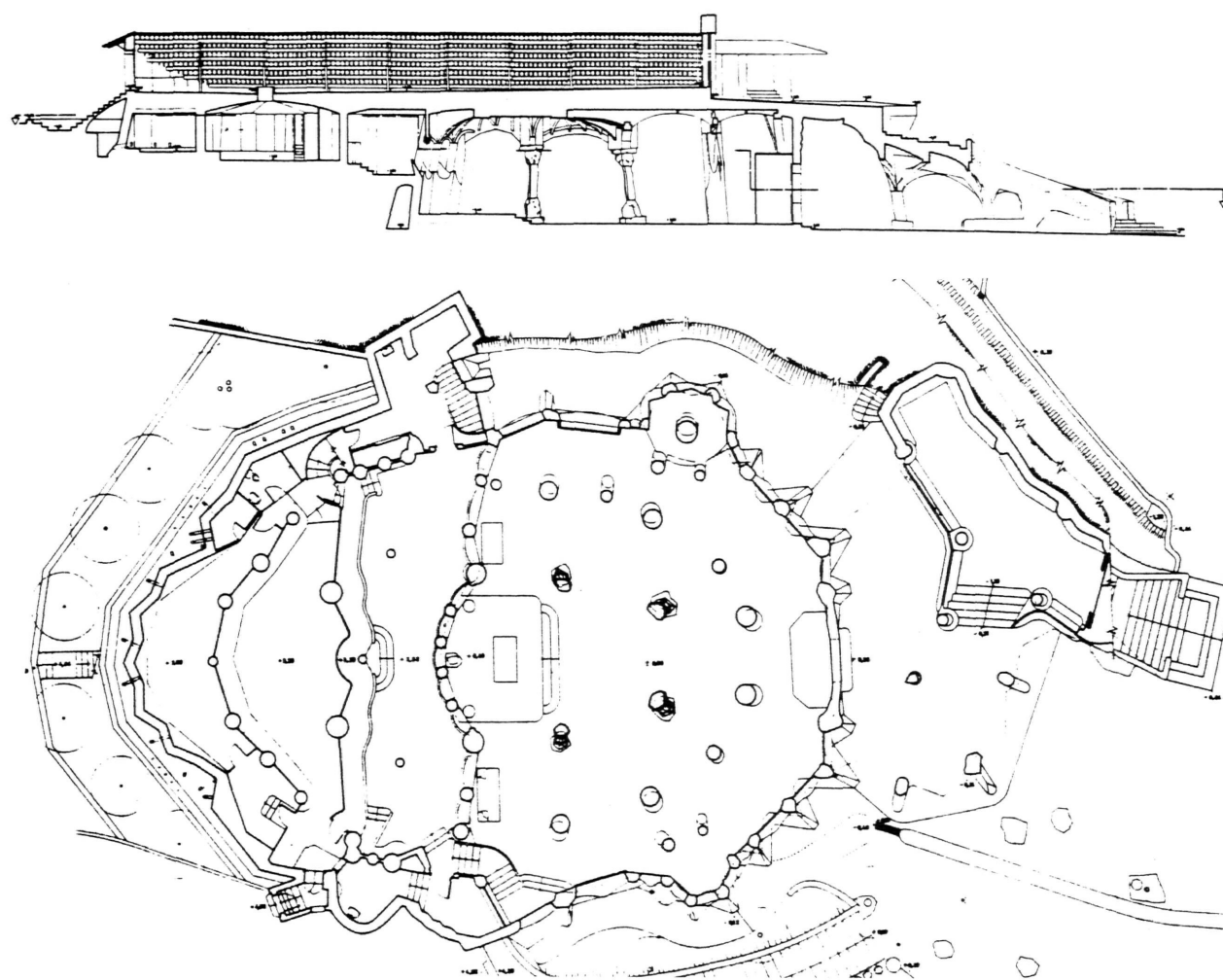


Fig. 1. Sección longitudinal y planta de la cripta

exigir el esfuerzo de acceder a aquel ejemplar, en la primera parte del presente artículo se vuelven a exponer, resumidas, las ideas esenciales allí escritas.

La Cripta de la Colonia Güell es la parte construida de lo que había de ser la iglesia parroquial de la colonia industrial fundada por D. Eusebio Güell i Bacigalupi. El proyecto fue encargado a Antoni Gaudí en 1894, y la primera piedra fue colocada en 1908, catorce años después del encargo, de los que diez se dedicaron a la elaboración del proyecto. En el año 1914 se paralizaron definitivamente las obras en el nivel del techo de la cripta. En 1969 se declaró monumento nacional.

UNA OBRA Y UN MÉTODO DE PROYECTO SINGULARES

La cripta presenta dos partes bien diferenciadas en su concepción constructiva: la posterior, que aloja la cantoría y los espacios de servicio, se cubre con bóvedas tabicadas rebajadas que se apoyan en perfi-

les metálicos y éstos en muros o soportes de mampostería o ladrillo. La parte anterior, con el presbiterio y la capilla, es la que ha hecho famoso al edificio y sobre la que se ha desarrollado este estudio.

Su planta se organiza alrededor de un núcleo central, que contiene el altar principal, delimitado por cuatro columnas basálticas y la arquería que le separa de la cantoría, todas ellas inclinadas hacia el interior de dicho núcleo, y dos crujiás periféricas a modo de doble deambulatorio, configurado por diez columnas y los muros de fachada todos inclinados hacia el núcleo y dispuestos según semicírculos concéntricos (Fig. 1). Columnas y muros soportan los arcos principales de ladrillo a sardinel, de los que arrancan las costillas de ladrillo, formadas por un arco rebajado sobre el que descansa una pared del mismo espesor que rellena la enjuta (Fig. 2). La retícula formada por el conjunto de las costillas, enrasa al mismo nivel y soporta el techo de la cripta (y suelo de la no realizada iglesia) que se compone de un primer tablero de tres gruesos de rasilla, sobre el



Fig. 2. Interior de la capilla. En primer término los dos pilares basálticos. (Foto Beascoa).

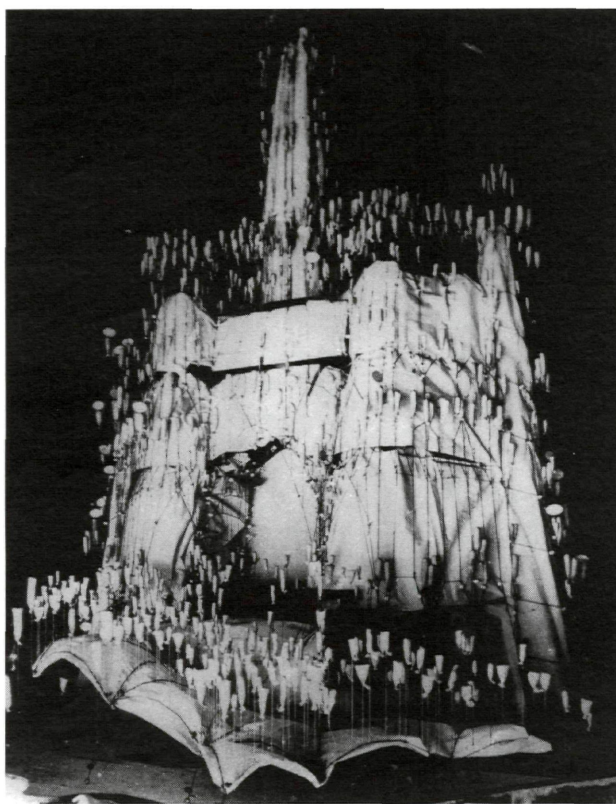


Fig. 3. Visión invertida de la maqueta original. (Foto Catedral Gaudí).

cual, mediante unos tabiquillos formados por un ladrillo de canto, se tiende otro tablero de sólo dos gruesos de rasilla, que presumiblemente recibiría el pavimento de la iglesia.

Este conjunto de pilares, arcos y costillas es la materialización de parte de la maqueta funicular con la que Gaudí proyectó todo el edificio durante los diez años anteriores al inicio de las obras (Fig. 3).

Es bien sabido que el método utilizado por Gaudí como aproximación al proyecto de la forma de la

iglesia, se basa en las propiedades de los polígonos funiculares como procedimiento para la determinación de formas, que giradas 180° en vertical, son intrínsecamente estables.

Pero es preciso señalar que para Gaudí no pasa de ser un mero instrumento. Según sus propias manifestaciones, "...pretender que las funículas den las formas de la Arquitectura es pueril, porque constituyen sólo un método de verificación o de comprobar la estabilidad (...). Antes de la estabilidad hay otras cosas a satisfacer, capacidad, iluminación, relación ordenada de servicios, etc."(2). Y por supuesto, aunque no lo mencione, una voluntad casi incontenible de expresión plástica que domina tanto sobre los juegos constructivo-mecánicos, como sobre las adecuaciones al uso litúrgico. Pero son unas formas que, gracias al artilugio funicular, en su propia esencia está presente la optimización constructivo-mecánica; en definitiva Gaudí crea formas de una desbordante expresividad plástica, pero apoyado en su profundo conocimiento de las leyes que rigen el comportamiento de la materia construida.

UN COMPORTAMIENTO INESPERADO

El estudio del edificio ha considerado tres tipos de acciones derivadas de tres hipótesis de utilización: la actual como parroquia, la posible ocupación de la azotea, y, sólo como método para resolver una curiosidad histórica, la finalización del edificio. Independientemente de cuál sea la decisión final sobre la cripta, los tres subestudios han llevado a conocer mejor este singular edificio.

Ahora bien, cualquier indagación sobre la estructura constructiva de la cripta y su comportamiento mecánico adolece de la cortedad de material documental para poder dilucidar una de las claves esenciales del edificio: los criterios que rigieron el paso del hilo a la materia, es decir, su encarnación. La guerra civil de 1936-1939 acabó con casi todos los planos y croquis que Gaudí había ido confeccionando durante el proceso de construcción. Sólo unas cuantas fotografías de la maqueta que se salvaron permiten aventurar algunas ideas. Este hecho va a impedir que bastantes incógnitas de la estructura de la cripta queden definitivamente despejadas.

Pero se puede paliar en parte esta carencia gracias a que en el año 1983 un grupo de holandeses y alemanes admiradores de lo gaudiniano llevó a cabo la ingente tarea de reconstruir la maqueta colgante

(Fig. 4) que, junto a la publicación que relata la prolija experiencia de su elaboración, son una aportación de un gran valor (3).

La observación de la maqueta aporta datos que permiten entender y conocer mejor el edificio actual en función de las necesidades estáticas del conjunto inacabado. Pero sobre todo pone de manifiesto la gran paradoja de la cripta. Es un edificio concebido para ser estable una vez concluido todo el conjunto y, sin embargo, es estable sin estar acabado lo que también convierte en pertinente la duda sobre la estabilidad del edificio finalizado.

La primera y más inmediata hipótesis que se considera cuando se analiza la cripta es qué comportamiento mecánico es el derivado de la inversión geométrica de la maqueta funicular, que convierte en compresiones en los arcos y soportes todo lo que son tracciones en los hilos, no existiendo ningún tipo de esfuerzo añadido, y, en consecuencia, una estabilidad total (4), ... pero sólo si el edificio se hubiera construido en su totalidad. Como la cripta es sólo una parte del edificio completo, se ha de suponer que es inestable, ya que careciendo los muros de las fachadas de las cargas de la parte superior, los empujes de los arcos perimetrales las desplazan hacia el exterior, al igual que ocurre en cualquier edificio de obra de fábrica con planta baja abovedada. Por igual razón, al faltar el empuje hacia el interior del arco perimetral y el peso de los elementos interiores superiores, la siguiente crujía y la central quedan desequilibradas y se arruina todo el conjunto. Es evidente que la hipótesis es falsa ya que el edificio está en pie.

Un primer tanteo para llegar a una explicación del hecho puede realizarse según los métodos de la estática gráfica, comprobando si las líneas funiculares producidas por la carga actual de la cripta no se alejan demasiado del núcleo central de los elementos de soporte. Pero se comprueba que elementos tan importantes como los pilares centrales de basalto, según la estática gráfica, no pueden estar en equilibrio en la actualidad (Fig.5). Queda claro, en consecuencia, que no puede admitirse la primera hipótesis, la más inmediata, de que el comportamiento responde al modelo antifunicular en su totalidad.

Sin embargo todavía cabe pensar que lo haga de modo parcial, debido a unos indicios generalmente inadvertidos, pero de una notable trascendencia, como método de contraste de las posibles hipótesis sobre el comportamiento del edificio: el intrincado

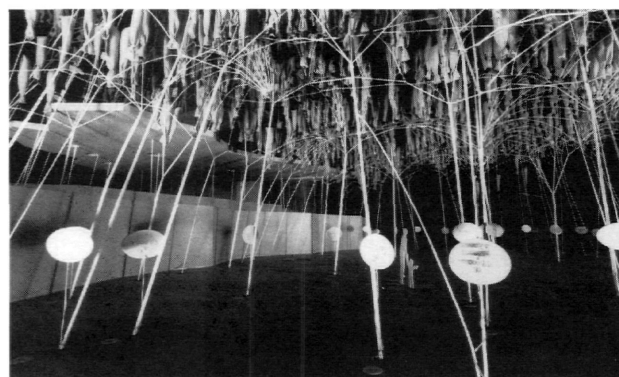


Fig. 4. Imagen invertida de la maqueta actual mostrando el núcleo central visto desde el ala izquierda. (Foto J. Isern/SPALDB).

mapa de fisuras que ostenta el tablero tabicado de rasilla, el techo de la cripta, y las que afectan a varias costillas y algunos de los arcos.

Algunas de ellas son notablemente amplias y han supuesto el desprendimiento de algún fragmento de las costillas (Fig. 6) Es un estado de fisuración no progresivo, indicio de un acomodo a un estado de equilibrio diferente del previsto en la maqueta funicular.

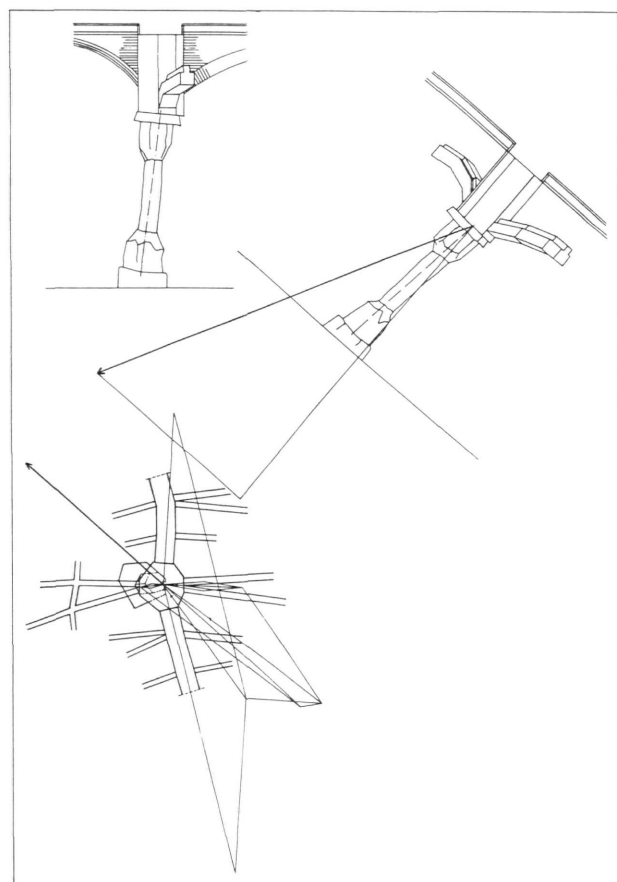


Fig. 5. Aplicación de la estática gráfica a uno de los pilares de basalto. La resultante se aleja notablemente del eje del pilar.



Fig. 6. Rotura de una de las costillas en su entrega con la riostra longitudinal.

Un análisis detallado mediante observación directa y un levantamiento fotográfico exhaustivo de más de mil fotografías, permite establecer el mapa de fisuras, del que cabe destacar los dos tipos de fisuras según sea su directriz, radial o circular (Fig. 7).

En definitiva, si bien el edificio no se ha arruinado si se puede asegurar que no está indemne, es decir, se han producido unas lesiones que suponen una distribución de esfuerzos no adecuada a la forma construida.

PRIMERA HIPÓTESIS CORREGIDA

La continuidad entre el tablero tabicado y las costillas, corroborada por deformaciones y fisuras comunes, permite introducir una nueva hipótesis que puede explicar el equilibrio existente: el comportamiento es el derivado del modelo funicular, pero complementado con el tablero que actúa como elemento estabilizante. La carencia de documentos impedirá corroborar si Gaudí consideró esta posibilidad, y que la creencia en ella fue lo que le permitió no adoptar ninguna medida de estabilidad provisional hasta la finalización total del edificio.

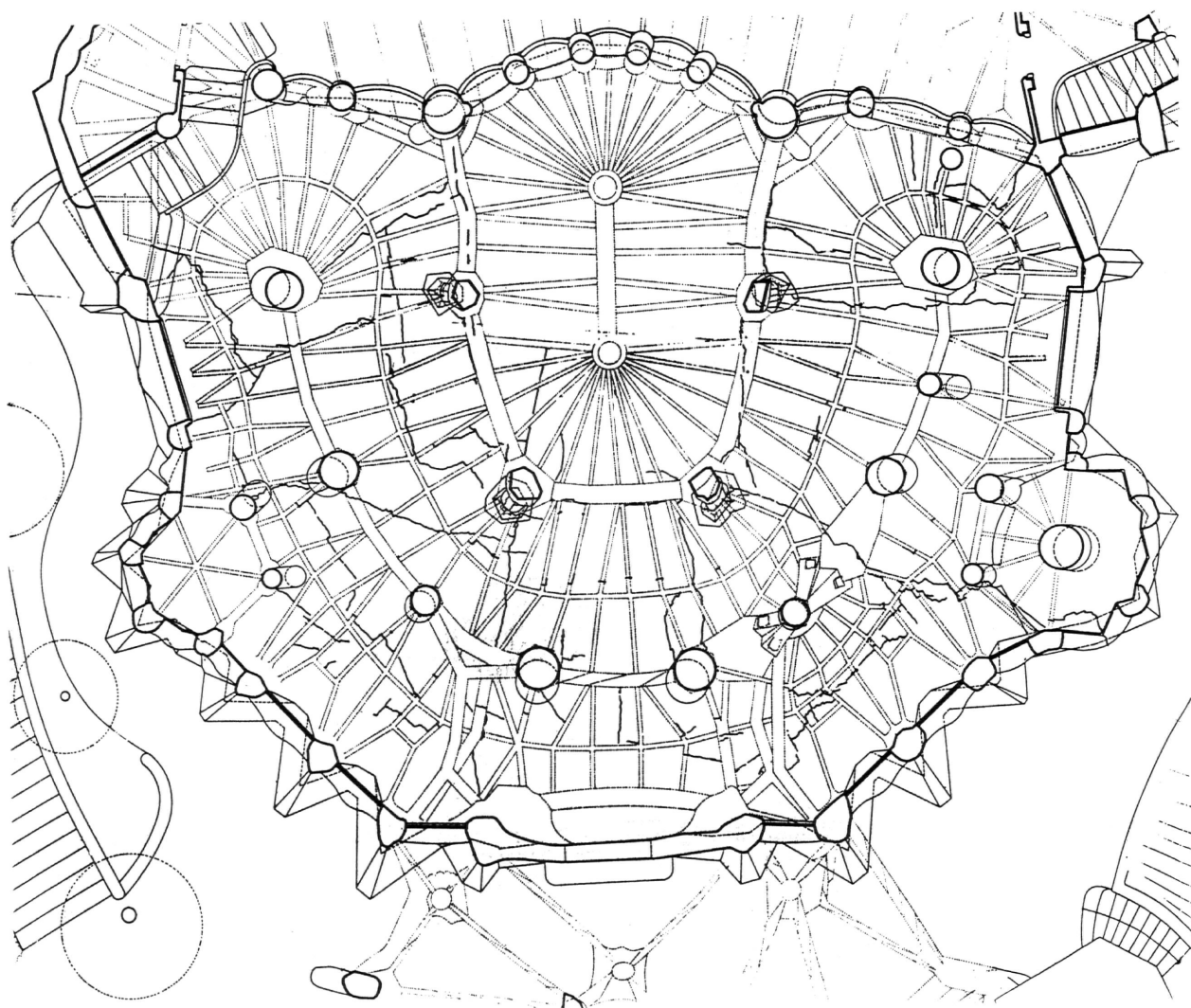


Fig. 7. Planta cenital de la capilla con las fisuras que afectan tanto al tablero tabicado como a las costillas.

En cualquier caso lo cierto es que estamos ante un ejemplar de la arquitectura de los empujes de planta concéntrica (semejante en ese sentido a una cúpula), y ante la evidencia de que algunos de ellos no están compensados, es razonable suponer un movimiento centrífugo desde el núcleo hacia los muros perimetrales.

La primera observación de las fisuras lleva a corroborar, en primera instancia, esta nueva hipótesis. La forma de sector circular de los fragmentos resultantes de la fisuración del tablero, que parece desplazarse

entre los soportes más rígidos, y la de bastantes costillas, es coherente con esta interpretación: si el perímetro no está cargado con los muros de la iglesia superior, si las diferencias de luces entre vanos suponen empujes diferenciales, estos tienden a dilatar el perímetro del edificio, no sin antes haber provocado la rotura del tablero de la estructura horizontal.

Sin embargo la búsqueda de todas las fisuras que permitan corroborar fehacientemente esta hipótesis es infructuosa. Esto, junto a la ausencia de bascula-

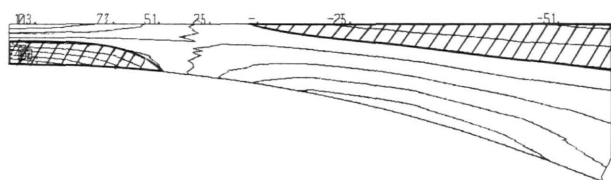


Fig. 8. Diagrama de tensiones a tracción (zona rayada) o compresión, de una costilla.

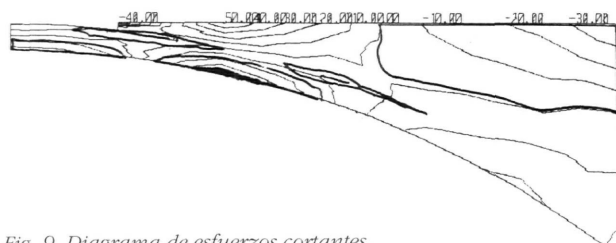


Fig. 9. Diagrama de esfuerzos cortantes.

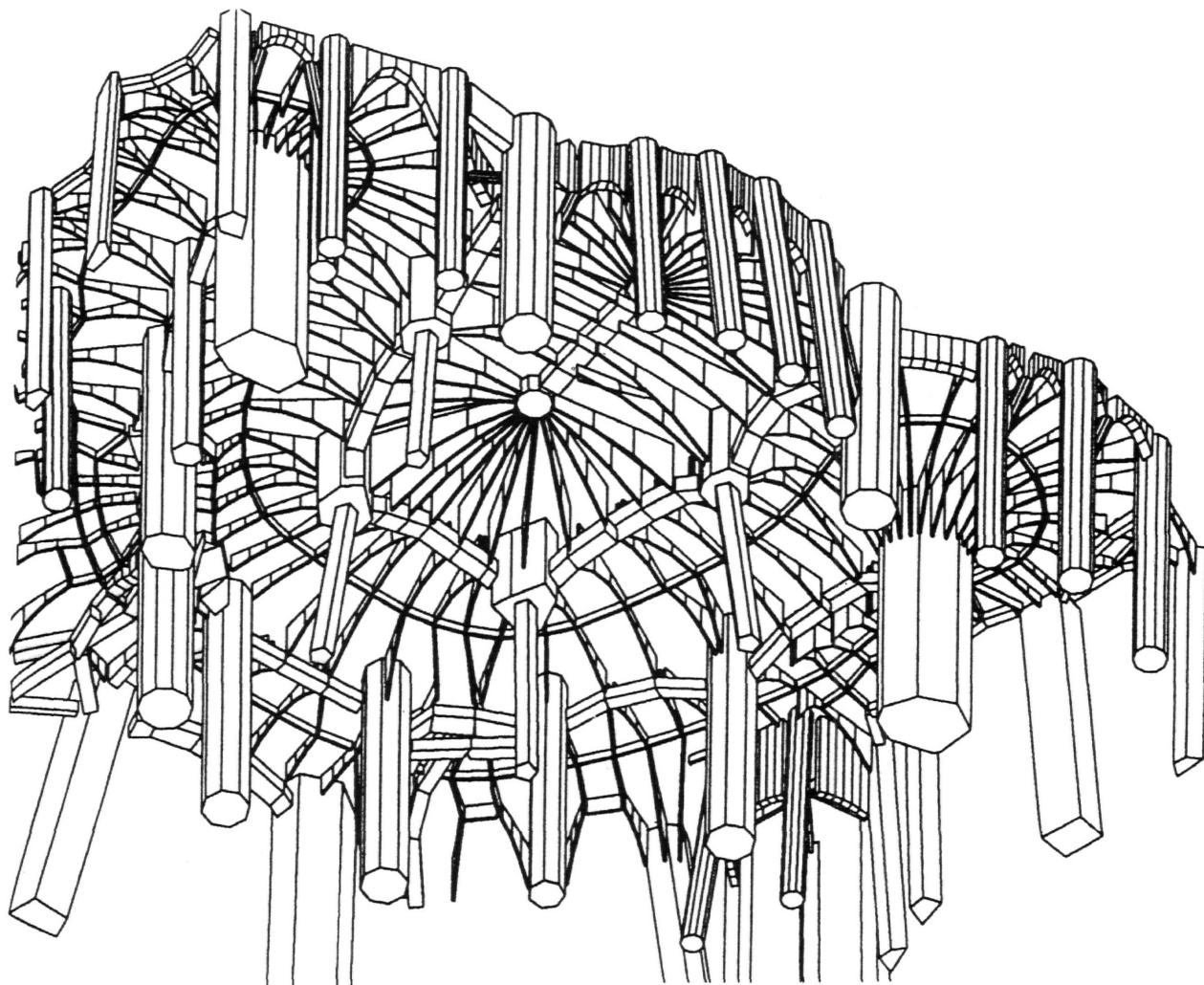


Fig. 10. Perspectiva de la maqueta informática.

ción de los pilares, pone en crisis definitiva esta primera hipótesis corregida y, en consecuencia, nos deja sin ningún modelo que interprete el comportamiento mecánico de la cripta. Parece claro que, paradójicamente, el método que sirvió para proyectar el edificio, la estática gráfica, es inoperante a la hora de realizar su análisis. Para romper el *impass* son necesarios otros métodos más eficaces en el proceso de modelización, y éstos no pueden ser otros que las potentes herramientas numéricas y de representación que nos proporciona la informática.

LA MAQUETA INFORMÁTICA

El estudio informático, basado en el método de los elementos finitos, se ha desarrollado en dos niveles, el de la estructura en su conjunto y, previamente, el de una unidad básica de la estructura horizontal (que hemos denominado costilla) formada por un arco y un murete sobre él.

El esquema tensional de una costilla bajo la acción gravitatoria, obtenido mediante un programa de uso extendido (5), se caracteriza por la existencia de zonas sometidas a tracción, tanto en la parte inferior de la clave como en la superior de los arranques, (Fig.8). Ciertamente se observa un buen número de costillas sujeto a una patología correlacionable con ese esquema de trabajo. El análisis de la posible contribución resistente de la solera destaca fuertes tensiones rasantes en la junta de mortero entre solera y tabique de la costilla. Por ello no es previsible que la solera trabaje solidariamente con muchas de las costillas por falta de suficiente adherencia, aunque se observan ciertas fisuras claramente relacionadas con este fenómeno.

Si se anula la contribución de todas las partes sujetas a tracción se obtiene un esquema de trabajo casi exclusivamente a compresión, en el que la deformación de la costilla no aumenta de forma perceptible, ni tampoco varía el ángulo de los empujes del arco en los arranques.

El estudio de la unidad básica también permite entender otros tipos de daños, por ejemplo los debidos a esfuerzo cortante (Fig. 9).

En definitiva, y sin entrar en más detalles, de este estudio parcial se puede concluir que la manera de trabajar de las costillas, aunque diferentes a las previstas en la hipótesis antifunicular, no producen una alteración sensible del equilibrio global de empujes.

Para el estudio global de toda la estructura, dadas sus especiales características (número, variedad y complejidad de formas) no se han podido utilizar los programas de análisis conocidos y accesibles al equipo investigador. Por lo cual se ha optado por elaborar un programa de cálculo específico bien adaptado al problema, y paralelamente un segundo programa para la representación gráfica detallada de los resultados obtenidos (6). (Fig. 10). Todo ello ha permitido desarrollar una maqueta informática que consta de 600 elementos lineales de directriz recta o curva, todos de distintas características. En la figura 11 se muestra uno de los gráficos tensionales obtenidos mediante la simulación del efecto de las cargas gravitatorias debidas a los pesos propios, que se corresponden con el estado tensional obtenido en el estudio a nivel de elemento individual.

En una segunda fase se han introducido un conjunto de modificaciones (7) que han permitido elaborar nuevas imágenes de las distribuciones de tensiones mediante un programa avanzado de representación gráfica (8). (Figs. 12 y 13).

Pues bien, las zonas sometidas a tracción coinciden casi con absoluta precisión con el estado fisurativo real de directriz circular, del tabicado horizontal y de las costillas de la cripta. Y esta correlación es lo que permite asegurar que la maqueta informática desarrollada supone una herramienta válida para el análisis de la cripta, aunque no permite justificar los estados fisurativos de directriz radial, tal como se comenta en el apartado siguiente.

En consecuencia, el análisis de todos los datos obtenidos mediante la maqueta permite formular nuevas conclusiones de las que se han de destacar dos como las más importantes. Los efectos de flexión siguen siendo locales aun cuando la estructura se analiza en su conjunto, y el edificio es estable dado el pequeño orden de magnitud de los movimientos horizontales obtenidos. En definitiva todo parece indicar que, contrariamente a lo previsible, se mantiene un equilibrio de empujes muy semejante al antifunicular. La explicación que nos proporciona la maqueta informática es la indicada en el párrafo siguiente.

Los pilares se hallan sometidos a sollicitaciones diferentes a las del modelo antifunicular, produciéndose en ellos estados de flexo-compresión. Sin embargo su enorme sección les dota de una gran rigidez, muy superior a la de costillas y arcos, con lo que las deformaciones de aquéllos son imperceptibles para estos. Los pilares y los muros del perímetro actúan a

modo de elementos rígidos en los que costillas y arcos se apoyan y mantienen el equilibrio antifunicular.

Si se quisiera conseguir una maqueta funicular realmente representativa del comportamiento real de la estructura existente se deberían sustituir los hilos correspondientes a los pilares y muros perimetrales por elementos rígidos, como por ejemplo varillas de acero. Con la maqueta al completo, es decir, todo el edificio, éstas trabajarían sólo a tracción simple. Si los hilos de la parte superior del edificio se cortaran, es decir se reprodujera el estado actual, las varillas pasarían a trabajar principalmente a flexión, pero dada su rigidez, la deformación sería prácticamente

nula, y los hilos de los arcos mantendrían sus esquemas de fuerzas y equilibrio inicial, sin cambiar la forma. Volviendo al edificio construido, la explicación del equilibrio de empujes existente es que responde al esquema antifunicular en lo relativo a costillas y arcos, gracias a la indeformabilidad de los elementos de apoyo, pilares y muro perimetral.

LA INTERPRETACIÓN REOLÓGICA

Queda por averiguar todavía, como ya se ha dicho, la causa de las fisuras radiales. La solución vendrá de un estudio más preciso de los materiales con los que está construido el edificio y, en especial, el tablero tabicado y las costillas de soporte.

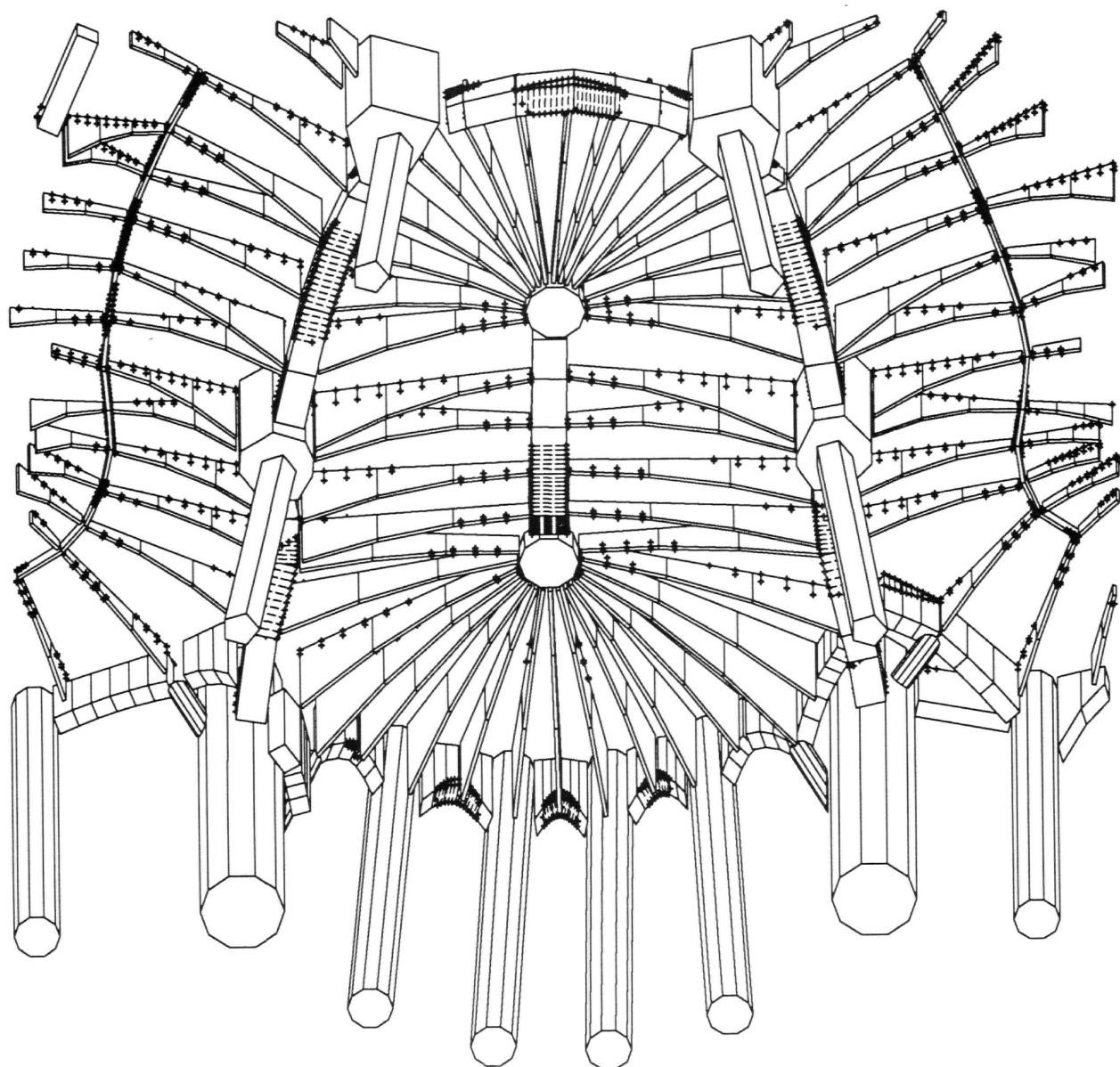


Fig. 11. Las zonas rayadas corresponden a tracciones superiores a 525 kPa debida al peso propio, considerando la contribución resistente del tablero.

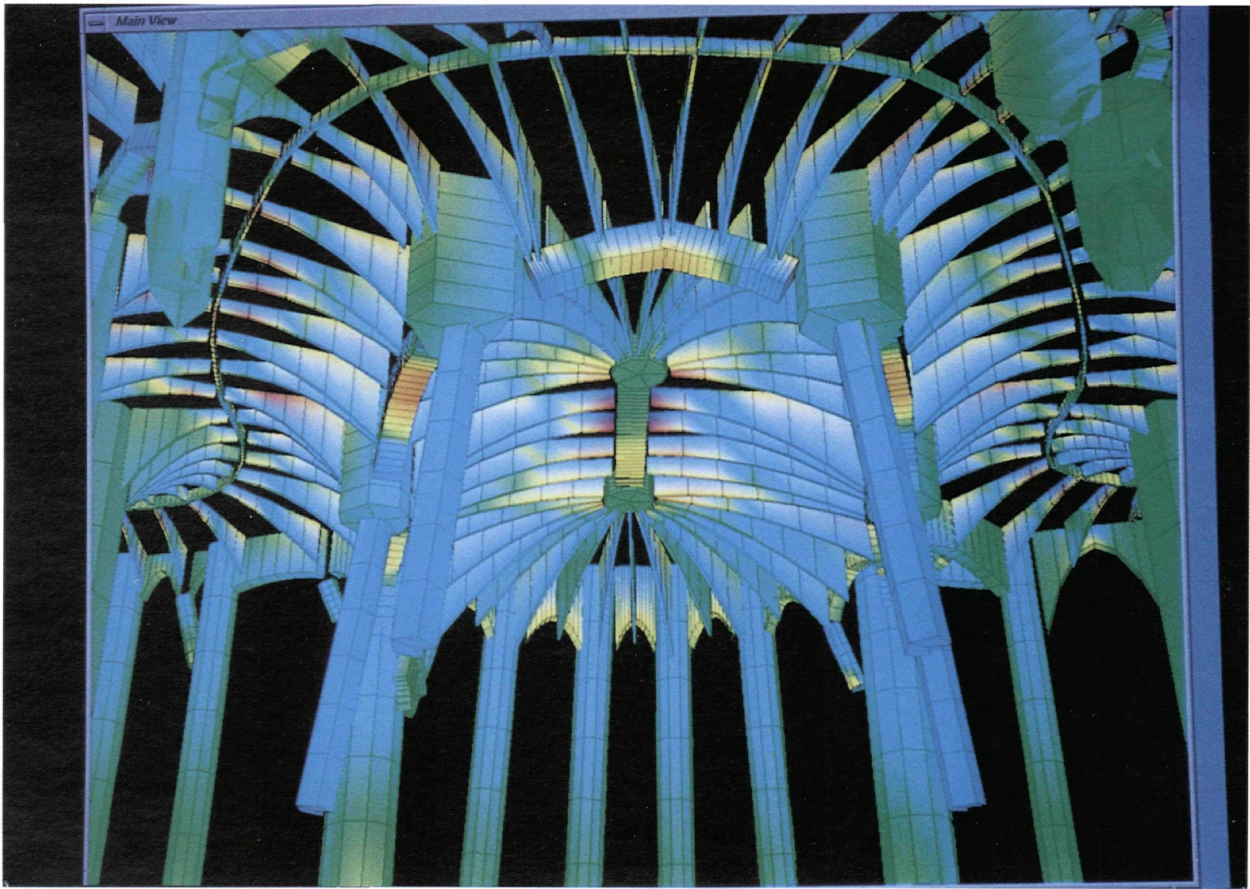


Fig. 12. Vista del núcleo de la Cripta con indicación de los valores tensionales mediante escala cromática continua (colores cálidos tracciones, fríos compresiones) y con el detalle de la descomposición en elementos finitos.

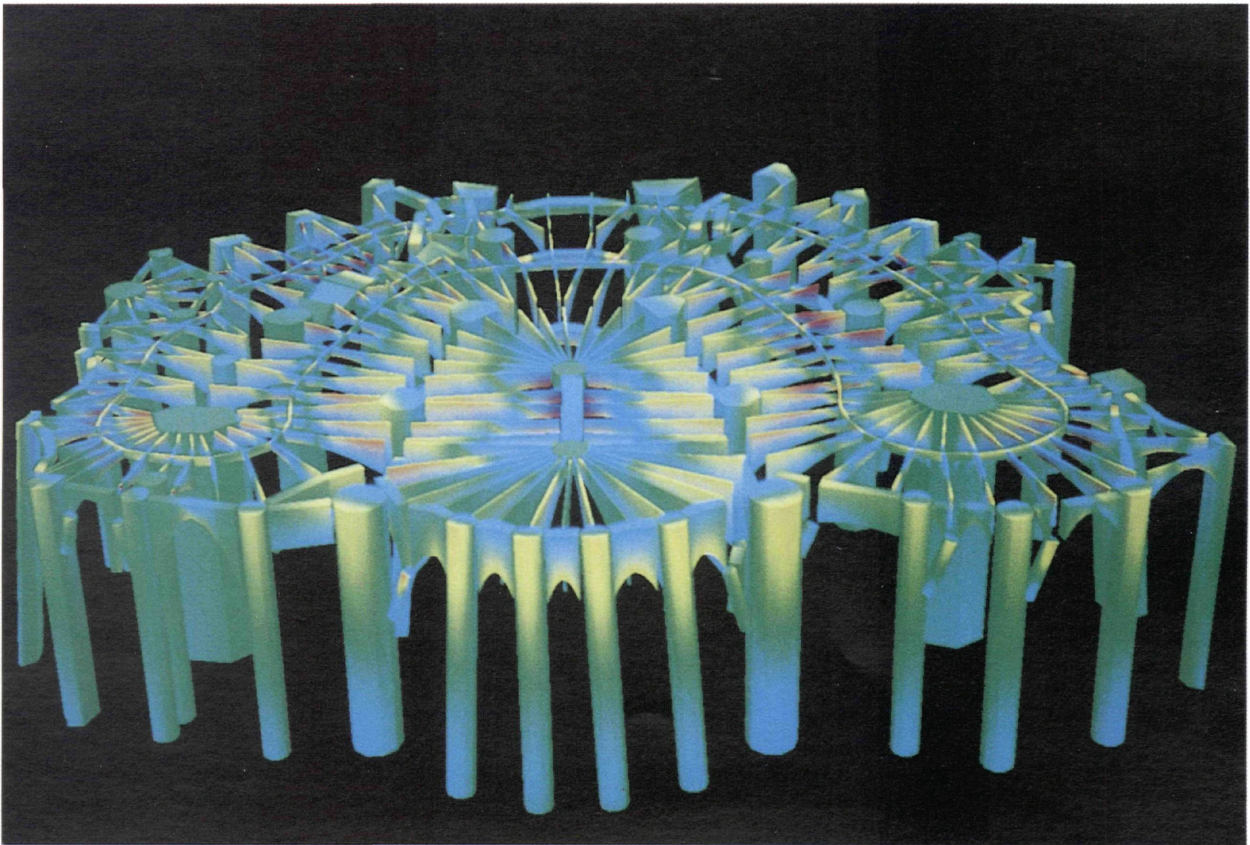


Fig. 13. Vista general superior.

En relación al tablero se ha de destacar un hecho notable hasta ahora no conocido y que es decisivo para la explicación buscada. La construcción habitual de estos tabicados se realiza tomando la primera hoja -el *senzillat* en catalán- con pasta de yeso, precisamente porque permite evitar la utilización de cualquier dispositivo auxiliar de soporte y que su expansión puede, en parte, compensar el efecto de retracción de las otras capas de mortero de cal. Sin embargo la observación de las rebabas de la pasta de la primera hoja del tabicado de la cripta, confirmada por ensayos difractométricos por rayos X, desvelan un hecho poco habitual: las rasillas de la primera hoja están tomadas con pasta de cemento portland.

La poca velocidad de fraguado de esta pasta obligó a ir colocando listones, tal como se ve en las huellas dejadas por ellos en la propia pasta de cemento, con los que ir sosteniendo las rasillas a medida que se iba construyendo el tabicado.

Está también confirmado por los mismos ensayos que las dos capas de mortero intermedio del tablero, y los morteros de las costillas, son también de cemento portland, aunque no se ha podido determinar las dosificaciones por no poder disponer de la cantidad de mortero necesario a tal efecto.

El porqué de esta composición puede estar en conseguir mayor resistencia para el elemento que debía soportar a los feligreses, y también en conseguir que la solera fuera resistente a la intemperie hasta que no se hubiera concluido toda la compleja construcción que la cubriría.

Ahora bien, esta atípica forma de construir lleva a considerar, entre las hipótesis que buscan explicar la fisuración radial, como la más razonable la que asigna la causa a la retracción hidráulica debida a pasta o morteros de cemento portland.

Los valores que habitualmente se manejan para dimensionar los movimientos por retracción de muros de obra de fábrica, oscilan entre 1 y 7 u 8 décimas de milímetro por cada metro lineal de pared o muro. Como no existen ensayos referentes a elementos tabicados planos, ya que es un elemento constructivo no utilizado habitualmente en la actualidad, se ha de suponer que en este caso será del orden de la cifra mayor, dada la mayor proporción relativa de mortero en su sección.

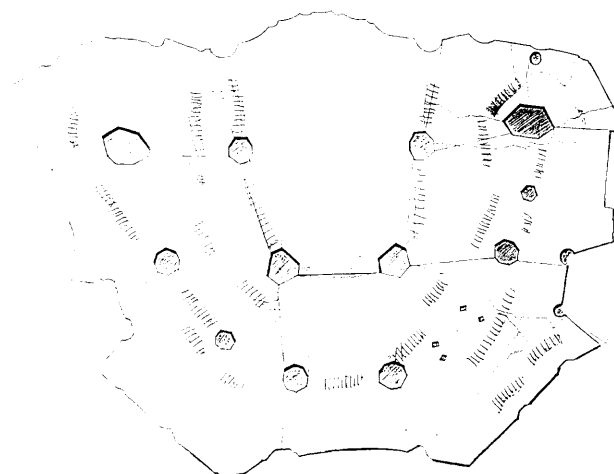


Fig. 14. Plana del tabicado en catalán con indicación de las zonas donde queda interrumpido, las fisuras existentes y las líneas virtuales de fisuración por retracción de mayor probabilidad.

Si se considera que la dimensión es mayor de 23 metros a lo ancho, y que la suma de las fisuras en este sentido está alrededor de 3 milímetros, se puede asegurar que se ha producido una retracción de 2 ó 3 décimas de milímetro por metro que, a la vista de los morteros empleados, es el mínimo que podría esperarse. Supuesto un módulo de Young de 100.000 kg cm⁻² (9), a esta retracción le corresponde una fatiga que va desde 10 a 20 kg cm⁻² de tracción. Es evidente que no es un valor fácilmente asumible por la fábrica.

Si además se considera, por un lado, que la solera tiene unas discontinuidades en los lugares por donde deberían haber atravesado los pilares y, por otro, las dimensiones habituales que bajo unas retracciones de ese orden rompen los elementos de obra de fábrica en general, es razonable concluir que la causa de las fisuras radiales no es otra que la retracción hidráulica (Fig. 14).

Con lo que también se puede llegar a una nueva afirmación: la retracción es la acción que lleva a hacer visibles bastantes de las fisuras de origen gravitatorio, sumándose a las tracciones mecánicas en los casos en que coinciden tracciones en las costillas y líneas previsibles de rotura en la solera.

Todo ello permite finalmente poder llegar a afirmar que el modelo formado por la maqueta informática, junto con la interpretación reológica, es una herramienta de análisis completa y suficientemente fiable para el estudio del comportamiento global de la cripta construida y, por extensión, de cómo le podría afectar cualquier modificación de su estado actual. Como por ejemplo la finalización del edificio.

SOBRE LA HIPOTÉTICA FINALIZACIÓN DE LA IGLESIA

Consideremos este último supuesto que, obviamente, sólo busca colmar, en lo que sea posible, la curiosidad histórica sobre la hipotética finalización de la iglesia, especialmente en relación a la zona que se presenta como más problemática, es decir, la de los pilares basálticos centrales. Tal como se describe en detalle en el artículo citado anteriormente, la configuración geométrica de los cuatro pilares centrales y los arcos a sardinel que sobre ellos se apoyan, no parece ser consecuencia del estado de cargas que presumiblemente se habría dado de finalizarse el edificio, ni tampoco, como también se ha dicho anteriormente, del estado actual de cargas. En cualquier caso es razonable pensar que no podrían soportar las cargas provenientes de los pilares superiores (Fig. 15).

El único dato de Gaudí con relación al cálculo de la carga, que actuaría sobre cada uno de los dos pilares basálticos más cercanos al altar, es que la carga sobre los cimientos habría sido de 75 t (10).

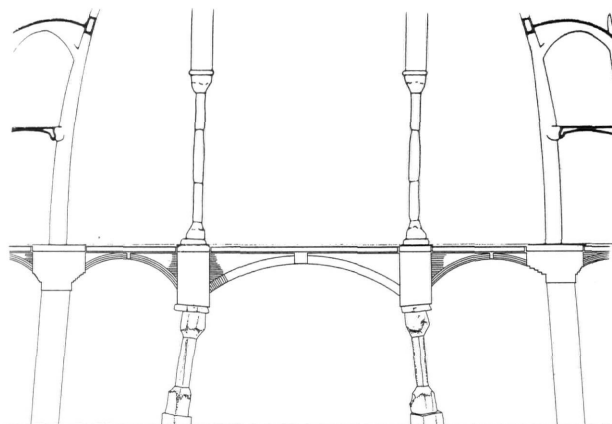


Fig. 15. Relación entre los pilares basálticos delanteros y los hipotéticos pilares basálticos de la iglesia superior: (La imagen de la parte superior está tomada de Jos Tomlow, op. cit. pág. 210).

Considerando que el peso propio estimado de la parte construida es de unas 25 t y una sobrecarga de uso del orden de 5 t, es razonable suponer que la carga proveniente de la parte superior habría sido del orden de 45 toneladas.



Fig. 16. Las juntas entre fustes y basas y capiteles son de plomo.

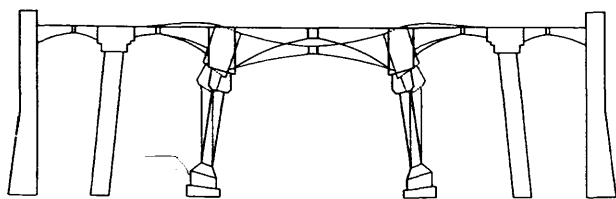


Fig. 17. Movimiento de los pilares basálticos delanteros bajo peso propio y con rótulas en las juntas de plomo.

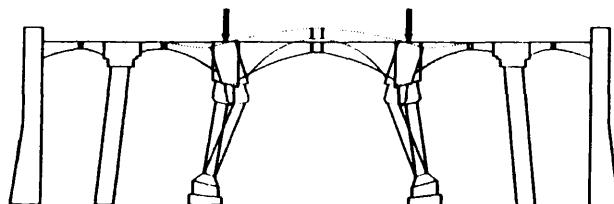


Fig. 18. Movimiento de los mismos pilares bajo las cargas provenientes de la iglesia superior finalizada.

Es preciso destacar ahora una característica esencial de los pilares basálticos no citada con anterioridad: las dos juntas entre el fuste y el capitel y la basa son de plomo (Fig. 16). Además de ser una solución constructiva, más o menos habitual para conseguir el contacto homogéneo entre sillares, en nuestro caso cabe darle un significado mucho más interesante: las juntas de plomo actúan como rótulas de unión entre las piezas permitiendo un cierto giro relativo, que, aunque imperceptible, afecta a la distribución de fuerzas en los pilares del núcleo central (11).

Introducida esta hipótesis en la maqueta informática, el peso propio actual genera una distribución de tensiones originada por la basculación de los dos macizos de ladrillo superiores hacia el exterior, que se produce debido a los empujes de las costillas del núcleo de más luz que las del deambulatorio (Fig. 17). Parte de la fisuración observada en esta zona sólo se entiende si se considera este movimiento. Es un movimiento debido al desequilibrio, consecuencia precisamente de la falta de carga superior y por efecto de las juntas de plomo, pero que queda amortiguado por las costillas de ladrillo sin que se produzca más que unos leves daños.

Lo más sorprendente es que, si en la maqueta informática se introducen unas cargas concentradas sobre los macizos de ladrillo para simular la acción del edificio superior se observan unos movimientos de los macizos pero justamente de signo contrario. Si buscamos la carga que consigue equilibrar el conjunto y volver los macizos a su estado original, se llega a un valor del orden de unas 20 t y no las 45 t, que hubieran existido si se hubiera finalizado el edificio superior. Lo que nos lleva a una nueva suposición realmente sorprendente. La carga del edificio acabado desequilibraría al conjunto de los pilares basálticos en el sentido contrario al desequilibrio actual y en un orden de magnitud muy semejante (Fig. 18), y

que, al igual que el desequilibrio actual, sólo hubiera producido un reacomodo de los dispositivos constructivos sin que apenas se hubieran dañado las fábricas.

Es decir, precisamente las juntas de plomo de los pilares basálticos es el dispositivo constructivo que convierte la zona central de la cripta en una estructura evolutiva adaptable a los dos estados de carga extremos, el actual y el final, que producen desequilibrios opuestos, pero que es capaz de mantenerse estable en los dos casos, y que sólo habría estado equilibrada en un estado intermedio de la construcción. Es una conclusión que forzosamente quedará en el terreno de las hipótesis, pero, sin duda, difícilmente rechazable por sugestiva.

Cabe pensar que Gaudí previó claramente que el edificio debería pasar por unos estados intermedios no exactamente equilibrados, o incluso la eventualidad de que nunca se llegara a concluir la obra. Ello le llevó, por un lado, a construir unos soportes verticales de rigidez suficiente para absorber los empujes no compensados por los pesos superiores y, por otro, en relación a los arcos y columnas delimitadores del núcleo central, adoptar una forma intermedia entre la forma derivada del equilibrio final y la forma que hubiera surgido de la cripta sin edificio superior. Tanto en la situación actual como en la de la hipotética finalización, Gaudí confió en las posibilidades de readaptación de la construcción coherente frente a situaciones que se alejaban de las previstas por la estática gráfica de su maqueta. Con su ya larga experiencia era perfectamente conocedor de las capacidades de ciertos elementos constructivos, como las bóvedas tabicadas, para estar en equilibrio sin concordar plenamente con su polígono funicular.

Con lo cual se vuelve a reforzar una vez más la tesis

defendida sobre cómo se desarrolló la creatividad de nuestro arquitecto más singular, Antoni Gaudí: mediante un perfecto equilibrio entre una desbordante voluntad de expresión plástica y el conocimiento profundo de los límites y posibilidades de la materia para construirla. Si bien no era este el objetivo de la investigación, la permanente necesidad de su defensa obliga a destacarla una vez más. Gaudí concibió toda su arquitectura con un conocimiento

profundo de los problemas de su materialización y extrajo de ésta el máximo de sus recursos expresivos. Su evocación como justificación de formas actuales que no responden a la lógica del uso racional de la materia carece de sentido.

Aunque no sea su objetivo, la comprensión previa de la realidad constructiva del monumento también puede ayudar a la comprensión de nuestra historia.

NOTAS

- (1.) Albert Casals Balagué, José Luis González Moreno-Navarro, "Gaudí y el misterio de la encarnación. (Las incógnitas de la Cripta de la Colonia Güell)", *Gaudí Constructor*, INFORMES DE LA CONSTRUCCION. Vol. 42, nº 408, julio/agosto de 1990.
- (2.) Joan Bergós, "Conversaciones de Gaudí con Joan Bergós" en *Hogar y arquitectura*, nº 112, 1974, pág. 54.
- (3.) Jos Tomlow, "Das Modell... The Model... El modelo. El modelo colgante de Gaudí y su reconstrucción." Edición trilingüe, Stuttgart, Institut für leichte Flächentragwerke, 1989.
- (4.) Esta es la interpretación más extendida. Véase como ejemplo la reciente referencia de la Cripta como caso paradigmático de conjunción entre función estructural y expresividad, que hace David Guise en su libro "Design and technology in architecture. Revised edition". Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1991, p.2.: "By positioning his columns in this way the architect, Antonio Gaudí, minimized the need for them to resist bending and buckling tendencies, calling upon to resist only compressive force. The surrealist space that was created is the direct result of using a particular material, with a specific structural capacity, in a manner that exploits that capacity".
- (5.) "Structural Analysis Programs. SAP 80" de Edward L. Wilson.
- (6.) Este estudio ha contado con la colaboración de David Vergés Coll y Marino Vivas Jiménez, que mediante la realización de sus tesinas de especialidad de Ingeniería de Caminos, C. y P. (dirigidas por Pere Roca Fabregat) han desarrollado los programas de ordenador y su aplicación a la Cripta, en el Centro de Cálculo de la E.T.S. de Caminos C. y P. de Barcelona.
- (7.) Estas modificaciones han sido desarrolladas por Climent Molins Borrell. Ingeniero de Caminos C. y P.
- (8.) "Multipurpose graphic system" de Cray Research Inc., implementado en el sistema informático del CESCA (Centro de Supercomputació de Catalunya).
- (9.) Véase Josep Goday, "Estudi històric i mètodes de càlcul de les voltes de maó de pla", Barcelona, s.d., y Joan Bergós, "Tabicados huecos", Barcelona, 1965. Ambos hacen referencia a los ensayos hechos por Esteban Terradas en la década de 1920 que dan esos valores para los tabicados con morteros resistentes.
- (10.) Véase Isidre Puig Boada, "L'Església de la Colònia Güell". Barcelona, Lumen, 1976.
- (11.) Inicialmente fue una idea sugerida por el ingeniero romano Giorgio Crocci en la visita realizada a la cripta en el verano de 1991.

* * *

publicación del ICCET/CSIC

INSPECCION DE OBRAS DAÑADAS POR CORROSION DE ARMADURAS

El presente Manual va dirigido principalmente a técnicos especializados y laboratorios que tienen que intervenir en el dictamen de la situación de deterioro de estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión de armaduras.

Comienza con un resumen recordatorio de los factores principales a los que se pueden deber los daños prematuros por corrosión de armaduras, para seguir con algunas indicaciones de cómo se deben realizar las inspecciones, y de los ensayos y la metodología que se recomienda realizar para poder dictaminar con precisión las causas de daño.

A continuación se hacen una serie de comentarios sobre la vida residual de estructuras dañadas, sobre el riesgo de corrosión futura, el seguimiento necesario de una estructura reparada y una breve enumeración de métodos de reparación y consideraciones básicas a tener en cuenta en la recomendación de un determinado método. Se aporta una breve relación bibliográfica.

Finalmente se incluyen en forma de ficha la descripción de algunos casos de corrosión de armaduras detectados en nuestro país.

manual

inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras

programa temático del
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
"Corrosión y protección de materiales"
Coordinador: S. RELU
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas

subprograma: "Corrosión de armaduras"
Otra coordinada por: C. ANDRADE
Instituto Eduardo Torroja de
Ciencias de la Construcción