

## Tradición e innovaciones técnicas en la arquitectura de Gaudí

Joan Bassegoda Nonell

### ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EN CATALUÑA EN TIEMPOS DE GAUDÍ

#### Ladrillos

Se hacen en Cataluña con buena arcilla, debidamente moldeada en cajas de madera, puesta a secar al sol y luego cocida en hornos. Tienen fama por su sonido metálico al ser golpeados, por su homogeneidad, la carencia de cal en su masa y su resistencia. Entonces no se conocía la fabricación mecánica al vacío, por lo que Gaudí utilizó siempre ladrillos manuales. Los tipos más frecuentes eran el ladrillo común, el picholín, el rasilla, el ladrillo hueco mahón, el macizo grueso y el doble hueco.<sup>1</sup>

#### Cal

En Cataluña hay una antigua tradición romana de hornos de cochura de cal. A base de piedra caliza calentada a 800º, el producto obtenido es la cal grasa y después de airearla o tenerla en agua se convierte en cal apagada.

#### Cementos

En tiempos de Gaudí se utilizaban el cemento natural, el artificial y el Portland.

El cemento natural es una marga de caliza y arcilla que, debidamente triturada, endurece con el agua. No

era demasiado frecuente en Cataluña. El cemento artificial se consigue mezclando adecuadamente caliza y arcilla, triturándola luego. El cemento rápido es de color amarillo y endurece en unos 30 minutos.<sup>2</sup> El cemento Portland solo tiene un 25 % de arcilla y se somete a 2.000º de temperatura en hornos giratorios. Es perfecto para el hormigón armado por su adherencia con el hierro y su gran resistencia.<sup>3</sup>

#### Yeso

Se trata de sulfato cálcico anhidro. Se encuentra en su estado natural formando unas rocas que, debidamente calentadas en hornos, producen un polvo blanco que se usa como cemento sin mezcla alguna de arena, pero sí de agua. Se expande un 1 % de su volumen. Es de gran tradición en Cataluña para hacer tabiques y bóvedas pero no es apto para exteriores.

#### Mortero

Mezcla de cal o cemento con arena y agua utilizado para unir sillares de piedra o ladrillos. Con el tiempo, alcanza una gran resistencia. En catalán se llama *barreja*.

#### Hormigón

Mezcla de cal o de cemento, arena, agua y piedra, usado para muros gruesos o cimientos. En catalán se

llama *morter*. Si es de cemento Portland con varillas de hierro es el hormigón armado.

### Piedra artificial

Material fabricado con cemento o cal, arena y pequeñas piedras imitando la piedra natural mediante moldes. Se le añadía en tiempo de Gaudí la puzolana<sup>5</sup> para darle propiedades hidráulicas. En la Finca Guell y en la Casa Calvet hay buenos ejemplos de piedra artificial con diseño de Gaudí.

## TIPOS DE CONSTRUCCIÓN CARACTERÍSTICOS EN CATALUÑA

### Piedra en seco

En catalán, *construccions de pedra en sec*, significa la formación de bancales y barracas de viña en los campos muy pedregosos del Penedès, Anoia, Conca de Barberà y otras comarcas catalanas. Los campesinos subdividen los campos con bancales para salvar desniveles y aprovechan las piedras que extraen de los viñedos y campos de labranza para hacer las barracas de viña.<sup>6</sup>

### Tabicados planos

La palabra *tabique*, en catalán *envà*, define un muro de ladrillo de tal forma que los ladrillos se hallan *por tabla*, es decir, unidos por la parte estrecha, con lo que se obtienen paredes muy delgadas aptas para la separación de habitaciones.

Los tabicados planos pueden ser tabiques de panderete o tableros tabicados según sean verticales u horizontales. Son de uso frecuentísimo en la arquitectura catalana e incluso en ocasiones se usan como paredes de carga.

El tablero tabicado se forma sobre las viguetas de un forjado con dos o tres gruesos de rasilla y son muy comunes en Cataluña. Cuando se trata del caso de terrados o azoteas se hacen con tres gruesos de rasilla, siempre a matajuntas, y un cuarto grueso de rasilla fina o recortada para pavimento. Se reciben siempre con mortero de cal o cemento. En cambio para tabiques interiores alas casas, se toman con yeso.<sup>7</sup>

### Bovedillas tabicadas

Llamadas en catalán *revoltons*, son pequeñas bóvedas de cañón formadas por ladrillos o rasillas entre las viguetas de un forjado.

### Bóvedas tabicadas

Esta importante forma de construir fue una constante en la obra de Gaudí basada en la mejor tradición constructiva catalana. En catalán, se llaman *voltes de mao de pla*; tienen toda clase de formas en el espacio y se suelen hacer con una primera hoja o sencillo tomada con yeso o rápido y la segunda o doblado recibida con mortero de cal o cemento lento. La primera hoja suele ser de rasilla y la segunda de ladrillo mediano. Los ladrillos siempre colocados por tabla a matajuntas.<sup>8</sup>

### Bóvedas de escalera

En catalán *voltes d'escala*; son bóvedas tabicadas para formar tramos de escalera con arcos por tranquil (*arc coix*) o formas continuas de generación helicoidal.

La habilidad de los albañiles catalanes en este menester era, y es todavía, notable. No acostumbran a usar cerchas o cimbras. A los especialistas se les llama *escaleristas* y cuando se tiene construida la caja de escalera acuden a la obra estudiando detenidamente el espacio y los desniveles e, inmediatamente y sin ningún dibujo previo, trazan los perfiles de las bóvedas sobre los muros con un clavo encima de unas franjas de revoco de yeso que han formado en la zona donde preveen que han de pasar la bóveda y acto seguido inician la construcción por la parte inferior, ayudándose —solamente— de una regla y una plomada, colocan los ladrillos o rasillas del sencillo con yeso o cemento rápido sosteniendo la pieza debidamente untada (enlardada) con el cemento colocada en sus bordes, contra el muro o el ladrillo inmediato durante un breve rato. A los pocos segundos, la sueltan y la pieza queda en su sitio. Se repite la operación hasta terminar la bóveda del sencillo. Encima se extiende mortero de cal o cemento y se hace el doblado con ladrillos medianos, siempre a matajuntas. La resistencia de la bóveda tabicada es tal que los al-

bañiles andan por encima de ella, incluso con el sencillo solamente.<sup>9</sup>

### Azoteas

Se construyen, tal y como queda dicho, sobre tres gruesos de rasilla común de tablero tabicado y una cuarta parte de rasilla recortada. Entre el forjado del último piso y esta azotea tabicada, se deja una cámara de aire mediante unos tabiquillos conejeros (*envanets de sostre mort*) separados unos 60 cm.<sup>10</sup>

### Cítaras a media asta

En catalán, se conocen como *parets de tres quarts*. Son muros de carga interiores a las construcciones de casas de habitación que tienen un grueso de 15 cm. formadas por aparejo de ladrillo a soga. Con estos muros portantes, se hacen casas de cinco y más alturas que entre el peso propio y la sobrecarga de forjados y cubiertas, soportan en la planta baja cargas muy superiores a las que teóricamente puede resistir el ladrillo, que es de 10 kg./cm. La excelente calidad del ladrillo y su adecuada puesta en obra junto a los buenos morteros de cal o de cemento, hacen posible que haya perfecta estabilidad.<sup>11</sup>

### LOS MÉTODOS TRADICIONALES CATALANES EN LA OBRA DE GAUDÍ

En la familia de Gaudí nunca hubo arquitectos, por lo que obtuvo el conocimiento del oficio a través de las enseñanzas de la Escuela Provincial de Arquitectura de Barcelona. Allí sus profesores de Construcción fueron Juan Torras Guardiola y Leandro Serrallach Mas. Conviene tener en cuenta que esta Escuela se estableció en 1871 ya que antes existía solamente la Escuela de Maestros de Obras de la que también fue profesor Juan Torras Guardiola.<sup>12</sup> Para conocer lo que Gaudí pudo aprender de esta materia de la construcción hay tres importantes fuentes:

1. Las *Lecciones de Construcción* del profesor Juan Torras Guardiola explicadas en la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona de 1860, tomados por el alumno Macario Planella Roura.<sup>13</sup> Forman

un manuscrito de dos volúmenes, uno de texto y otro de láminas. Fue adquirido por la Cátedra Gaudí y la nieta de Planella en 1984 y es inédito.

2. *Apuntes de Manipulación de Materiales de Construcción*, del profesor Leandro Serrallach Mas, explicados en la Escuela Provincial de Arquitectura. Serrallach fue profesor de esta asignatura desde el establecimiento de la Escuela en 1871 hasta 1890. Gaudí asistió a las clases de este profesor e incluso llegó a trabajar como delineante en su despacho en 1876.
3. *Apuntes de Construcción* del profesor Joaquín Bassegoda Amigó (1854-1938). Este arquitecto, compañero de carrera de Gaudí, fue profesor de construcción desde 1890 hasta 1924. Sus apuntes se guardan en la Cátedra Gaudí y componen tres volúmenes con 130 lecciones.<sup>14</sup>

En los apuntes de Torras, tomados por Planella, al hacer referencia a las bóvedas tabicadas de escalera dice textualmente: «Los operarios no ponen siquiera plantilla o cercha, tal es la práctica y soltura con las que hacen», frase que acredita la ya entonces fama de los escaleristas. Sólo menciona el yeso para la fabricación de bóvedas mientras Bassegoda alude al cemento rápido para el sencillo de la bóveda.

### GAUDÍ Y LOS OFICIOS

La carrera de arquitecto ha adolecido desde el Renacimiento del defecto de ser demasiado teórica, por lo que los estudiantes acaban conociendo la teoría de la arquitectura pero no su práctica.

Gaudí, hijo de un artesano, se interesó por los oficios manuales que rodean y completan la arquitectura y procuró conocerlos y practicarlos. Trabajó en los *Talleres Eudaldo Puntí*, en la calle de la Cendra del barrio del Pedro de Barcelona, junto al taller de Lorenzo Matamala. Allí conoció Gaudí la forja, el hierro colado, la carpintería, la vidriera, el modelado en yeso, etc. En este sentido, tuvo una gran ventaja sobre sus colegas contemporáneos.<sup>15</sup>

### INNOVACIONES CONSTRUCTIVAS APORTADAS POR GAUDÍ

Gaudí fue el primero en utilizar profusamente el mosaico de azulejo troceado (en catalán, *trencadís*). La

razón no era caprichosa sino fruto de la necesidad de revestir con azulejos una superficie alabeada.

Era costumbre en Cataluña alicatar ciertas bóvedas en las partes bajas de las escaleras. Como quiera que la curvatura de estas bóvedas era poco pronunciada, se conseguía recubrirla con azulejos partidos por su diagonal formando triángulos equiláteros. Al querer Gaudí recubrir superficies de más pronunciada curvatura, se decidió por la técnica romana del mosaico pero usando como teselas fragmentos de azulejos. Cuanto más curvada es la superficie a cubrir, más pequeños han de ser los trozos de azulejo.

Este sistema fue luego ampliamente usado por otros arquitectos del tiempo de Gaudí.

Además de importantes innovaciones en el campo de la cerrajería y la carpintería, que Gaudí inventó partiendo de lo que pudo ver en el taller de Puntí, hay un método que merece ser comentado. Se trata de la prefabricación de elementos constructivos que luego han sido de uso frecuente en la arquitectura moderna, aunque de modo industrial, en tanto que el proceder de Gaudí fue plenamente artesano.

Para conseguir este tipo de piezas, mandaba hacer nos moldes de madera a su carpintero Juan Munné. Estos moldes debían tener las más variadas formas pues iban a servir para muy distintas finalidades. Para hacer mosaicos de piedras pequeñas y rústicas, ponía estas piedrecitas al fondo del molde, encima echaba una capa de mortero de cemento rápido o de cal y acto seguido se formaba una bóveda tabicada de dos gruesos de trencadís, se colocaban los pedazos cerámicos en el fondo del molde y encima se hacía la bóveda tabicada. El resultado era una base resistente de ladrillo que por su cara externa presentaba una superficie decorada con piedras o azulejos rotos. A primera vista, parece un aplicado hecho a posteriori pero en realidad son piezas totalmente prefabricadas.

Estas innovaciones en el campo de la construcción se completaron en el campo de la geometría con la que Gaudí compuso su arquitectura.

En sus obras, pueden verse sistemáticamente empleado el arco parabólico y el catenárico que son los de formas mecánicas más perfectas.

La forma que adopta espontáneamente un arco cargado uniformemente a lo largo de su extensión es una catenaria.<sup>16</sup> Se llama así a la cadena sujeta por sus extremos si sus eslabones son iguales. Esta forma suspendida es para el material que trabaja estirado. Si

se da vuelta a la curva y en vez de la cadena se ponen piedras o ladrillos se tiene el arco catenárico que trabaja por compresión.

Cuando la carga es uniforme, no a lo largo de toda la curva sino a lo largo de su proyección horizontal, entonces la curva es una parábola.

Desde finales del siglo XVII era conocida la ecuación de la catenaria y sus propiedades mecánicas pero sólo en muy raros casos se utilizó el arco catenárico en arquitectura pues a pesada carga cultural de los arquitectos les hacía pensar que esta forma mecánica era fea y poco apta para la construcción, en la que se siguieron empleando los arcos semicirculares o elípticos.

Gaudí, careciendo de prejuicios culturales arquitectónicos, comprendió que el arco de catenaria por ser el más mecánico y por tanto funcional, debía ser el más hermoso, pues la naturaleza crea las formas útiles y bellas al mismo tiempo.

De los arcos mecánicos pasó Gaudí al estudio de las bóvedas cuyas formas determinó empíricamente mediante los polígonos funiculares que estudió en una maqueta de cordeles con sacos de lona conteniendo perdigones que se suspendían de los cordeles, con un peso 10.000 veces menor a las cargas que debían insistir sobre los arcos. En este caso, los cordeles toman la forma de un polígono abierto que, una vez fotografiado e invertida la fotografía, daba la forma mecánica de los arcos que soportaban cargas puntuales en vez de uniformes.

Tal manera de proceder, ingeniosa y simple a la vez, llamó poderosamente la atención de los ingenieros y arquitectos contemporáneos de Gaudí, pero nunca se decidieron a imitar su ejemplo, prefiriendo los cálculos mediante la estática gráfica sobre planos.

Otra valiosísima aportación de Gaudí al campo de las formas y estructuras fue la utilización de la llamada geometría reglada, es decir, superficies alabeadas en el espacio compuestas únicamente por líneas rectas. Esta geometría fue estudiada por primera vez en el siglo XIX, en los inicios de la geometría descriptiva, pero Gaudí fue quien aprovechó de estas superficies regladas, que responden a los complicados nombres de hiperboloide, paraboloides hiperbólico, helicoide o conoide, pues comprendió que son mucho más frecuentes en la Naturaleza que los sonidos geométricos generalmente utilizados en la Historia de la Arquitectura, como son el cubo, la esfera y el prisma.

Si estas formas son más próximas a la Naturaleza y además muy fáciles de construir puesto que son líneas rectas, unas junto a otras, con inclinaciones distintas, lo normal es hacer uso de ellas en la construcción.

Para construir una bóveda que sea un paraboloides hiperbólico, basta colocar una regla sobre la cual se construyen sucesivamente las hiladas de piedras o ladrillos. Las rectas unen constantemente a otras dos no paralelas en el espacio y el resultado es precisamente el paraboloides hiperbólico.

Los albañiles pueden construir estas bóvedas sencillamente y de un modo muy rápido. En largos y complicados estudio, que jamás publicó, Gaudí fue perfeccionando estas formas de la geometría reglada y consiguió, por medio de intersecciones de polígonos estrellados, inéditas y magníficas columnas que se componen inclinadas y con ramificaciones, como los árboles, que son las columnas que la Naturaleza ha creado desde tiempo inmemorial con insuperables resultados.<sup>17</sup>

#### NOTAS

1. Ladrillo *común* (en catalán, *maó*), 12x29x5,5 cm.; ladrillo *mahón* (*maó de quart*), 12x29x4,5 cm.; picholín (*picholí*) 10x29x5,5 cm.; rasilla (*rajola*), 13x26x2 cm. o 14x28x1,5 cm.; ladrillo hueco mahón (*maó foradat*), 12x29x5,5 cm. con orificios cuadrados en el grueso y que no existía en tiempo de Gaudí; ladrillo *mediado* (*maó mitjà*), 12x29x3 cm.; ladrillo *macizo grueso* (*totxo*), 14x29x8 cm.; ladrillo *doble hueco* (*totxo foradat*), 14x29x8 cm. con doble fila de orificios cuadrados en el grueso, y que tampoco existía en época de Gaudí.
2. El cemento rápido es una mezcla de un 30 % de arcilla y un 70 % de caliza, cocido a baja temperatura, inferior a la vitrificación de los componentes. Después de la cocción, se deja airear y se muele muy fino. Actualmente, se suministra en sacos herméticos de papel pero en tiempos de Gaudí iba en barriles de madera con fondo de papel. La humedad lo daña lentamente. Cuando se opera con él debe mezclarse con el agua en pequeñas cantidades y aplicarlo inmediatamente en obra si no pierde sus propiedades.
3. El cemento portland se usaba en España importado de Francia. A partir de 1898, el ingeniero Ignacio Ribera y el arquitecto Claudio Durán empezaron a utilizar el hormigón armado.
4. Por ejemplo, en el monasterio de Pedralbes las bóvedas de la iglesia son de piedra y tienen encima una simple azotea de ladrillo porque ambos materiales están tomados con mortero de cal. La sala capitular del siglo XV, en cambio, tiene encima de la bóveda, que es tabicada y recibida con yeso, con una cubierta de pabellón de tejas para evitar que el agua llovediza alcance el yeso de la bóveda.
5. La puzolana es una especie de piedra pómez muy ligera que se encuentra en el subsuelo en forma natural.
6. Las barracas de viña se hacen con piedras más o menos planas formando cúpulas, sin ninguna clase de mortero. El interior es muy fresco en verano cuando se ha de trabajar el campo. Al respecto véase: Bassegoda Nonell, J.: «Las barracas de viña». *San Jorge*, nº 98-99, Barcelona, diciembre 1976, pp. 65-72 y Rubió Bellver, J.: *Les construccions de pedra en sec*. Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña, 1914, pp. 35-105. La forma cupular de la barraca es la llamada falsa cúpula en la que cada hilada de piedras vuela sobre la inmediata inferior contrapesando los esfuerzos. La resultante mecánica es sensiblemente una catenaria.
7. El tabique *de panderete* (en catalán *envà de maó de quart*) tiene 4,5 cm. de grueso y se recibe con yeso. El tablero tabicado (*solera*) puede tener dos o tres gruesos cuando es sobre el forjado de un piso. Se llama sencillo (*senzill*) al primero y doblados a los demás (*dobrats*). Se recibe siempre con mortero de cal o cemento.
8. Las bóvedas tabicadas son comunes en Cataluña desde la Baja Edad Media, La más antigua documentada es la de la capilla Real de la catedral de Barcelona construida por orden de Martín I en 1407, a la que siguen las del claustro del Hospital de la Santa Cruz y la Sala Capitular de Pedralbes. Pueden adoptar cualquier forma, de cañón seguido, por arista, de rincón de claustro, vaídas, lunetos, etc. Se acostumbra hacerlas sin cimbra solamente con sencillas cerchas y reglas de madera y los albañiles catalanes demuestran una gran habilidad en su fábrica. Fueron comunes en toda España desde el Renacimiento pero en el siglo XIX es en Cataluña donde más se empleaban. Hay una extensa bibliografía sobre este tema que puede consultarse en Bassegoda Nonell, J.: *La cerámica popular de la arquitectura gótica*, Barcelona, 1977.1983, pp. 124-125.
9. Cuando se hacen escaleras de caracol de paso muy estrecho (50 cm.), como en el caso de las torres de la muralla de Poblet cuyos forjados fueron rehechos a principios de este siglo, no hay espacio para usar rasillas enteras y entonces se cortan en pedazos (*peces*) de pequeño tamaño (6x5 cm.) que confieren a la bóveda calidad de mosaico. Con el sistema de las bóvedas tabicadas se puede hacer arquitectura pero también escultura. Gaudí usó del sistema a profusión como luego se explicará.
10. Gaudí convirtió estos tabiquillos conejeros en grandes arcos catenáticos y lo que eran solo cámaras de aire en

- los edificios de Gaudí se convierten en amplios desvanes.
11. Respecto a este tipo de muros y bóvedas, cuyas resistencias parecen ser muy superiores a las que normalmente se les asigna es interesante recordar lo que escribió Félix Cardellach en un luminoso artículo titulado «La mecánica de Gaudí», en *La Veu de Catalunya*, de Barcelona, el 20 de enero de 1906: «A los conocedores de las actuales teorías de resistencia de materiales no se lea escapa la nueva orientación mecánica que llevan impresas las construcciones de Gaudí, pero quien como yo ha tenido la fortuna de hablar de tales cosas con su autor, ha vislumbrado muchísimas, grandes, atrevidas y poderosas innovaciones que sorprenden todavía más por su lógica constructiva. Por lo general los sistemas empleados hoy por Gaudí derivan de la hipotética teoría de la fibrosidad de los cuerpos flexibles... los perfiles caprichosos empleados en bóvedas no son otra cosa que formas racionales de equilibrio». La autoridad de Félix Cardellach, arquitecto, ingeniero y profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, avala las consideraciones sobre la manera de construir de Gaudí.
  12. La carrera de Maestros de Obras tenía una duración de tres años y el título sólo facultaba para realizar obras particulares. La Escuela de Maestros de Obras de Barcelona se estableció en 1850 y se extinguió en 1871. Al respecto, véase: Bassegoda Nonell, J.: *Los Maestros de Obras de Barcelona*, Barcelona, 1972-73.
  13. Macario Planella Roura (1819-1899) fue Maestro de Obras con título de 1863. Fue Presidente del Centro de Maestros de Obras de Barcelona y actuó como contratista en la construcción de la cripta de la Sagrada Familia cuando la dirigía F. de P. del Villar. En los Apuntes de Planella la descripción de las bóvedas tabicadas está en el Capítulo 43 (pp.197-200) y la construcción de este tipo de bóvedas en el Cap. 44 (pp. 200-206).
  14. Toda vez que la técnica de bóvedas y tableros tabicados no ha variado salvo en el uso del cemento portland en vez de la cal o el cemento lento, los apuntes de Bassegoda tienen el mismo interés que los de Planella o de Albarada. Son igualmente inéditos.
  15. El escultor Juan Rebull Torroja (1899-1974), natural de Reus, decía de su paisano Gaudí que era un *bricoleur*. Esta afirmación, que intentaba ser despectiva, en realidad era un elogio para Gaudí pues efectivamente sabía dirigir los trabajos manuales tanto como las grandes obras arquitectónicas.
  16. Un estudio de la catenaria y de su utilización en la arquitectura puede encontrarse en: Bassegoda Nonell, J.: «El arco de festón, Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 3ª época, nº 847, Vol. XLVI, nº 20, Barcelona, 1986 y también en Rainer Grafefe: «Zur Formgebung von Bögen und Gewölben», *Architectura, Zeitschrift für Geschichte der Baukunst*, München, 1986, nº1 / 86.
  17. La sencillez de las formas de la geometría reglada está en razón inversa a la complicación de los nombres con que se designan. La forma más sencilla del paraboloides hiperbólico, el que usó Gaudí, se arregla disponiendo dos rectas no paralelas en el espacio, llamadas directrices, sobre las que se deslizan obras que son las generatrices. El conjunto de las generatrices determina el paraboloides hiperbólico. Gaudí halló incluso en esta forma un símbolo religioso de la Santísima Trinidad ya que las directrices serían el Padre y el Hijo y la generatriz el Espíritu Santo. Antes de Gaudí no habían sido empleadas estas formas en la construcción y después de él solamente Candela, Nervi, Otto, Torroja y algún otro han intentado aprovechar esta innovación revolucionaria que al mismo tiempo tiene un origen natural y es muy sencilla de comprender y formar. Es la llamada difícil sencillez.