

El sistema de cubiertas Madurell y su aplicación en los talleres del periódico ABC de Madrid

Esther Redondo Martínez

Los hermanos Madurell (Antonio, Felipe y Celestino) fueron unos conocidos constructores de Barcelona en los últimos años del siglo XIX y principios del XX. Llevaron a cabo numerosas obras, de distintos tipos y sistemas constructivos. Entre ellas, destaca su sistema de cubiertas Madurell, compuesto por arcos de ladrillo tabicados y atirantados y bóvedas tabicadas entre ellos. Patentaron este sistema en 1901, bajo el título «Un procedimiento para fabricar jácenas mixtas de hierro y ladrillo».

Se estudia el sistema constructivo «Cubiertas Madurell» y su funcionamiento estructural a partir de todos los documentos conservados, y más específicamente su aplicación a los talleres del periódico ABC. Este edificio se construye en unos pocos meses durante 1904, y cubre una luz de 25 m para los arcos y 6 m en las bóvedas. Por su tamaño y la rapidez con que fue construido, despertó bastante expectación, siendo publicado en 3 números del propio periódico y en revistas especializadas de la época como *La Construcción Moderna*.

EL CONTEXTO: LA BÓVEDA TABICADA EN LA ARQUITECTURA INDUSTRIAL ESPAÑOLA A FINALES DEL S. XIX Y PRINCIPIOS DEL XX

La bóveda tabicada es un sistema constructivo muy habitual en toda España donde se utiliza, al menos, desde el siglo XIV. Frente a la cantería, presenta evidentes ventajas: es mucho más fácil y rápido de

construir, más barato; además es un sistema muy ligero, lo que reduce los empujes y permite adelgazar los muros que soportan el empuje de la bóveda.

Desde el siglo XIV hasta, aproximadamente, 1850, la manera de construir bóvedas tabicadas se mantiene con muy pocos cambios: se emplean sobre todo en iglesias de tamaño medio; las formas son «tradicionales»: bóvedas de cañón, medias naranjas, bóvedas baídas; los materiales empleados son ladrillos de pequeño tamaño y yeso. El tratado *Arte y Uso de Arquitectura*, de Fray Lorenzo de San Nicolás (1639) sigue siendo el documento más completo para ilustrar esta forma de construir.

Pero a lo largo del siglo XIX experimentan una evolución muy rápida, transformándose en un sistema constructivo distinto del inicial. Hay muchos factores que explican este cambio; uno de los más relevantes es su uso en los nuevos edificios requeridos para la industria, que se desarrolla en España desde 1830. La arquitectura industrial busca unos objetivos muy concretos: espacios grandes, diáfanos y bien iluminados con un mínimo coste. La construcción tabicada es un sistema que emplea materiales baratos y además es rápido de ejecutar, por lo que resulta idóneo para estos grandes edificios. Se produce una simbiosis entre el tipo de edificio y el sistema constructivo: las bóvedas y arcos tabicados permiten la construcción rápida y barata de los edificios industriales; a su vez, los retos que plantean estos edificios hacen evolucionar muy rápido el sistema de construcción tabicado.

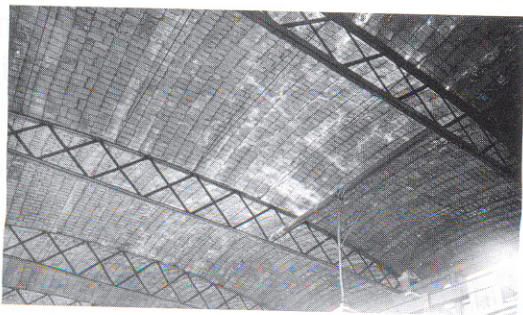


Figura 1
Nave de Calderería de la empresa Can Torras (Martorell 1910, 128)

El modelo que llega a España, en concreto a Cataluña, es la fábrica de pisos inglesa. Las primeras estructuras son de madera, pero los incendios eran frecuentes, por lo que pronto se desarrolla un modelo con vigas y pilares metálicos (primero de fundición y luego de hierro forjado) y forjados abovedados de ladrillo. Nada más llegar a Cataluña, se produce un cambio en el modelo inglés: las bóvedas que forman los forjados, que son de rosca de ladrillo en los modelos ingleses, pasan a ser tabicadas en las fábricas catalanas, salvando luces de 3-3,5 m.

Las fábricas de pisos pronto quedan obsoletas por los cambios en la producción industrial, que requieren espacios más diáfanos. En los últimos años del siglo XIX se impone un nuevo modelo extensivo, de una sola planta: la fábrica-nave. Las bóvedas tabicadas también se adaptan a este tipo de edificio, incrementando su tamaño.

En algunos casos se emplean en el segundo orden de estructura, combinadas con hierro. Así son las naves que construye Juan Torras,¹ para su empresa de construcciones metálicas Can Torras: la nave de Calderería (ver figura 1) tiene bóvedas tabicadas de 5,65 m de luz y 0,50 m de flecha, apoyadas sobre cerchas de 14 m las naves de Herrería son aún mayores: bóvedas de 6 metros de luz y 0,55 m de flecha, apoyadas en cerchas de 19.

Otras fábricas de este tipo extensivo emplean bóvedas tabicadas para conformar el sistema estructural completo. El ejemplo más temprano es la conocida fábrica Batlló, construida por Rafael Guastavino en 1868: la sala de telares, enterrada bajo el patio central, es una retícula de pilares de fundición, separados

3,7 × 5,2 m, sobre los que apoyan arcos en dos direcciones y bóvedas tabicadas baídas sobre los arcos

La asociación entre el sistema tabicado y el hierro es muy relevante en la arquitectura industrial, ya que permite sustituir el pesado sistema de contrarresto murario por ligeros atirantamientos metálicos. Jerónimo Martorell escribe, en 1910, su conocido artículo: «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna». Así describe el tipo de edificio industrial que se está desarrollando en Cataluña:

En Cataluña aparece hoy una nueva estructura arquitectónica. Se funda, en equilibrar los empujes, por tirantes de hierro, cruzando el espacio, ó bien ocultos en el grueso de los muros (...); combinar la obra de ladrillo con el hierro, de modo que aquélla forme los muros y cubiertas, los elementos sujetos a compresión, empleando el hierro atirantado, para dominar los esfuerzos oblicuos que se desarrollen (...)

Los elementos que forman la nueva estructura, bóvedas de ladrillo tabicadas y tirantes de hierro, existían de antiguo y eran de uso corriente; ni uno ni otro han sido ahora descubiertos. Mas eran aplicados independientemente; la novedad que proclamamos, consiste en la combinación de los mismos (Martorell 1910, 119-20)

EL SISTEMA DE CUBIERTAS MADURELL HERMANOS

Los hermanos Madurell comenzaron trabajando en Barcelona. La primera noticia sobre ellos es el registro de su patente «Un procedimiento para fabricar jácenas mixtas de hierro y ladrillo», de 1901.

En diciembre de 1902 la patente se describe en la revista *Arquitectura y Construcción*, y ahí se recogen dos edificios en construcción. En *La Construcción Moderna* de octubre 1904, con la obra del ABC en marcha, se indica que se han construido ya cinco o seis edificios siguiendo el sistema de cubiertas Madurell. Así que parece que la expansión del sistema fue bastante rápida. Ya en Martorell se les describe como «verdaderos especialistas para tal género de edificios» (1910, 130).

Celestino, uno de los hermanos, se instala en Madrid después de construir la nave del ABC, donde fue contratista de importantes edificios, como el Casino de Madrid, el edificio del Banco Español del Río de la Plata o las naves de la empresa Gal.

La patente «Un procedimiento para fabricar jácenas mixtas de hierro y ladrillo»

Los hermanos Madurell presentan su sistema de cubiertas al registro de patentes de Ministerio de Industria, en Barcelona, el 20 de mayo de 1901. Consta de una memoria y planos de plantas, secciones y detalles, ver figuras 2, 3 y 4. Se les concede «patente de invención» por un periodo de 20 años.

La memoria comienza con referencia a la «simbiosis» entre bóvedas tabicadas y hierro ya citada:

La invención objeto de esta patente comprende una clase de jácenas en cuya construcción entran viguetas de hierro, ladrillo y cemento constituidas por la combinación de una vigueta de hierro recta o curva que hace el oficio de tirante, un tabique que descansa sobre toda la longitud

de la vigueta y un arco ó una solera puesta sobre el tabique, y apoyándose por cada extremo en un estribo formado por viguetas verticales que se apoyan contra una travesía horizontal empotrada en el alma de tirante (...)

Con los elementos indicados pueden formarse distintas combinaciones: (...) jácenas formadas por un arco y un tirante curvo; otras formadas por un arco y un tirante recto; otras formadas por una solera plana y un tirante curvo y otras formadas por una solera plana y tirante recto (Madurell 1901).

La patente también incorpora algunos detalles, especialmente los que se refieren a la unión del tirante (a'') con el arco (a), ver figura 4, a través de una pieza que denominan estribo, formada por unos pasadores verticales, a los que llaman apoyos (d) y una pieza horizontal, perpendicular al tirante, al que

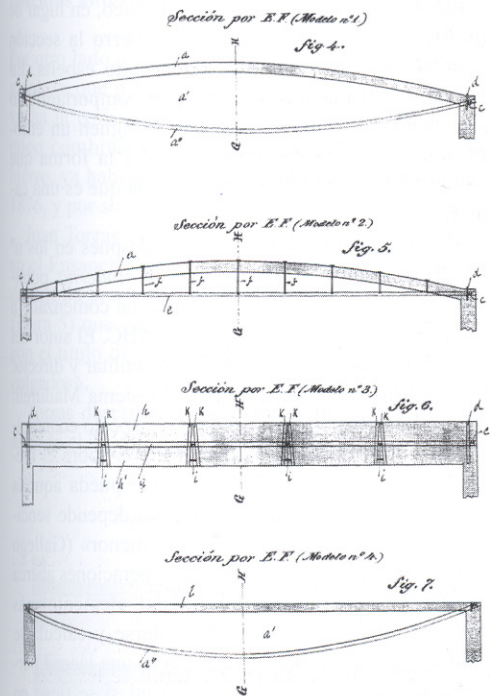


Figura 2
Distintas combinaciones posibles descritas en la patente de los Hermanos Madurell: modelo n°1, con arco y tirante curvo; modelo n°2, con arco curvo y tirante recto; modelo n°3, con solera plana y tirante plano; modelo n°4, con solera plana y tirante curvo (Madurell 1901)

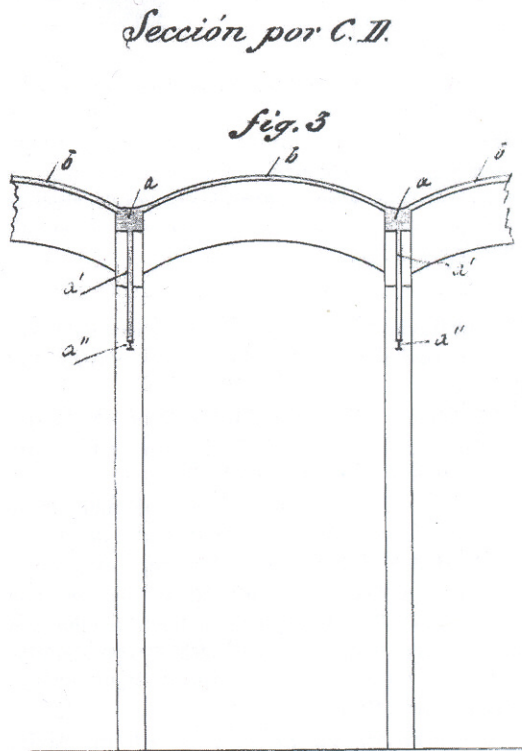


Figura 3
Sección perpendicular a las de la figura 2, mostrando las bóvedas tabicadas que forman el segundo orden de estructura apoyadas sobre los arcos (Madurell 1901)

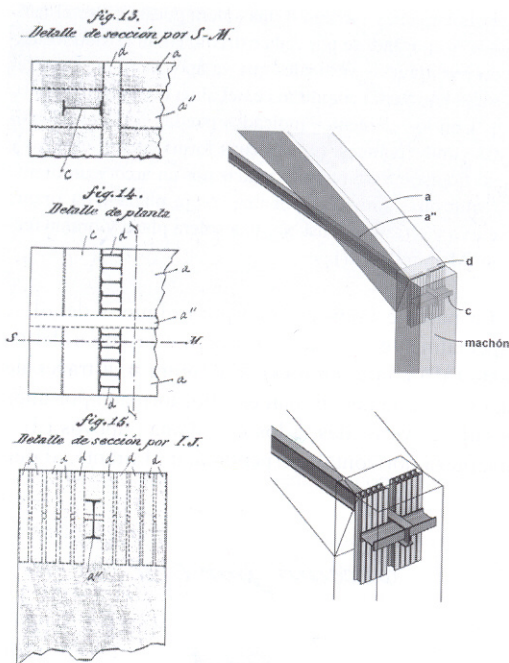


Figura 4
 Detalles de la unión arco-estribo. A la izquierda, vistas en planta y sección (Madurell 1901); a la derecha, dibujos 3D (José Agulló 2015)

llaman traviesas (c). Los pasadores verticales (d) ocupan todo el ancho del arco, mucho mayor que el del tirante.

La patente tuvo bastante repercusión en revistas especializadas. Aparece en 2 números de la revista *Arquitectura y Construcción*:

En el número 125 se recoge, en tono publicitario, los avances que supone la patente, haciendo énfasis en que pueden cubrirse espacios «por grandes que sean sus dimensiones, sin estribos en que apoyarse (...) de 40 ó 50 m de anchura, sin temor alguno, con elementos tan nimios como el ladrillo y las tirantillas de hierro» («Construcciones sistema Madurell hermanos» 1902, 375).

El artículo del número 137 es un informe escrito por 3 arquitectos (José Torres, Juan Feu y Manuel Vega, este último es además el director de la revista) y firmado por varios más, avalando el nuevo sistema constructivo. Hace énfasis en la unión arco-tirante, que se describe de manera distinta a la que figura en

la patente. Es interesante comprobar que los autores destacan la similitud del sistema con una jácena de hierro en lugar de con un sistema de arcos atirantado:

El conjunto, por tanto, del elemento constructivo de que se habla, ofrece evidente analogía de oficio y destino con la composición de una jácena de hierro.

(...) Por su aparente estructura, es evidente que ofrece también engañosa analogía con la formación de arcos, apoyados en estribos insuficientes que hayan debido ser atirantados para contrarrestar su fuerza expansiva en los extremos. (...) De suerte que el elemento de que se trata sólo ligeramente considerado puede ser tenido como semejante del arco atirantado; es una jácena, y, por tanto, en ella esas piezas componentes ejercen función completamente distinta que en las que en el arco desempeñan (Torres et al. 1903, II)

Se destaca también la ventaja que supone construir el cordón superior con material cerámico, en lugar de con hierro forjado, porque con el hierro la sección necesaria por resistencia es demasiado esbelta. En general, los comentarios acerca del comportamiento estructural del sistema constructivo siguen un enfoque resistente, sin dar importancia a la forma que debe tener el arco (aunque se explicita que es una catenaria).

Este artículo se examina un año después en los nº 19 y 20 de la revista *La Construcción Moderna*, publicados en octubre de 1904, cuando ya ha comenzado a construirse la gran nave del edificio ABC. El autor del artículo (Eduardo Gallego, ingeniero militar y director de la revista) es más crítico con el sistema Madurell: no le niega ventajas, pero sólo en el aspecto económico: «Esa preferencia de la mampostería sobre el hierro, en los casos que mecánicamente pueda aquella emplearse en condiciones adecuadas, depende sencillamente de que su coste es mucho menor» (Gallego 1904, 526). También hace unas consideraciones acerca del comportamiento estructural del elemento más acertadas, afirmando que debe tratarse y calcularse como un arco atirantado, ya que no es una jácena porque carece de alma triangulada. Aquí sí se tiene en cuenta los problemas de estabilidad que pueden plantearse al estar el arco superior formado por un material que sólo resiste compresiones:

Cuando estos arcos o piezas curvas no adoptan la forma parabólica, como le sucede al Madurell, ó no están uniformemente cargados, la curva de presiones puede salir-

de la pieza, y, en consecuencia, existir esfuerzos de flexión en parte de ella (...) no sabemos como se contrarrestarán esos esfuerzos de flexión, o como se evita que tales esfuerzos se produzcan (Gallego 1904, 527).

Pero la discusión es un poco retórica, ya que, se le llame jácena o arco atirantado, el sistema funciona. Que el arco tenga forma parabólica, catenaria o sea un arco de círculo tiene poca importancia, ya que las tres curvas son casi coincidentes en arcos tan rebajados como los que construyen los hermanos Madurell (Moya 1947, 23). Y además el espesor de estos arcos (los del edificio ABC de Madrid tiene 60 cm de grueso) hace posible alojar en su interior las líneas de empujes de cargas muy diferentes, como se verá más adelante.

Patentes anteriores: Torras y Guastavino

Por otro lado, es verdad que el sistema no es tan original, ya que patentes semejantes, en las que se aprovecha la resistencia a compresión del material cerámico combinado con la resistencia a tracción del hierro, ya habían sido registradas por Juan Torras, en 1876, y por su alumno Rafael Guastavino, en 1886.

Juan Torras construye en 1873 su propia vivienda en el Ensanche de Barcelona. Para esta construcción desarrolla una «viga mixta» de hierro y ladrillo (ver figura 5) que patentará unos años después, en 1876, con el título de «Un nuevo sistema de vigas y suelos colgados».

Torras describe así su patente en la memoria presentada el 23 de diciembre de 1876:

Vigas de 11'00 rebajadas á 0'70 de q' á q'.
1/20
Corte por A-B C.D.

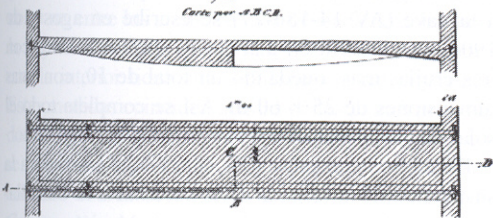


Figura 5
Viguetas utilizadas por Juan Torras en la construcción de su propia vivienda, en 1873, y patentadas en 1876 (Feliu Torras 2011)

El todo (...) resiste como un solo tablero formado de fábrica de albañilería, reforzada con nervios de lo mismo; en cuya parte inferior hay una llanta curva de hierro que se une en sus estremidades con el tablero (...). Así se tiene una forma aproximadamente de igual resistencia, resistiendo la fábrica de albañilería (...) a la compresión y el hierro a la tensión» (Feliú Torras 2011, 54-55).

La patente de Juan Torras está pensada para forjados de viviendas, por eso el tablero superior es horizontal y el tirante curvo. Pero el principio es el mismo que utilizarán los hermanos Madurell, de hecho es una de las variaciones que proponen.

Varias de las patentes que registra Rafael Guastavino en Estados Unidos recogen estructuras mixtas de cerámica y hierro. En concreto la número 336.048, «Construcción de edificios incombustibles» es un sistema de tablero cerámico atirantado muy similar (Redondo 2000, 898).

Obras de los Hermanos Madurell

El sistema de cubiertas Madurell se empleó en varios edificios industriales de Barcelona desde, al menos, 1902, aunque parece probable que se hubiera ensayado antes de patentarlo.

En el nº 125 de *Arquitectura y Construcción* (diciembre 1902), ya se hace referencia a dos edificios construidos con este tipo de cubierta: se indica que ya están ejecutados y que cubren luces de 14 y 20 m, respectivamente, ver figura 6.

Unos años después, en 1910, Jerónimo Martorell dedica buena parte de su artículo «Estructuras de ladrillo...» a las obras de los hermanos Madurell. El primer edificio que cita es la fábrica de vidrio Costa Florit. Por las dimensiones que indica (luz del arco 20 m) podría ser uno de los edificios que examinan en la revista *Arquitectura y Construcción*. Los arcos y bóvedas tienen perfil circular rebajado, no catenario como se indica en la patente y en los artículos de revista estudiados más arriba.

El siguiente es una fábrica de contadores Chamón y Triana. El arquitecto es Francisco Villar, el mismo que firma los talleres ABC. Este edificio es diferente porque no es una nave única: son 3 series de bóvedas apoyadas en pilares intermedios, con luces de 16 m para los arcos y 8 para las bóvedas. La sala tiene una dimensión total de 64 × 48 m, ver figura 7.

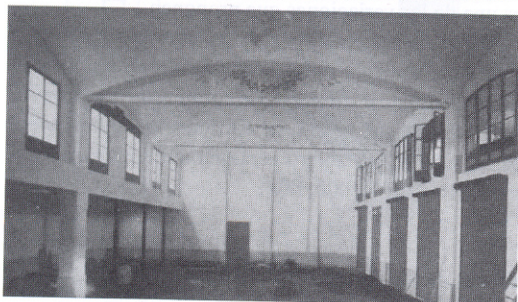
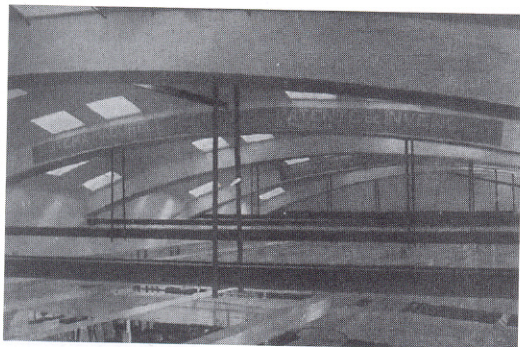


Figura 6
Dos edificios construidos con el sistema de cubiertas Madurell («Construcciones sistema Madurell hermanos» 1902, 375)

Aún se citan 3 obras más, que merecen mención especial «entre los diversos edificios industriales construidos por los señores Madurell Hermanos» (Martorell 1910, 132):



Figura 7
Vista interior de la fábrica de contadores Chamón y Triana (Folguera, ca. 1915)

- Talleres en la calle Luchana (Pueblo Nuevo, Barcelona), con arcos de 16 m de luz, sección 60×70 cm y bóvedas entre ellos de luz 8 m y 3 gruesos de rasilla.
- Talleres en la calle de la Independencia (Pueblo Nuevo, Barcelona), con arcos de 23 m de luz, sección 75×85 cm y bóvedas entre ellos de luz 6 m y 3 gruesos de rasilla.
- Talleres del periódico ABC (calle Serrano, Madrid), arcos de 25,4 m de luz y sección 80×90 cm, bóvedas tabicadas entre ellos de luz 6 m y 3 gruesos de rasilla.

LA APLICACIÓN DEL SISTEMA A LOS TALLERES DEL PERIÓDICO ABC

Historia constructiva del edificio

El edificio del periódico ABC se construyó en varias fases. En el Archivo de la Villa de Madrid se conservan cuatro expedientes de obras, desde 1896 hasta 1926. El edificio completo ocupa una manzana rectangular entre la calle Serrano y el Paseo de la Castellana, de dimensiones $25,50 \times 100$ m, ver figura 8.

El primer expediente, de julio de 1896 (AV 11-484-5) se refiere a la construcción de la parte del edificio que linda con la calle Serrano. Es un edificio neomudejar, firmado por José López Sallabery, conocido como «Edificio Blanco y Negro».

De 1904 hay dos expedientes de obra. El primero (AV 16-215-9), detalla la ampliación hacia el paseo de la Castellana, que se construye con el sistema Madurell: arcos cubriendo los 25,5 metros de ancho y 7 crujías de bóvedas tabicadas de 6 m de luz. Está firmado por el arquitecto Francisco de Villar y Carmoña en mayo de 1904. El segundo expediente referido a la nave (AV 14-186-17) se escribe en agosto de 1904, con la obra en marcha, y amplía la nave con tres crujías más, quedando un total de 10, con unas dimensiones de 25×60 m. Así se completa todo el solar, llegando hasta el paseo de la Castellana

El último expediente (AV 44-74-12) se refiere a la sustitución de la fachada de la nave hacia la Castellana, que sólo tenía una planta sobre rasante, por un edificio mucho más elevado (4 plantas+torreón sobre rasante) y representativo. El expediente es de 1926, está firmado por el arquitecto Teodoro Anasagasti y ya no emplea el sistema constructivo que nos ocupa.

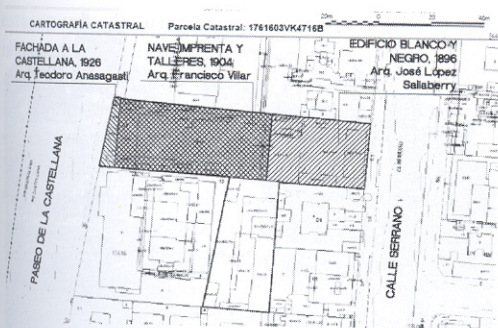


Figura 8
Fases constructivas del conjunto del edificio para el periódico ABC, dibujo de la autora sobre un plano actual de la Oficina del Catastro

La construcción de la gran nave de imprenta

El proyecto de la gran nave, que debía cubrir una anchura de 25 m sin pilares intermedios, con una altura de 13 m debió ser un reto importante para 1904.

En los artículos de la revista *La Construcción Moderna*, se indica que se hicieron estudios comparativos de cubierta con armadura de hierro y con hormigón armado. El proyecto con hormigón armado se encargó a Ribera, que desistió porque «no podía en tal aplicación competir económicamente el hormigón armado con el hierro» (Gallego 1904, 502). Finalmente «la economía que representa la aplicación de las cubiertas Madurell es tan notable, que la empresa de la popular revista ABC no vaciló previa consulta con el Arquitecto Sr. Sallaberry en contratar con la casa referida» (Gallego 1904, 502-503).

El tamaño de los elementos que conforman la cubierta se describe en Martorell (1910): arcos de 80×95 cm para cubrir una luz de 25,40 m; separación entre los arcos 6 m; entre los arcos, bóveda tabicada de doble hoja: la hoja exterior con tres gruesos de rasilla y espesor 9 cm; la interior tiene una sola hoja y 3 cm de espesor. Estas medidas coinciden con las de los planos presentados al Ayuntamiento de Madrid en mayo de 1904, que se conservan en el Archivo de la Villa (ver figura 9), y no tanto con la descripción que hace Gallego en *La Construcción Moderna*: luz de los arcos 24 m con una flecha de 2,60; distancia entre arcos 5 m, arco de 86×60 cm. También se especifica que entre las dos hojas de la bóveda hay una cámara de aire de 20 cm; que los tres gruesos de la hoja exterior se toman con cemento Port-

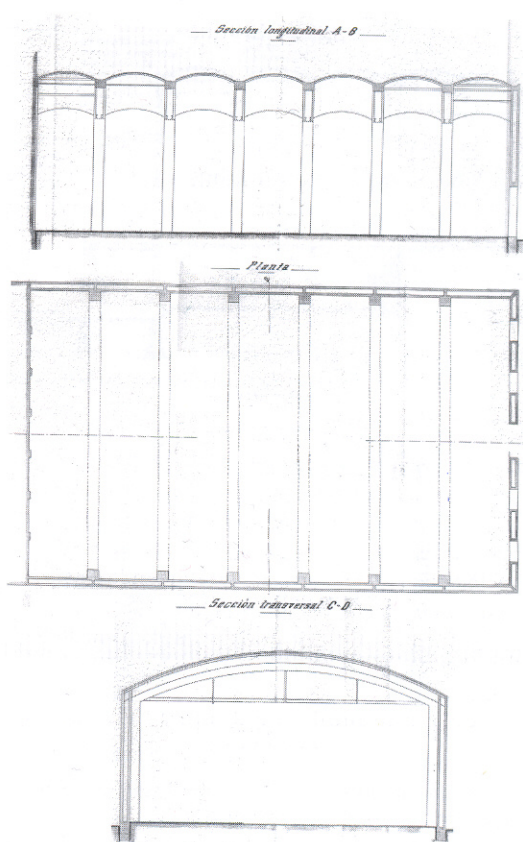


Figura 9
Nave inicial proyectada para el periódico ABC. Planta, sección longitudinal y transversal (AV 16-215-9. Mayo 1904)

land y la interior «que no tiene misión alguna resistente» (Gallego 1904, 504) se recibe con yeso. Y que la última bóveda que se construye es una «losa continua que cubre la totalidad de las vaídas y trasdós de las jácenas o arcos» (Gallego 1904, 504). Esto parece indicar que la cubierta estaría formada por la propia bóveda, que es bastante habitual en los edificios de la arquitectura industrial catalana que se construyen con bóvedas tabicadas. Así queda rematada, por ejemplo, la fábrica de vidrio Costa Florit (ver Martorell 1910, 130).

En las secciones de la figura 9 se ven también los atirantamientos de las bóvedas, que no se describen en Martorell (1910): tres tirantes en los vanos extremos y uno en los adyacentes. Los centrales quedan sin atirantar.

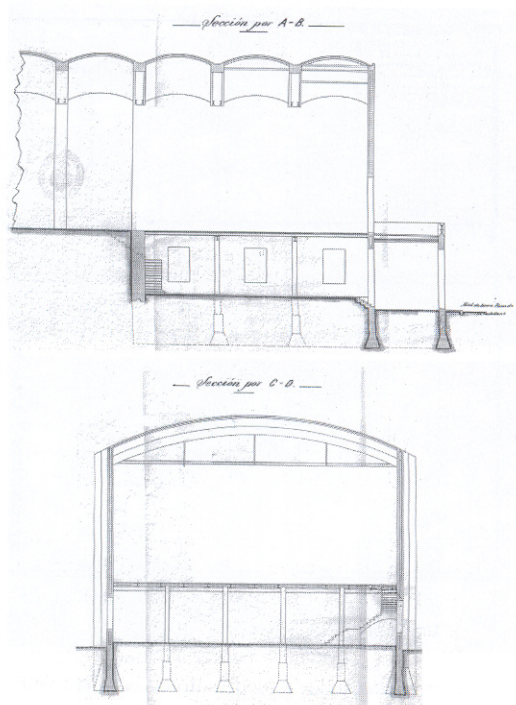


Figura 10
Ampliación de la nave inicial. Sección longitudinal y transversal (AV 14-186-17. Agosto 1904)

El arquitecto describe así el sistema constructivo empleado:

Por las dobles paredes de cierre y la doble bóveda tabicada de la cubierta (...) quedan resueltos los problemas generales propuestos y el especial de cubrir aquel gran espacio sin apoyos, lo resuelve la adopción del Sistema de cubiertas patentado de los Sres. Madurell Hermanos en el que por medio de unas bien halladas y entendidas armaduras mixtas formadas por arcos en los que están hábil y racionalmente combinados los materiales de tierra cocida y los varios cementos de unión, atrantados aquellos por piezas férreas que se unen a los arcos por medio de científica y técnica trabazón (AV 16-215-9)

El expediente AV 14-186-17 es una ampliación de la nave, con tres crujías más, empleando el mismo sistema de cubiertas Madurell. Como el paseo de la Castellana queda más bajo que la planta de nave que se construye, tiene una planta semienterrada que al-

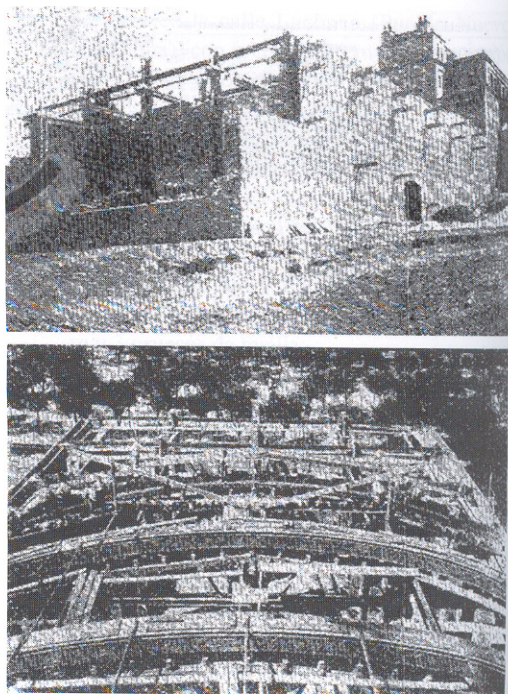


Figura 11
Imágenes de la construcción de la nave que aparecen en el periódico ABC del 8 de septiembre de 1904. Arriba, vista exterior desde el Paseo de la Castellana, con el edificio Blanco y Negro al fondo; Abajo, vista de la cubierta en construcción

canza este nivel. El forjado de la planta semienterrada es más sencillo, con pilares intermedios, un entramado de vigas y viguetas metálicas y forjados de revoltón cerámico, ver figura 10.

El desarrollo de las obras de la nave aparece en tres números del propio periódico ABC: el 26 de mayo de 1904 se recoge el inicio de las obras:

Como habrán visto muchos de nuestros lectores de Madrid, han comenzado ya en el solar de la Castellana y a continuación de la casa de Blanco y Negro, las obras de una gran galería para instalar las maquinarias y los talleres de ABC diario. Los acreditados constructores señores Madurell Hermanos de Barcelona, son los encargados de la edificación, en la que emplearán un procedimiento del cual tienen privilegio en España (ABC 26/05/1904, 8)

El 8 de septiembre de 1904 hay otra referencia al avance de la obra, en la que se indica que la cubierta

está apunto de terminarse. Aparecen también dos imágenes de la construcción, ver figura 11.

La última referencia a estas obras en los números del periódico ABC es del 8 de diciembre de 1904. La noticia relata como una gran nevada ha caído sobre Madrid y sobre la cubierta del los talleres, que ya se ha terminado por estas fechas:

Sobre la cubierta de fábrica del edificio que para ABC se está terminando en la Castellana, la nieve formó una capa que en algunos sitios llegó a alcanzar más de un metro de espesor. La cubierta tiene en estos momentos 35 metros de largo por 25 de ancha. Los cálculos hechos arrojan un total de unas 150 toneladas. Es la mejor prueba de resistencia de la cubierta, si se tiene en cuenta que ésta, en toda su extensión de 25 metros de luz no lleva apoyo alguno intermedio, lo que prueba la solidez de esta clase de construcciones,

Nuestra enhorabuena a los Sres. Madurell hermanos, contratistas constructores del edificio que tan brillantemente ha resistido la improvisada prueba de 150.000 kg de nieve (ABC 08/12/1904, 8)

Análisis de la estabilidad de la nave

En realidad no es extraño que la cubierta resistiera esa gran carga de nieve. El sistema Madurell, como cualquier otra cubierta de arcos y bóvedas, no suelen tener problemas de resistencia. Un arco de fábrica es seguro cuando está trabajando a compresión, y para comprobar esto es suficiente con dibujar las líneas de empuje de las diferentes cargas posibles en el interior del arco. Es un problema de forma, no de resistencia de la sección (Heyman, 1982)

En la figura 13 se dibuja un arco de la cubierta de los talleres ABC, siguiendo las medidas que se indican en el artículo de *La Construcción Moderna* (Gallero 1904, 504) ya que el espesor del arco (60 cm) es el menor. Sobre él se dibuja una de las posibles líneas de empuje de las siguientes cargas:

- El peso propio de la cubierta (en línea de puntos): considerando una separación entre arcos de 5 m, y un espesor de ladrillo en las bóvedas de 12 cm (9 cm de la hoja exterior y 3 de la interior) y el espesor del arco de 60 cm, la carga lineal sobre cada arco, debida al peso propio, son 19 kN/ml. La línea de empujes de esta carga sería una catenaria. Para un arco tan tendido

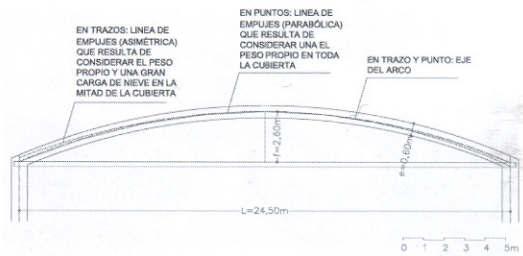


Figura 12

Líneas de empuje de distintas combinaciones de carga dibujadas en el interior del arco. Dibujo de la autora

se puede sustituir con un error mínimo por una parábola, que es la curva que se dibuja en la figura 13 en línea de puntos. El arco de 60 cm es muy grueso y perfectamente capaz de contener en su interior esta línea de empujes parabólica, que también es muy similar a un arco de círculo tan rebajado.²

- El peso propio de la cubierta y una carga asimétrica de nieve, situada sólo en la mitad de la cubierta, que se dibuja en línea de trazos en el arco de la figura 13.³ Sobre el valor de la carga de nieve posible, se ha tomado un valor actual para la ciudad de Madrid (0,6 kN/m²) porque los datos que se indican en el periódico no pueden ser reales.⁴ Esto implica una carga sobre la mitad «nevada» del arco de 22 kN/ml; y los ya citados 19 kN/ml sobre la otra mitad. Como se ve, el incremento de carga es pequeño. La línea de empujes varía muy poco y también cabe holgadamente en el interior del arco.

En cuanto a los valores de los esfuerzos en el arco y los empujes que debe resistir el tirante: el empuje que causa la carga uniforme, obtenido con la fórmula de un arco parabólico ($E=q^2/8f$) es 550 kN. La línea de empujes que se ha dibujado para la carga asimétrica corresponde con un empuje de 600 kN. El arco tiene un ángulo en el arranque de 12°, así que el normal máximo en el arco es $600\text{kN}/\cos 12^\circ = 613\text{ kN}$. Para la sección de arco que se indica en *La Construcción Moderna*, 86 × 60 cm, la tensión máxima es 1,18 N/mm², un valor muy por debajo de la resistencia de una fábrica tabicada.⁵ El tirante, formado por 2 IPN240, está muy sobredimensionado.

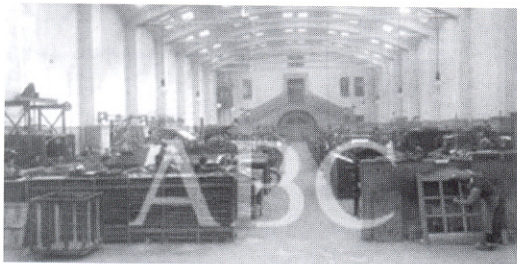


Figura 13 Interior de la nave, terminada y con la maquinaria colocada, obtenida poco después de su terminación (ca. 1905). Archivo digital ABC (<http://abcfoto.abc.es>)

La vida de los talleres ABC

La figura 13 es una imagen interior de los talleres, terminados y con la maquinaria instalada, obtenida hacia 1905.

La nave de máquinas del ABC se mantuvo en pie hasta alrededor de 1990. Ese año se derriba para albergar el actual centro comercial ABC Serrano, sobre un proyecto del arquitecto Mariano Bayón, que respeta las fachadas hacia la calle Serrano (edificio Blanco y Negro, 1896) y hacia la Castellana (1926), pero no la nave industrial interior. La reconstrucción es cuidadosa con la forma original, que vuelven a ser arcos y bóvedas vaídas sobre ellos, ahora de hormigón armado (ver figura 14), pero no con los materiales. Las bóvedas tabicadas de ladrillo siempre han

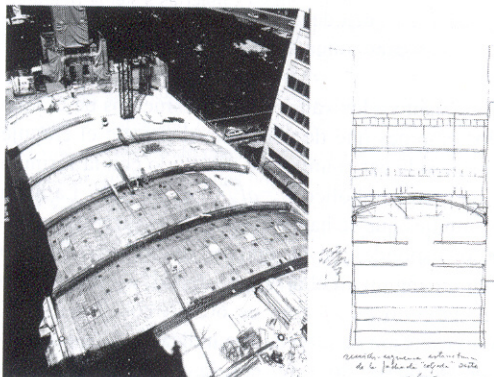


Figura 14 Vista de la construcción y croquis del centro comercial ABC (Bayón 1999, 21)

sido un sistema constructivo humilde, eficaz pero poco aparente, y en la memoria del nuevo proyecto vuelve a aparecer su fama de «falsas bóvedas», como ya las califica el padre Tosca en 1727.⁶ Así se describen en la memoria del proyecto:

Esta sala de máquinas, demolida por nosotros en su integridad en razón a su amenazante cobertura de falsa bóveda prolijamente tensada y construida con rosca de ladrillo que se desprendían sin remedio (...)

Retomando las formas de la antigua falsa bóveda de ladrillo armada se ha construido una bóveda de toda esa dimensión construida en hormigón in situ (..) y con arcos tensados sobre los que descansan una serie igual de bóvedas de doble curvatura, horadadas para permitir la entrada de luz (Bayón 1999, 20)

NOTAS

1. Juan Torrás y Guardiola se tituló como arquitecto en 1854. En 1855 comienza a dar clases de construcción en la escuela de Maestros de Obras, donde será profesor de Rafael Guastavino y, desde 1870 en la recién creada Escuela de Arquitectura de Barcelona. Aquí se encarga de la asignatura Mecánica Aplicada, lo que le interesa en el uso del hierro en la arquitectura. En 1877 formará su propia empresa de construcciones metálicas: Can Torras del Ferros, que basa su éxito en los cálculos mecánicos ajustados que Juan Torras era capaz de realizar y que abarataban el coste de la estructura.
2. Cualquier arco de círculo muy rebajado, incluso con una proporción mucho más esbelta de la del arco Madurell, es capaz de resistir sin problemas una carga uniforme, que da lugar a una línea de empujes parabólica. Por esta razón pueden construirse esbeltísimas bóvedas tabicadas con esta forma (Redondo 2013). Otra cosa es como se resisten los elevados empujes que un arco tan plano provoca sobre los apoyos.
3. El dibujo de línea de empujes de una carga de nieve sobre toda la cubierta, sumada al peso propio, como se explica en el artículo del periódico ABC, no tiene interés, ya que su forma es la misma que la del peso propio sólo.
4. El artículo de ABC del 8 de diciembre de 1904 indica que el espesor caído ha sido superior a 1 m. Y que el peso total sobre la cubierta (de 25×35 m) han sido unas 150 toneladas. Esto corresponde a una carga superficial de $1,71 \text{ kN/m}^2$. La nieve pesa entre $0,4$ y $0,6 \text{ kN/m}^2$, luego ese valor se corresponde con, al menos, 3 m de nieve sobre la cubierta. Ante la irrealidad del cálculo, se ha considerado el dato asignado para la nieve en la ciudad de Madrid según la normativa actual ($0,6 \text{ kN/m}^2$)

5. Es difícil ajustar datos acerca de la tensión de rotura de una fábrica tabicada, al estar formada por dos materiales distintos: ladrillos y mortero de cemento, cal o yeso. Distintos autores ensayan probetas de fábrica tabicada en los últimos años del s. XIX y en el s. XX: Guastavino, en 1893, obtiene una tensión media de rotura de 14,21 N/mm² (Guastavino 1893, 59). Bergós, en 1965, rompe probetas cúbicas a una media más elevada, de 21,5 N/mm² (Bergós 1965, 29). En ambos casos el aglomerante es cemento Portland.
6. «Puedese fabricar el Arco de Albañilería o de piedra siendo de Albañilería o es tabicado, que solo sirve para falseado y apariencia» (Tosca 1727, 96)
- Folguera, F. *La volta de mahó de plà*. Manuscrito inédito (ca. 1915). Barcelona.
- Gallego, E. 1904. «El nuevo edificio del 'ABC' y las cubiertas sistema Madurell». (1ª parte). *La construcción moderna*, 19, 15 octubre 1904: 501-506. (2ª parte). *La construcción moderna*, nº 20, 30 octubre 1904: 525-527
- Graus R., 2012. *Modernització, tècnica i arquitectura a Catalunya 1903-1929*. Tesis doctoral. Departamento de Composición Arquitectónica. ETSAB. UPC
- Guastavino, R. 1893. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction, applied especially to the timber vault*. Boston: Ticknor and Company.
- Heyman, J. 1982. *The Masonry Arch*. Chichester: Ellis Horwood.
- Madurell, C., F. y A. 1901. *Un procedimiento para fabricar jacentas mixtas de hierro y ladrillo*. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, exp. 27839.
- Martorell, J. 1910. «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna». *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*: pp. 119-146
- Moya Blanco, L. 1947. *Bóvedas Tabicadas*. Madrid: Ministerio de la Gobernación. Dirección General de Arquitectura
- Redondo Martínez, E. 2000. «Las patentes de Guastavino&Co en EEUU. 1885-1939». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla, 26-28 de octubre de 2000*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, SEHC, Universidad de Sevilla, CE-HOPU
- Redondo Martínez, E. 2013. *La bóveda tabicada en España en el siglo XIX*. Tesis doctoral. Departamento de Estructuras de la Edificación. ETSAM. UPM
- San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1639. *Arte y uso de arquitectura. Primera parte*. Madrid: s.i. Fasc. Madrid: Albatros Ediciones, 1989.
- Torres Argullol, J. et al. 1903. «Cubiertas sistema Madurell hermanos. Jacentas mixtas». *Arquitectura y Construcción*, suplemento al nº 137, diciembre 1903: I-IV
- Tosca, Tomás Vicente. 1727. *Tratado de la Montea y Cortes de Cantería*. Madrid: Imprenta de Antonio Marín. Fasc. Valencia: Colección Biblioteca Valenciana, Librerías Paris-Valencia, 1992.

LISTA DE REFERENCIAS

1896. «Expediente para construir una casa en la calle Serrano, nº 43». Archivo Villa nº 11-484-5
1902. «Construcciones sistema Madurell hermanos». *Arquitectura y Construcción*, 125, diciembre 1902: 375-376.
- 1904a. «Expediente para construir una nave a espaldas del Edificio de Blanco y Negro, en el Paseo de la Castellana 14». Archivo Villa, 16-215-9
- 1904b. «Expediente sobre obras de ampliación en la casa del Blanco y Negro, con fachada al nº 8 de la Castellana». Archivo Villa, 14-186-17
- 1904c. ABC Diario. 26 Mayo 1904
- 1904d. ABC Diario. 8 Septiembre 1904
- 1904e. ABC Diario. 8 Diciembre 1904
1926. «Expediente para ampliar el edificio de Blanco y Negro y ABC por el lado del Paseo de la Castellana». Archivo Villa, 44-77-12
- Bayón, M. 1999. Mariano Bayón. Works. Serie Arquitecturas de Autor, 11. Pamplona: Ediciones T6.
- Bergós Massó, J. 1965 (s.a. en el original). *Tabicados huecos. Bases para las dimensiones de las bóvedas y cubiertas del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia*. Barcelona: Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares.
- Feliu Torras, A. 2011 (ed). *La Barcelona del ferro. A propòsit de Joan Torras Guardiola*. Barcelona.