

ORÍGENES Y DESARROLLO DE LAS ARMADURAS DE CUBIERTA LATINAS

MIGUEL CARLOS FERNÁNDEZ CABO. ARQUITECTO

Desde los tiempos más remotos conocidos hasta comienzos del s. XIX, la Historia de la Construcción se desarrolla en base a dos sistemas constructivos claramente diferenciados; las obras de fábrica y los entramados de madera o armaduras, con la lógica combinación de ambos sistemas. Esta división no pretende sintetizar todas las combinaciones de sistemas y materiales desarrollados a lo largo de la Historia, pero sí, al menos como claridad conceptual y herramienta de análisis, dar respuesta al conjunto de la inmensa mayoría de construcciones antiguas conocidas.

La idea predominante de masa desarrollada en los distintos sistemas de obras de fábrica, viene condicionada por las características físicas y mecánicas intrínsecas de sus materiales constituyentes, todos ellos recogidos del suelo y subsuelo.

En contraposición a estas estructuras de masa, el sistema de armaduras o entramados, se desarrolla creando estructuras de barras, en base a las condiciones impuestas por los materiales de origen vegetal -los árboles-. Estas condiciones por lo que a nuestro análisis se refiere, se pueden resumir en una sola: la linealidad. Es decir, de los árboles, una vez podadas las ramas salen los troncos, que debidamente descortezados serán los elementos constructivos que permitirán la formación de entramados.

La otra diferencia estructural que contrapone estos dos sistemas básicos de construcción, estriba en la diferente cohesión interna de los materiales, lo que conlleva su diferente comportamiento a tracción. Mientras las obras de fábrica, compuestas por materiales pétreos y terrosos de muy baja cohesión, incapaces de trabajar a tracción, se van a ver obligadas a desarrollar configuraciones estructurales que trabajen básicamente a compresión, las armaduras van a aprovechar la capacidad de aguantar tracciones y flexiones que tienen los materiales leñosos.

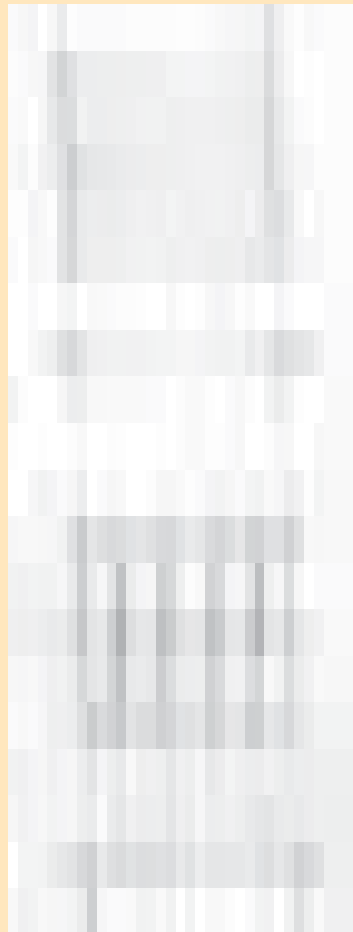
Las obras de fábrica, desarrollando estructuras de masa, pronto van empíricamente a descubrir las necesidades de incrementar la cohesión interior de sus fábricas, que intentan solventar por dos caminos distintos y complementarios. Por un lado tratan de mejorar la traba de sus piezas -sillares, mampuestos, ladrillos, etc.- a base de distintos diseños de aparejos, y por otra, gracias al gran descubrimiento que supuso la tecnología de las cales y puzolanas, ligar por

adherencia los materiales pétreos o arcillosos que componen las fábricas.

Los sistemas constructivos basados en troncos de madera, van a tener su talón de Aquiles en dos ámbitos íntimamente relacionados, los ensambles o uniones entre las barras que componen los entramados, por un lado, y las escuadrías y longitudes disponibles en las forestas de las que abastecerse por otro.

Los orígenes y desarrollo de los amazones de madera utilizados en construcción, están indisolublemente relacionados con los orígenes y desarrollo de los espacios y formas arquitectónicos. En tal sentido la madera ha sido utilizada en la composición de los tres grandes grupos constructivos; muros y pilares, forjados y cubiertas. Así, los muros y pilares están ligados a la condición de verticalidad y los forjados a la horizontalidad; ambas, condiciones ergonómicas del *homo erectus*. Por su parte las cubiertas se conforman buscando soluciones de planos inclinados y convexos a fin de evacuar las aguas o nieves.

Por lo que a la finalidad de este ensayo compete, obviaremos los entramados de muros por cuanto nos planteamos analizar como el intelecto humano ha



solucionado el problema de cubrir espacios utilizando los materiales más accesibles -en este caso la madera- en las distintas culturas, limitando nuestro campo de análisis principalmente al ámbito mediterráneo y europeo.

Pretendo en consecuencia analizar de que manera el tamaño de las luces a salvar ha condicionado el diseño de las distintas soluciones y ha colaborado en el desarrollo de las distintas arquitecturas. Para nuestro análisis partimos de unos rollizos descortezados sobre los que se puede hacer una mínima labra de escuadrado de sus caras para mejor asiento y conformación de los entramados.

No cabe duda de que una de las estructuras más elementales para salvar una luz entre dos apoyos es un simple tronco o una familia de troncos biapoyados (figura 1a).

Cuando esto lo realizamos en horizontal tenemos los puentes y forjados más simples. Si desnivelamos uno de los apoyos, obtenemos un plano inclinado que nos vendrá muy bien como soporte de un material de cubierta, con lo que tendremos una cubierta a un agua, al menos conceptualmente la de factura más elemental (figura 2a).

Para entender mejor la evolución de estas estructuras adinteladas, debemos introducir la premisa de economía de medios, por lo que enseguida entenderemos como los troncos más grandes son utilizados como vigas o jácenas y los más pequeños o ramas de gran porte son utilizados como jaldetas, formando un segundo orden de apoyo en la dirección octogonal del primero, y siguiendo la lógica de

salvar las luces pequeñas con las piezas de menor escuadría (figura 1b). Lógicamente este esquema puede volver a repetirse volviendo a colocar piezas más pequeñas en los espacios más pequeños que van quedando, creando un tercer orden y de la misma manera se podría crear un cuarto, quinto, y así indefinidamente hasta que la red de intersección sea lo suficientemente tupida para en el caso de cubierta, sea teja, pizarra, losa, techo, etc.

Por lo que respecta al discurso de este ensayo nos quedaremos con las estructuras más elementa-

les de primer, y segundo orden que han dado lugar a la rica variedad tipológica de los llamados forjados o alfárjes.

Cuando estos diseños de techos planos adintelados son utilizados en cubiertas formando planos inclinados son conocidos en España como colgadizos.

Retomando el hilo del desarrollo de los conceptos más elementales, cabe indicar que este tipo de estructuras no genera empujes horizontales, tanto si el sistema de vigas es horizontal

-alfarjes-, como si es inclinado -colgadizos-, siempre y cuando en este último caso se tenga el especial cuidado de realizar apoyos simples de base horizontal en los extremos de las vigas. Los colgadizos pueden llevar la primera familia de vigas en el sentido perpendicular a la pendiente -familia de *pares* o *alfardas* (figura 2a)-, o bien en el sentido horizontal -familia de *correas* o *tercias* (figura 2b)-.

Los espacios que podemos cubrir de esta manera ven limitadas las luces máximas a la longitud de troncos disponibles. En el sentido longitudinal a los muros o líneas de carga, podemos crecer indefinidamente. Para crecer en el otro sentido, debemos crear una nueva línea de carga, continuando el paño inclinado en la



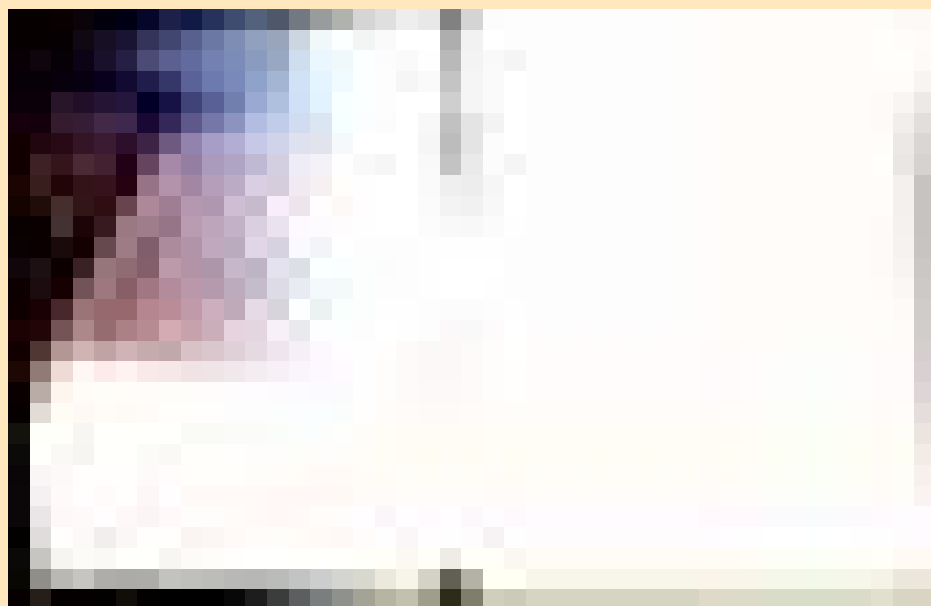
formación de pendientes -lo que conllevaría muros cada vez más elevados (figura 2c)-, o bien cambiar la dirección de caída de las aguas con lo que nos encontraremos intuitivamente con una de las soluciones más vernáculas; la cubierta a dos aguas (figura 2d). De esta manera, con una luz limitada podemos crear arquitecturas que crezcan en ambas direcciones del espacio, pero que siempre tendrán el condicionante de una distancia máxima entre muros limitada al tamaño de troncos enterizos disponibles.

Si en una formación de doble crujía sustituimos el muro o línea de carga central por un pórtico de pilares y vigas conseguimos dar mayor diafanidad al espacio central

(figuras 2e y 2f); recurso muy utilizado por aquellas arquitecturas que han necesitado realizar amplios espacios sin disponer de los conocimientos y tecnología adecuados para salvar mayores luces sin apoyos intermedios. Su única alternativa era la construcción de costosas cúpulas de fábrica que lógicamente eran reservadas para obras muy señaladas. Si en vez de desnivelar los apoyos para formar un paño de cubierta, partimos de

apoyos al mismo nivel, podemos utilizar las vigas como base de arranque para levantar otros troncos que sirvan para conformar la caída de las aguas. Para que estos dos troncos o pares no generen empujes horizontales se ingenia la solución de apoyarlos simplemente sobre un pie derecho que descansa sobre el centro de la viga (figura 3a). Esta combinación elemental de viga -que no genera empujes sobre los muros- se puede repetir a cierta distancia cual si se tratara de vigas de primer orden o bien ir las separando a mayor distancia y se apoyan entre ellas unas piezas llamadas correas que llevan la dirección paralela a la pendiente y que hacen las veces de elementos de segundo orden para reducir la luz y por tanto la escuadría. Siguiendo el mismo criterio primigenio de entramados de primer orden y segundo orden, podemos continuar espaciando las correas a lo largo del faldón de cubierta y volver a colocar una nueva familia o tercer orden de vigas en la dirección perpendicular al faldón, con lo que tendremos los cabios o parecillos. Obviamente con estos diseños tan básicos de estructuras adinteladas, los espacios que podamos cubrir se ven limitados por la longitud máxima de los troncos, y por sus secciones, que están claramente relacionados dependiendo principalmente de las especies. No obstante esta limitación parece no haber creado mayores problemas para el desarrollo de arquitecturas muy antiguas como la egipcia, mesopotámica, e incluso griega, salvo el condicionante de no poder pasar de luces máximas inferiores a

Capilla Pazzi de Brunelleschi (Florencia)

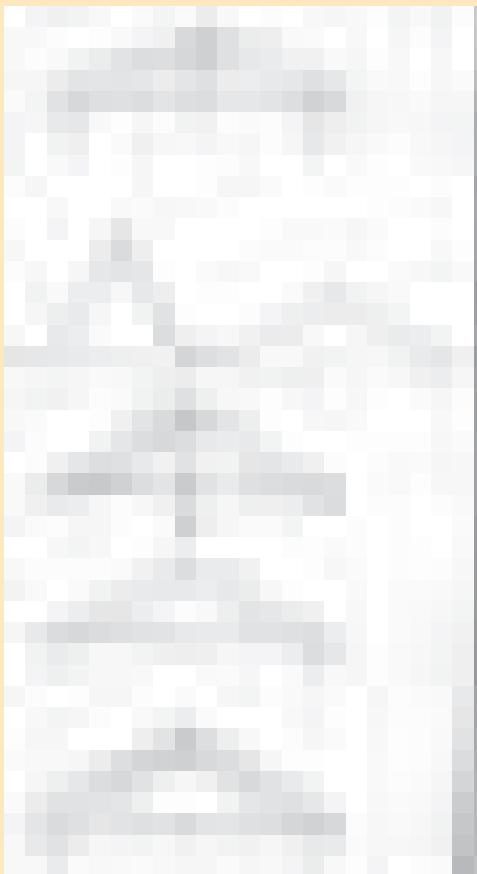


10 m. A juzgar por las luces que se han podido constatar de la medición de restos arqueológicos de sus obras de fábrica -cimientos, muros, columnas- que son las que han soportado mejor las inclemencias meteorológicas y agresiones humanas.

Estos esquemas adintelados o arquitrabados han sido muy utilizados por las arquitecturas orientales a juzgar por el mantenimiento de las tradiciones en la carpintería de armar china y japonesa. Por lo que respeta a nuestro ámbito, la mayoría de los historiadores especulan que los

templos griegos se cubrían siguiendo estos esquemas adintelados a base de vigas de gran porte, que además de servir de apoyo al entramado de los faldones de cubierta, servirían para conformar un techo plano, posiblemente artesonado al introducir un segundo orden de vigas. Es a partir de la época helenística cuando se empiezan a cubrir espacios públicos de gran envergadura a juzgar por los restos arqueológicos del *Bouttherion* de Priene, y del *Olympeion* de Atenas. La separación entre filas de columnas del primero y del segundo(1), nos hace pensar que debieron estar en el camino hacia las armaduras atirantadas a base de simples tijeras, ya que la otra explicación posible es que hubieran conseguido importación de gran porte que permitieran escuadrías del orden de los 80 cm de canto, para salvar la luz de un solo tiro, como es el caso de los tirantes -14m- de la armadura de la catedral de Messine- III en el mediodía francés (2), pero realizando el apoyo de los pares sobre pies derechos que descansaban sobre la viga.

Al menos sí podemos afirmar que disponían de la tecnología de uniones necesaria para realizar enlaces tracción, ya que parece ser que conocían el rayo de Júpiter utilizado en sus embarcaciones (3), con lo que podría resolver el empal-



me del tirante reduciendo la longitud de madera disponible a la mitad. La solución de triangulación o entramado que armaron para estos edificios queda dentro de la conjetura por más que algunos autores hayan adelantado soluciones inspiradas en los diseños atribuibles a los romanos, lo cual implicaría que serían los griegos los que inspiraron a los romanos sus cerchas o armaduras atirantadas. Volviendo a retomar el hilo del

discurso de los orígenes y desarrollo de los distintos tipos estructurales vamos a ver cómo para poder superar la limitación de las luces que nos marcan los troncos disponibles eliminando apoyos intermedios, tenemos que partir de la siguiente estructura elemental: dos troncos apoyados uno frente a otro por el pecho, es decir empujando uno contra el otro (figura 3b). Si los enfrentamos siguiendo una fuerte pendiente, apenas notaremos deslizamiento en su base, pues

Iglesia de la Santa Croce (Florencia)



el empuje horizontal es pequeño y el rozamiento contra el apoyo impide su desplazamiento, a media que vamos bajando la pendiente se incrementan los empujes horizontales, por lo que pronto se daría cuenta de que deberían contrarrestarlas. Esta formación es un arco muy elemental que obviamente genera empujes horizontales en sus apoyos, como trató de determinar empíricamente Leonardo da Vinci (figura 3c) (4). Para hacer frente a estos empujes existen básicamente dos soluciones: una, incrementar la sección de muro para impedir su vuelco o desprendimiento, y, dos, introducir una barra que absorba interiormente las tracciones generadas por esos empujes. A partir de este momento ya tenemos configurada la cercha más elemental. Utilizo la palabra en su sentido tradicional y etimológico, por cuanto cercha viene del francés antiguo *cerche*, y ésta del latín *circulus*; inicialmente palabra con el mismo origen que *cimbra* y con el mismo significado que *arco*, por lo que estructuralmente también es adecuado llamarle *arco*, aunque su geometría sea recta. Con esta asociación se entiende mejor el trabajo del tirante que hace las veces de la cuerda en el arco.

Este triángulo elemental (figura 3d), denominado *tijera* por los tratadistas españoles del s. XVII, adecuadamente ensamblado para que la barra horizontal - el tirante-, pueda ejercer su función, parece haber sido conocido por los romanos a juzgar por los comentarios de Vitrubio en su libro 4, cap. 2. Si bien la exposición no es lo suficientemente clara, él mismo relata que cubierto una basílica

REHABILITACIÓN

con este sistema -Fano, 17,80 m de luz-. Debemos viajar hasta el Renacimiento para que una pintura al fresco nos informe sobre las armaduras que supuestamente cubrieron las grandes basílicas romanas. El único dato constatable de estas tijeras elementales nos lleva al Monte Sinaí -monasterio de Sta. Catalina- en la Siria del siglo VI, donde gracias a una inscripción en uno de los tirantes se ha podido datar como auténtica una armadura atirantada de este tipo. Este esquema estructural tan simple a base de tijeras y correas (figura 3e), se vendrá utilizando en la cuenca mediterránea para cubrir espacios de pequeñas crujías, y lo vemos repetido en las iglesias medievales sicilianas como la catedral de Siracusa, o la citada francesa de Messine. En España esta tipología estructural ha sido vernáculamente utilizada por la arquitectura popular para sus armaduras de cubierta .

Por lo demás, hasta esa fecha -s. VI- nos movemos en el plano de las conjeturas. La única referencia clara que tenemos sobre el primer periodo romano nos la ofrece la ilustrativa columna Trajana, que nos talla en la piedra un dibujo interpretando lo que pudo ser el famoso puente de la colonia trajana sobre el Danubio. Allí se puede constatar el conocimiento que los romanos tenían de los entramados. Sin embargo, de ahí a tener un claro conocimiento del comportamiento de cada una de las barras que componen los entramados queda mucho que andar.

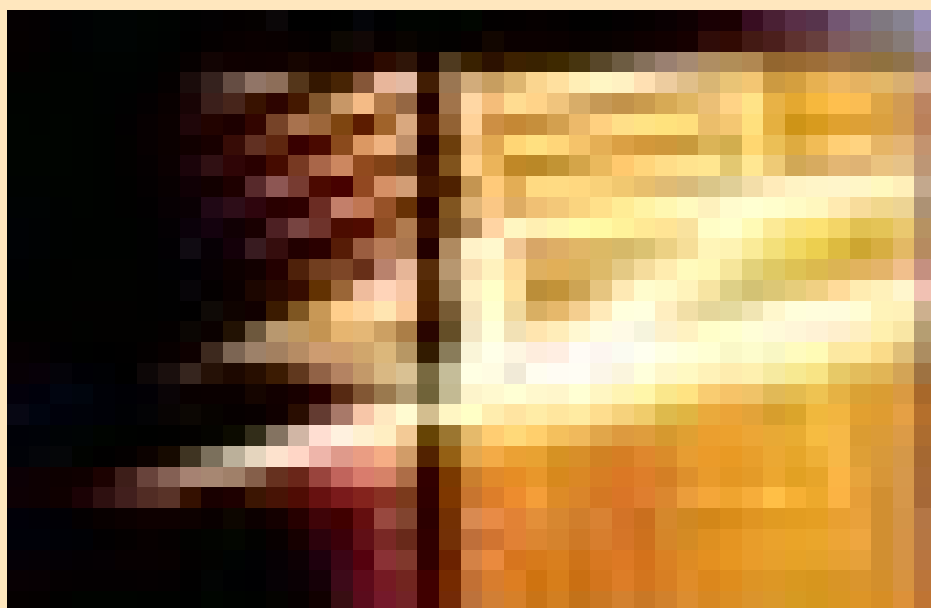
En este plano y siguiendo el mismo argumento utilizado en los grandes espacios helenísticos, viajamos hasta comienzos del siglo IV con las primeras basílicas cristianas. En el 313 Constantino declara al cristianismo religión oficial del imperio y manda edificar la primera basílica de San Pedro que es terminada hacia el 330. La armadura de esta basílica fue supuesta y fielmente recogida por la pintura al fresco existente en el Vaticano -Palacio de los Canónigos- antes de proceder a su demolición para construir el actual Vaticano. La arqueología de sus restos nos permite configurarla en su conocida planta de nave central y dos laterales. Pero para el caso que nos atañe lo que nos importa es la dimensión transversal de su nave central - 24 m- . Aquí sí que el argumento de los troncos de árboles de gran porte importados se nos viene

abajo. Cubrir esta luz a base de troncos de madera es inviable a no ser si es a base de entramados ensamblados y atirantados, ya que los muros no tenían el espesor suficiente para aguantar los empujes de un diseño de entramado arqueado. También tenemos conocimiento arqueológico de que los romanos conocían el rayo de Júpiter así como otros ensamblados y entalladuras, gracias a los arqueológicos efectuados en Pompeya y Herculano.

Ahora bien, nos queda la duda de si la solución recogida en el fresco citado, corresponde a la solución original del s. IV o a una reconstrucción medieval. No obstante, disponemos de un documento de gran relevancia fechado en el s. IX, en el que se menciona la sustitución de piezas de la armadura de S. Pablo Extramuros, basílica coetánea de la de S. Pedro y con igual tiro de nave central - 24,25m-. La escuadría del tirante, 0,495 x 0,385 m no deja lugar a duda sobre la necesidad de cualquier tipo de solución atirantada que hubiera tenido, que si hemos de creer la suministrada por Rondelet antes del incendio de esta armadura acaecido en 1823, coincide con la reflejada en el fresco del Vaticano (5). Hoy por hoy hay un gran vacío en el rastreo del origen de las armaduras atirantadas, y solo la afortunada arqueología podrá dar visos de certeza a las actuales conjeturas. Salvando el inciso histórico, y volviendo a nuestro análisis evolutivo, partiendo del triángulo elemental o tijera, sus antiguos creadores pudieron constatar como a medida que incrementaban las luces a

cubrir comenzaban a aparecer flexiones en los pares o cuchillos. Una de las soluciones más inmediatas surge apuntalando el descuelgue sobre la barra más próxima, el tirante, procurando hacerlo sobre el tramo más próximo al muro para no incrementar la flexión del tirante (6). Sin embargo si la sección del tirante no es lo bastante fuerte, éste también combará, con lo que acabarán encontrando la solución de apuntalar los cuchillos entre sí; así aparece el llamado *nudillo* por López de Arenas o *jabalcón* por Fray Lorenzo, barra horizontal que equilibra las deformaciones contrapuestas de los pares o *cuchillos de armadura*. Esta es una solución utilizada también por la carpintería de armar centroeuropea, donde el nudillo se combina con puntales o jabalcones en las armaduras de cubierta de sus iglesias medievales de los siglos XII y XIII (7). Una vez que se logra entender bien el mecanismo de atirantado, y siguiendo bajo la premisa de economía de medios, se puede reducir más la sección del tirante si se le cuelga de la clave del propio entramado que ya suponemos que ellos entienden como arco. Así aparece el *pendolón* que se suele combinar con los jabalcones horizontales tal como muestran los diseños Palladianos, supuestamente inspirados en la herencia romana. Sin embargo donde esta pieza clave de una armadura triangulada empieza a hacerse presente con clara intencionalidad estructural, es en las armaduras medievales del mediodía francés, tal como nos ilustra Viollet-le-Duc en varios de sus dibujos (8).

Iglesia de San Carlo (Florencia)



Siguiendo la información suministrada por Viollet-le-Duc, es a partir del s. XII cuando parece renacer con fuerza la voluntad formal de levantar bóvedas. Dada la precariedad de medios económicos la mayoría de estas bóvedas se realizan en madera siguiendo el patrón formal de medio cañón de las de fábrica. Esta trasposición formal obliga a un cambio brutal en las pendientes de las cubiertas, -hasta ahora de pendiente más baja de origen latino, por ser más económicas- para hacer compatible la formación de los paños inclinados de cubierta, con el alojamiento en su seno de una forma abovedada de medio cañón. Ante estos condicionantes formales los diseños de entramados empiezan a hacerse más confusos y van buscando la rigidización de los pórticos, hasta el punto en que gracias a la gran inclinación de las pendientes pueden liberarse de los tirantes, que no cabe duda serán de poco agrado estilístico al romper aunque sea linealmente, la diafanidad del espacio abovedado.

No obstante, quizá el cambio en la inclinación de las pendientes provenga de una tradición vernácula centroeuropea donde se precisan elevadas inclinaciones para desalojar las nieves. Esta parece ser la condición formal que inspira el desarrollo de otra tipología de armaduras de palomillas, y cuyas primeras referencias documentales las encontramos en el álbum medieval de Villart de Honnecourt. Estas armaduras de origen sajón y anglo-normando, desarrollan sin embargo, gracias a su gran pendiente, entramados que van buscando la forma de arcos intentando centrar lo más posible los empujes para que no desestabilicen los muros, que dicho sea de paso para estos diseños han de ser de sección mucho mayor, cuando se realiza sin tirante alguno.

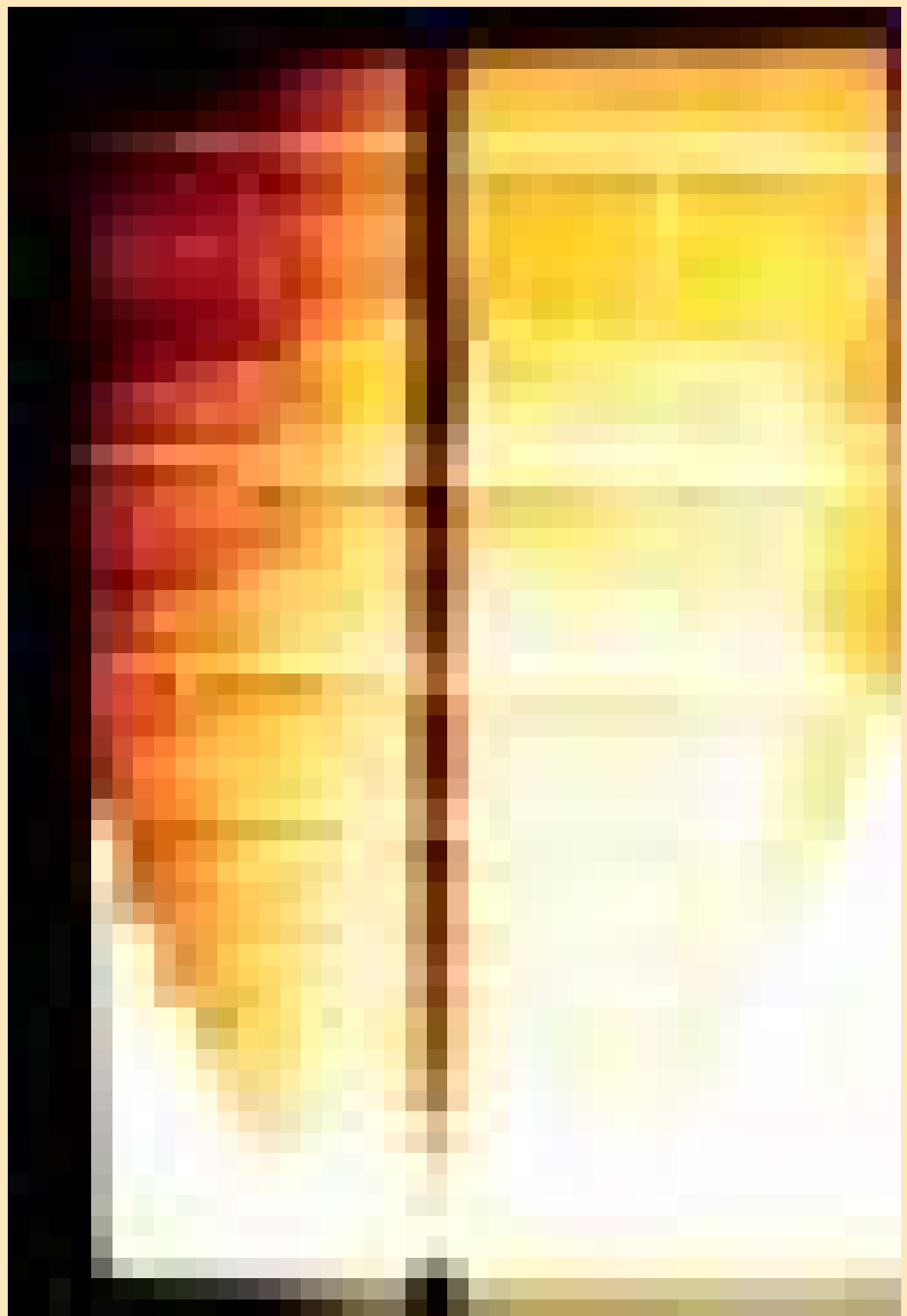
También en España se buscan estas formas de arco con las armaduras de siete paños, donde además del nudillo, aparecen sendos jabalcones que van a descargar un par de metros por debajo de la coronación de los muros, utilizando así el peso muerto del muro como contrapeso para centrar la resultante del empuje, y de esta manera poder prescindir del tirante, pieza que enturbia la percepción transparente del espacio abovedado. En Inglaterra gracias a disponer de árboles de gran envergadura y desarrollar con eficacia ensambladuras de notable

rigidez, han conseguido en momento de esplendor económico conseguir superar ligeramente los 20 m de luz en el Westminster Hall, s. XIV, mientras que las armaduras góticas francesas se mueven entre los 12 y 14 m -Reims, 12 m, París 13 m. Beauvais, 14 m- aunque en este caso bajo la servidumbre que supone adaptarse a la luz impuesta por las bóvedas de fábrica que cobijan. Tenemos que acercarnos al renacimiento italiano con los entramados de Palladio, para volver a alcanzar los 24 m de las basílicas constantinianas. Estos entramados empezarán a desarrollarse a partir de finales del s. XVIII, con la aparición de la Academia Francesa. Sin

embargo hasta principios del s. XIX, cuando empieza a proliferar la tratadística de la construcción -sobre todo en Francia- no se comienzan a formular soluciones isostáticas susceptibles de cálculo por medio de la estática gráfica, aunque en el ámbito del mundo científico ya se habían pasado varios siglos desde que en el s. XVII se realizan las primeras formulaciones basadas en diagramas vectoriales (9).

En este estado del análisis quizá sea oportuno introducir una división de carácter arquitectónico en el mundo de las armaduras, ya que va a condicionar claramente su desarrollo. Se trata de

Museo Cimabue (Florencia)



descomponer las armaduras en dos campos, las *aparentes*, diseñadas con intencionalidad estética para ser vistas, y las *ocultas*, cuya función es meramente ingenieril, en el sentido de cubrir un espacio bajo una forma determinada con el menor coste posible.

En España esta diferencia se va a ver con una claridad absoluta ya que todas las armaduras diseñadas para ser vistas se realizan en base a una tipología de armadura de pares, *par y nudillo*, o *pares y jabalcones*, mientras que las armaduras toscas o las realizadas en espacios bajocubierta tras las bóvedas o incluso como cubierta de protección de las armaduras de *tijeras y tercias* o correas. La explicación estriba en que las primeras se adaptaron mejor que las segundas a la conformación de espacios a base de paños o planos que dan una primera aproximación abovedada al espacio arquitectónico y al desarrollo de las lacerías realizado en la cultura hispanomusulmana, por otra parte, dada la regularidad y la proximidad entre los pares, que servían de trama a los distintos diseños de trazados. Por otro lado, los entramados de tijeras y tercias resultaban de menor consumo y labra de material, por lo que su uso se adscribió a los espacios bajocubierta.

Voy a aprovechar la referencia a estos tipos españoles para explicar una diferencia tipológica muy importante; el atirantado de la cercha, pórtico o simple tijera, y el atirantado de estribo. Las armaduras de tijeras y correas, diferencian entre elementos estructurales de primer orden, las tijeras o cerchas, y los elementos estructurales de segundo orden, las correas o tercias; así las primeras necesitan atirantado mientras que las segundas no, con lo que el apoyo de las estructura se puede realizar sobre simples durmientes. En cambio en las armaduras de pares, los pórticos par-nudillo o los simples y único orden estructural de relevancia, al estar muy próximos entre sí -30 a 40 cm-. Sin embargo el empuje que realizan sobre la línea de apoyo sobre los muros es continuo en vez de puntual como en el caso anterior. De esta manera en estas armaduras de pares lo que se atiranta es el estribo, base de apoyo de los pares, que funciona como una viga y se atiranta a la máxima distancia que permita la escuadría del estribo, para evitar una deformación a flexión excesiva.

Con este breve análisis tipológico y evolutivo, no he pretendido empaquetar la inmensa riqueza de soluciones existentes en la carpintería de armar, sino

solamente disponer de una herramienta de análisis que nos sirva de guía y referencia en nuestros viajes por la historia de la carpintería de armar, introduciendo premisas como la economía de medios, la lógica estructural, el apego a las tradiciones, y las voluntades formales, que interaccionando entre sí nos van aclarando el porqué de los orígenes de la gran variedad de soluciones encontradas.

NOTAS

1. Adam J.P. La construcción romaine, 1989. París, pag. 226.
2. Según información recogida por Viollet-le-Duc, se trata de una tijera elemental que salva una luz de 14 m con un tirante de 0,80 m x 0,45 m, separadas entre sí a 2,50 m Viollet-le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture..., 1863-64. París. Encicopedie medievale d'après Violet-le-Duc. Tome 1 (refonte du Dictionnaire raisonné por Georges Bernage), 1978. París. Pag. 268.
3. J.P. Adam, op.cit. Pág. 105.
4. Timoshenko. S.P. History of strength of material, pag. 6.
5. J.P. Adams, op.cit. Pág. 229.
6. Binding, G. Das Dachwerk..., 1991, München, pág. 27, armadura de cubierta de la ig. de S. Martín en Sindelfingen, 1132.
7. Op. Cit.
8. Violet-le-Duc, op. Cit. P.p. 261 y 269.
9. La primera aplicación de la estática a la solución de los problemas de arcos, es debida a Lahire (1640-1718), miembro de la Academia Francesa. Timoshenko, S.P., op. Cit. Pág. 63.