

Las armaduras de cubierta en los tratados del siglo XVII francés

Isabel Gómez Sánchez
Santiago Huerta Fernández

En el siglo XVI Italia se sitúa a la cabeza de la producción de textos sobre arquitectura, en los que destaca su carácter universalizador y teórico. En el XVII es Francia el país que toma el relevo, produciéndose además un cambio de orientación. Junto a las obras teóricas, encontramos otras en las que domina la finalidad práctica y una mayor preocupación por los aspectos constructivos.

En efecto, desde finales del siglo XVI los textos de arquitectura y construcción se especializan, y aparecen numerosos manuales prácticos, entre ellos los primeros tratados específicos de carpintería. En este sentido, la obra de Philibert de L'Orme¹ representa un caso excepcional, tanto por su anticipación en el tiempo como por su contenido. No pretende recoger ni orientar los usos tradicionales de la carpintería de la época, sino proponer un nuevo sistema constructivo. Los que sí recogen las prácticas tradicionales son los dos tratados específicos de carpintería del primer tercio del siglo XVII en España y Francia: los de López de Arenas y Mathurin Jousse, respectivamente.² Los tratados y las técnicas de la carpintería de armar española han sido ampliamente estudiados por diversos autores, así como la obra de Mathurin,³ por lo que en este caso se pretende analizar las soluciones empleadas en el ámbito francés y recogidas en tratados no específicos.

Prácticamente coincidentes en el tiempo con Jousse y López de Arenas encontramos dos obras que suponen el comentado cambio de orientación en la tradística francesa: los tratados de Le Muet y Savot.

El carácter práctico de los textos se acentuará a lo largo del siglo, difundiéndose obras cada vez más divulgativas que técnicas. Pero pese a su «desprofesionalización», nos permiten conocer las soluciones constructivas empleadas en el país vecino.

En todos los casos, la carpintería de armar ocupa un lugar importante en los tratados generales de construcción del XVII francés. Y las armaduras de cubierta representan el capítulo más extenso, por la variedad y complejidad de soluciones posibles. En ellas se centrará este estudio, prestándose especial atención a las reglas de trazado y dimensionado que orientaron el proyecto de armaduras en Francia en esta época. Las soluciones y tipos estructurales difieren notablemente de los españoles. Así por ejemplo, los tratados españoles recogen fundamentalmente armaduras de par y nudillo, al ser éstas las más utilizadas por los carpinteros de lazo; en Francia sin embargo, los tratados son más generales e incluyen mayor variedad de soluciones tipológicas.

EL TRATADO DE LE MUET⁴

El tratado de Le Muet constituye en Francia un nuevo modelo de publicaciones sobre arquitectura, cuyo principal objetivo es orientar a todos los sectores implicados en la edificación. Fruto de la propia experiencia del autor, se trata de una obra con finalidad práctica que contempla todos los aspectos que intervienen en la construcción de edificios y contrasta con

el gusto por las disquisiciones teóricas, dominante en Francia hasta la fecha.

El tratado contiene un amplio catálogo de tipos empleados en la construcción en el París de principios del siglo XVII. Inicialmente sólo recogía ejemplos de edificios de arquitectura doméstica; pero ya desde la segunda edición se amplía el catálogo con la inclusión de palacios y grandes villas. En todos los casos se describen mediante el empleo sistemático de plantas, alzados y algunas secciones, añadiéndose en ocasiones detalles de soluciones constructivas. Fue reeditado en cinco ocasiones durante el siglo XVII, con sucesivas adiciones de ejemplos de obras, prueba de su gran aceptación.

Desde el discurso preliminar de la obra, se aprecia la preocupación de Le Muet por los problemas constructivos y el dimensionado de elementos, incluyendo frecuentes consejos prácticos para garantizar la estabilidad de las obras. El único capítulo específico de construcción se dedica a la carpintería de armar, con detalladas explicaciones del sistema de construcción de entramados verticales, forjados y armaduras de cubierta. En todos los casos, se describe el proceso constructivo, la situación de cada uno de los elementos, así como la escuadría y soluciones de encuentro de algunos de ellos.

Las soluciones expuestas están incluidas en numerosos tratados posteriores,⁵ sin apenas variaciones incluso más de cien años después, lo que pone de manifiesto hasta qué punto recogen los modos imperantes en Francia en esta época.

Armaduras de cubierta

Dependiendo del material de cubierta utilizado, se proponen tres sencillas reglas geométricas para determinar la pendiente de las armaduras (Fig. 1).

En cuanto a la clasificación de armaduras, se considera un triple criterio de funcionamiento estructural: Independientemente del material de cubierta, las armaduras pueden tener el arranque elevado o al nivel del último forjado (*avec exaucement de l'entablement au dessus du dernier plancher, ou sans exaucement*), Figuras 2-3 y 4-5 respectivamente. En el primer caso establece dos nuevos criterios de clasificación: por un lado, distingue entre las cubiertas apoyadas en muros piñón (*entre deux pignons*), Figs. 2 y 4 y las cubiertas a cuatro aguas, con faldones tes-

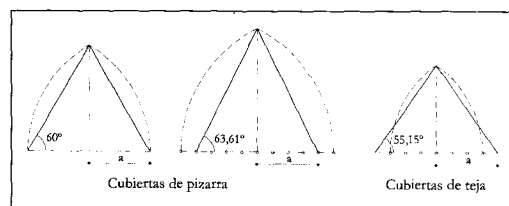


Figura 1

En el caso de la teja, se divide el ancho de la sala a cubrir en 8 partes, dándose 7 de ellas a los faldones laterales (55,15° de pendiente). Para la pizarra se dan dos posibles soluciones: el empleo del triángulo equilátero (60°) o bien la división del ancho en 8 partes, dando a los planos inclinados 9 de ellas (63,61°).

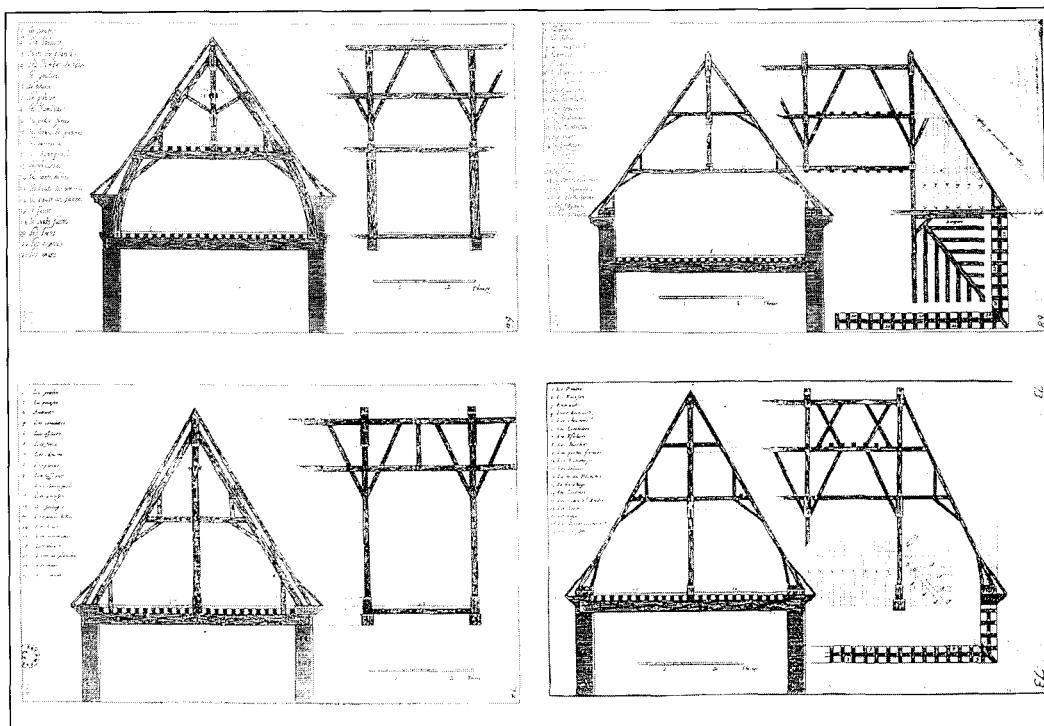
teros (*avec croupe*), Figs. 3 y 5; por otro, según la estructura de asiento, distingue entre las armaduras sobre pies derechos (*jambes de force*), Fig. 2 y las construidas sobre soleras dobles formando *platte formes*,⁶ Figs. 3 y 5.

Las soluciones de arranque elevado dejan libre la planta sobre el nivel del forjado de desván. Se resuelven de dos maneras:

- Con estructura de tijeras con correas y forjado elevado (el tipo descrito como armaduras sobre *jambes de force*).
 - Con armaduras de pares sobre plataformas, sin forjado superior.
- Las soluciones de arranque a nivel del último forjado no soportan otro forjado superior en ningún caso. También se resuelven de dos formas posibles:
- Con estructura de tijeras y correas.
 - Con armaduras de pares sobre plataformas.

En todos los casos las cubiertas sobre *plateformes* representan armaduras de pares, mientras las armaduras sobre *forces* son soluciones de tijeras con correas, que pueden tener los pares enterizos (*forces simples*) o partidos (en las denominadas armaduras sobre *jambes de force*).

Pese a que no se indica expresamente, las armaduras con correas parecen apoyarse en muros piñón. Las de pares, sin embargo, menos resistentes, tienen limas que arriostran longitudinalmente la estructura. Para ello, los cuartos de limas son rectangulares, teniendo el par alarozo (el par testero que coincide con la hilera) más pendiente que los pares torales (los úl-



Figuras 2-5
Tipos de armaduras de cubierta definidas por Le Muet.

timos pares de los faldones laterales que alcanzan la hilera).

Le Muet define cuatro tipos de armaduras, considerando los distintos valores de los parámetros de clasificación, Figs. 2, 3, 4 y 5 respectivamente:

- Armaduras sobreelevadas sobre *jambes de force*.
- Armaduras sobreelevadas sobre *platteformes*.
- Armaduras a nivel con *forces simples*.
- Armaduras a nivel sobre *platteformes*.

En los cuatro casos se describen detalladamente los elementos de las estructuras de apoyo, los que constituyen las armaduras, los de arriostramiento longitudinal y los que finalmente reciben el material de cubierta. A título de ejemplo, se incluye a continuación la referencia al caso de las armaduras sobreelevadas de tijeras con correas (el primero de los cuatro tipos de Le Muet), que es el que con mayor frecuencia aparece en los tratados de la época.

Armaduras sobreelevadas, de tijeras sobre pies derechos y correas (Fig. 6)

—Las tijeras tienen los pares interrumpidos, por lo que a excepción del tirante, permiten ser construidas con piezas de menor longitud que las de pares enterizos. Los pares inferiores o *jambes de force* son en realidad pies derechos de apoyo de la parte superior de la estructura, una tijera de par y pendolón. Se reciben a caja y espiga sobre las vigas,⁷ y sostienen un tirante elevado (*tirant*). Sobre el tirante puede ir situado un forjado superior, reforzándose el apoyo mediante la colocación de tornapuntas (*goussets*) que descargan el tirante sobre los pies derechos. El tirante recibe igualmente a caja y espiga los pares superiores (*forces*), que acometen en la parte alta y con este mismo tipo de unión, a un pendolón (*poignon*). Los pares superiores descansan sobre el pendolón a través de jabalcones o *contrefiches* y sobre el tirante a través de postes (*jambettes*) verticales. El pendolón se «apoya»

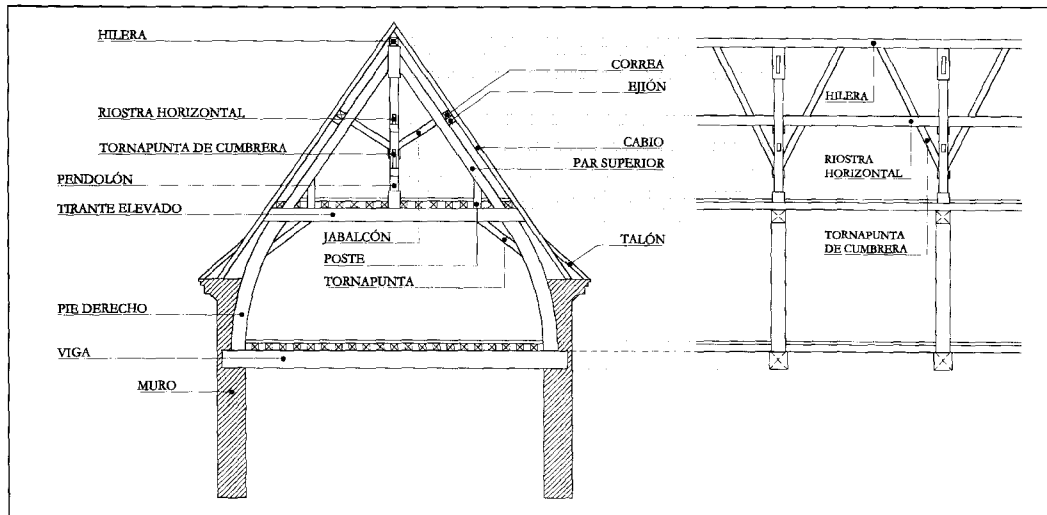


Figura 6
Secciones transversal y longitudinal de la cubierta de tijeras con correas y arranque elevado.

según palabras de Le Muet en el centro del tirante, y rigidiza la estructura tanto en el plano de la armadura (a través de los jabalcones) como en el plano perpendicular (mediante las tornapuntas de cumbrera o *liens*, que apean la hilera en el plano medio longitudinal). Todos los elementos de arriostramiento en el plano de la armadura, se ensamblan a caja y espiga, que es, como puede apreciarse, prácticamente el único tipo de unión utilizado.

Definida la estructura de las armaduras o tijeras, queda situar los elementos longitudinales que apoyan sobre ellas, bien para sostener la cubierta, bien para arriostrar el conjunto longitudinalmente.

Los principales elementos de apoyo del material de cubierta son las correas (*pannes*), situadas a nivel del tirante y en el punto donde acometen los jabalcones a los pares (que deben hacerlo perpendicularmente a ellos). Sobre ellas se colocan los cabios (*chevrons*), que apoyan en cuatro puntos sensiblemente equidistantes: en el entablamento, en las correas intermedias y en la cumbrera. En la parte inferior de los cabios se clavan los talones (*coyaux*), permitiendo evacuar el agua de la cubierta en esta zona. Los cabios se separan entre 16 pulgadas y 2 pies, dependiendo de su sección, lo cual supone un reparto de 3 y 4 por tabla (*latte*) respectivamente.⁸ Son los elementos que finalmente reciben la cubierta.

Entre los elementos destinados a arriostrar la estructura en el plano perpendicular a las armaduras, cabe destacar las hileras (*faistages*), las riostras horizontales (*sousfaistes*) y las tornapuntas de cumbrera (*liens*). Las hileras son piezas que reciben los extremos superiores de los cabios; están situadas entre las tijeras, unidas a caja y espiga sobre las cabezas de los pendolones, y ensambladas entre sí mediante uniones en rayo de júpiter reforzadas con clavijas de madera. Las riostras horizontales enlazan las armaduras entre sí, ensamblándose a caja y espiga en los pendolones, en el punto medio de su altura. Las tornapuntas de cumbrera apean la hilera en el pendolón de modo que entre cada dos armaduras la hilera quede dividida en tres partes iguales.

La armadura así descrita es quizá la solución estructural más utilizada en las cubiertas francesas de principios del siglo XVII. Como vemos, muy distinta de las armaduras de la carpintería española de la época. En la edición de 1681 se incluyen finalmente dos láminas con armaduras quebrantadas, conocidas popularmente como *mansardas*. Suponen una nueva tipología, que mejora el aprovechamiento del espacio bajo cubierta con una notable reducción de la altura. Permiten sustituir los cabios enterizos por piezas de menor longitud y serán una solución de moda en Francia desde la segunda mitad del XVII (Fig. 7).

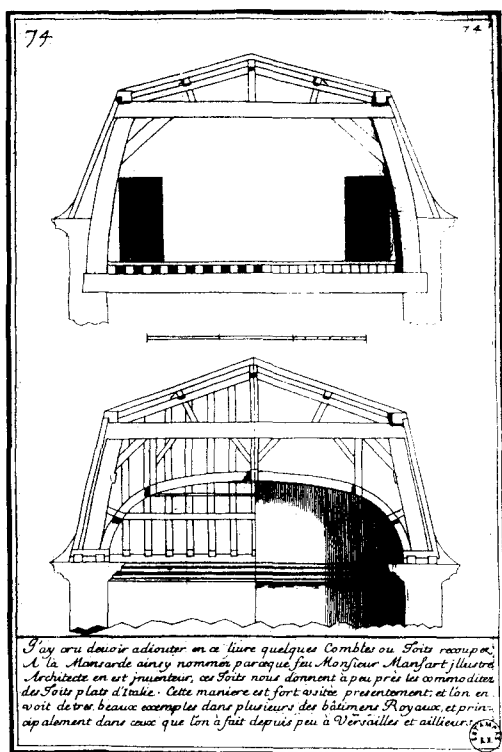


Figura 7
Armadura quebrantada o «mansarda».

L'ARCHITECTURE FRANÇAISE DE SAVOT⁹

Pese a la escasa experiencia profesional de Savot, su deseo de orientar al promotor en cuestiones prácticas, le lleva a escribir un tratado que es considerado por algunos autores como el padre de los manuales de arquitectura del XVII en Francia.¹⁰ Igual que en el caso de la obra de Le Muet, pretende tener carácter general, e incluye numerosas indicaciones sobre dimensionado de elementos, propiedades de los materiales de construcción, precios, métodos de medición y tasación y ordenanzas vigentes. Aparte de la edición príncipe de 1624, reimpresa en 1632 y 1642, se reeditó la obra, revisada por Blondel, en 1672 y 1685.

Contenidos técnicos

En el capítulo XLII del tratado, dedicado al tema del precio de las obras de carpintería, encontramos la

referencia a la «pieza» (*piece*), unidad de medida utilizada en Francia para el cálculo del volumen de madera.¹¹ Aunque carece de apoyo gráfico, aporta interesantes datos sobre piezas, dimensiones y sistemas de medición, tema de gran importancia en los manuales prácticos de construcción de la época.

En el caso de las vigas, soleras y carreras de los forjados, el grosor se determina en función de la luz a salvar. Debí ser una práctica habitual en la época, que explica la profusión con que en los tratados de construcción se incluyen tablas de escuadrías en función de la longitud de las piezas.

En cuanto a las armaduras de cubierta, tras indicar (sin describir) los elementos que las forman, se dan valores de dimensiones y escuadrías de las piezas a emplear en un supuesto práctico concreto, correspondiente a una estancia de 4 toesas (12 pies) de ancho, y resuelta con una armadura de tijeras con correas, del tipo descrito por Le Muet como de *jambes de force*. Pese a la minuciosidad de la descripción, se observa sin embargo gran uniformidad en las dimensiones de las piezas.¹²

Encontramos reglas de trazado, expresadas como tales en el capítulo XXVIII, e implícitas en el LXII en otras reglas de dimensionado. Entre éstas, la que establece una longitud del pendolón igual a $2/3$ de la luz a cubrir o las que aconsejan dar a los cabios una longitud igual al ancho de la estancia aumentado en $1/8$ ($63,61^{\circ}$ de pendiente) en el caso de la pizarra, y algo menor que este ancho (60°) si se utiliza teja. Entre las reglas explícitas, se propone dar a la cubierta una altura igual al ancho del vano ($63,43^{\circ}$) en el caso de la pizarra, y entre $2/3$ y $3/4$ (entre $53,15^{\circ}$ y $56,31^{\circ}$) en el de la teja.

Se indica una clasificación de armaduras, basada en criterios estructurales. Coincide con una de las dadas por Le Muet: la que distingue entre armaduras sobre *jambes de force* y armaduras sobre *plateformes*. Describe las solución ya vista de tijeras con correas en el primer caso, y de armaduras de pares en el segundo. Las construidas sobre plataformas se califican como «más bellas y nobles» y se presentan como alternativa para espacios abovedados en los que interfiere la presencia de tirantes intermedios.

Los tipos de cubierta empleados en Francia evolucionan sensiblemente a partir de la segunda mitad del siglo XVII. Se reduce notablemente la altura de las cubiertas y se pone de moda la armadura quebrantada o mansarda. En la edición de Blondel del tratado de Savot, correspondiente a esta nueva época, se señala la bondad esta cubierta, por su mejor aprovecha-

miento del espacio y por poder ser construida utilizando piezas de pequeña escuadría, con un considerable ahorro de material.

EL TRATADO DE D’AVILER

El *Cours d’Architecture*...¹³ de Augustin-Charles D’Aviler es un tratado general de arquitectura dedicado especialmente al estudio de la teoría de los órdenes. Sin embargo, incluye un breve pero significativo capítulo sobre carpintería de armar, cuyas indicaciones aparecen con frecuencia en los tratados de la época.¹⁴ Se define con gran detalle una armadura quebrantada o «mansarda», solución que, como ya se ha indicado, será objeto de interés a lo largo de todo el siglo XVIII en los tratados franceses.

El texto incluye numerosos consejos prácticos relacionados con las distintas obras de carpintería. Así

por ejemplo, se señalan el ahorro económico, de espacio y de peso como razones que pueden aconsejar la construcción de fachadas mediante entramados de madera. En cuanto a los forjados, se indica la ventaja de dejar la madera vista, por su mejor conservación, pese a ser más bellas las soluciones de falsos techos. Recomienda proteger con plomo los apoyos de las vigas en la obra de fábrica y colocar las vigas y viguetas siempre de canto. No da valores concretos de escuadría de piezas, pero insiste en que ha de ser la estrictamente necesaria, por motivos tanto económicos como estructurales (ahorrando gasto y peso).

Las armaduras de cubierta

A propósito de las armaduras de cubierta, se incluyen dos láminas que sorprenden por su cuidado y contenido informativo. Recogen distintos tipos de arma-

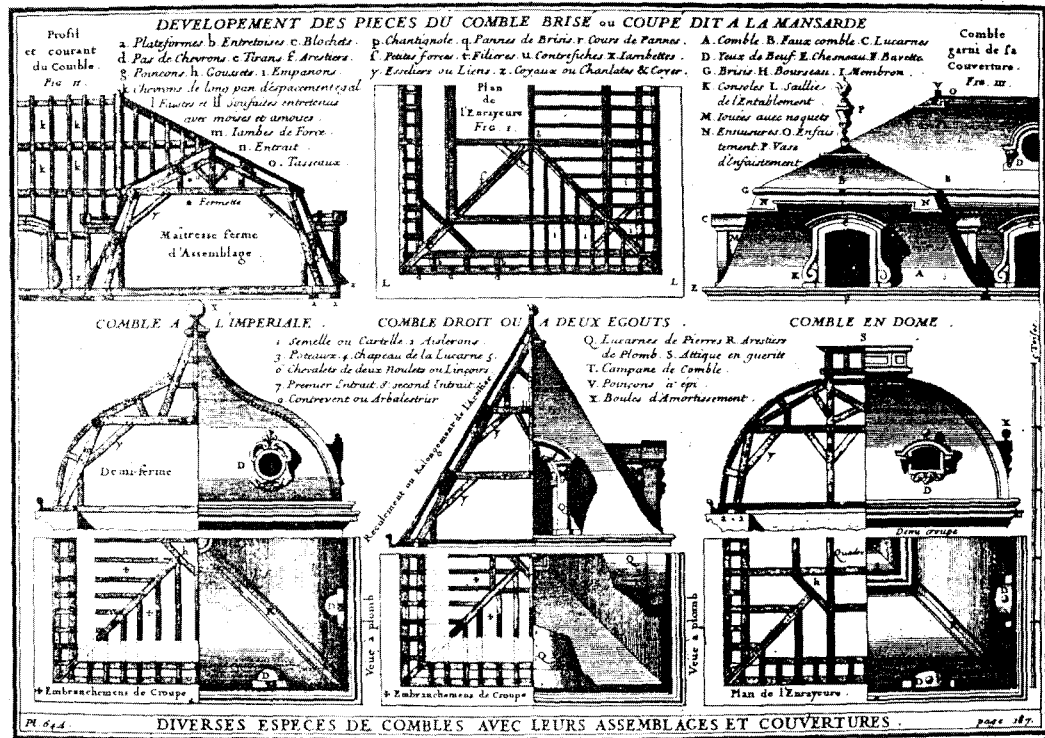


Figura 8
Tipología de armaduras de cubierta de D’Aviler.

duras, junto a una escalera y un entramado. Bajo el título «diverses especes de combles avec leurs assemblages et couvertures», la primera de ellas reúne cuatro tipos de armaduras (Fig. 8):

- Mansarda.
- A dos aguas recta
- A la imperial
- En cúpula, sobre planta cuadrangular

A los que hay que añadir una armadura para una cúpula, en la lámina siguiente.

Frente a las clasificaciones estructurales de los tratados específicos de principios de siglo, los manuales prácticos posteriores se basan en criterios morfológicos, mucho menos técnicos. En esta línea, D'Aviler propone una clasificación de armaduras atendiendo a la forma de su sección transversal:

- Armadura a dos aguas. Considerada como «la más sencilla y la mejor», distingue entre las de limas o a cuatro aguas y las rematadas en muros piñón (o en su caso, un frontón).
- Armadura quebrantada o «mansarda». Es la que describe más exhaustivamente, probablemente justificándose en su popularidad. Entre sus ventajas, señala la mejora de las condiciones de habitabilidad de los desvanes de cubierta, al tiempo que permite su iluminación con menor daño a la estructura (puesto que a mayor inclinación del faldón es menor el corte a realizar en su plano para conseguir un vano de igual altura). Por el contrario, la menor inclinación de los faldones superiores presenta inconvenientes en climas fríos, por la retención de nieve.

Se describe una armadura quebrantada a base de cerchas con correas y asentadas sobre plataformas. Se trata de una cubierta a cuatro aguas, con cuartos de limas cuadrados, de modo que péndolas y manguetas coinciden en su encuentro con las limas.

Para el trazado, se propone una regla (Fig. 9) alternativa al sistema tradicional de división del semicírculo en 4 partes iguales (que proporciona pendientes de $67,5^\circ$ y $22,5^\circ$ para los faldones inferior y superior respectivamente). La inclinación del faldón inferior será igual a la mitad de su altura y la del faldón superior igual a la mitad de su ancho ($63,43^\circ$ y $26,56^\circ$ de pendiente). Se trata de una regla que no define realmente la altura del quiebro, sino sólo los valores de

las pendientes de los faldones. Veremos su coincidencia con una de las dadas por Bullet como típica de la época (Fig. 9).

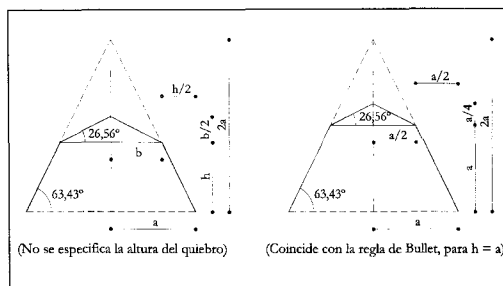


Figura 9

Reglas de trazado de armaduras quebrantadas dadas por D'Aviler (izquierda) y Bullet (derecha, en la que sí se define la altura del quiebro).

L'ARCHITECTURE PRATIQUE DE BULLET

L'Architecture Pratique de Pierre Bullet es un tratado general de arquitectura, en el que ya el propio título de la obra orienta sobre su finalidad.¹⁵ Escrito con intención de ofrecer un manual práctico pero no por ello carente de rigor técnico, proporciona sistemas de medición y presupuesto de las obras de los distintos oficios que intervienen en la edificación. El propio autor reconoce al tratar el tema de la carpintería, su deseo de orientar la práctica constructiva, poniendo su experiencia al servicio de los constructores. El texto está cuajado de consejos y reglas concretas, junto a análisis críticos de los usos de la época. Acompaña escasas pero claras figuras.

Comienza Bullet indicando cuáles son las estructuras que abarca la carpintería en edificación: cubiertas, forjados, entramados, tabiques, escaleras y las denominadas «ocultas» (tales como las cimentaciones, no menos importantes en los edificios). Se dedica un capítulo a cada una de ellas, si bien son las armaduras de cubiertas las que ocupan la práctica totalidad del titulado «de la charpenterie». En primer lugar se realiza un rápido recorrido por la historia de las cubiertas de madera y su estudio a través de los autores clásicos, efectuando un análisis comparativo entre Italia y Francia. En ambos países se critica a los antiguos el no haber legado reglas para determinar la

altura de las cubiertas. Para conocer los sistemas de trazado que empleaban, sólo cabe la posibilidad de estudiar sus obras construidas, que es precisamente lo que Bullet hace en su tratado. Deduce posibles reglas de determinación de pendientes a partir de las obras de los clásicos e incluye igualmente las de más en uso en Francia en la época, analizando críticamente unas y otras. Finalmente, Bullet propone sus propias soluciones, expresadas en forma de sencillas reglas geométricas.

Reglas de trazado de armaduras

Igual que D'Aviler, Bullet distingue entre las cubiertas a dos aguas y las quebrantadas. En el primer caso, además pueden tener los pares enterizos (que son en realidad armaduras de par y nudillo con correas) o construirse sobre *jambes de force*.

—En el caso de las cubiertas a dos aguas, destaca la escasa pendiente de las cubiertas tradicionales en Italia, que utilizaban los frontones como muros piñón (12,52° según Vitruvio, para quien la altura del frontón debe ser 1/9 del ancho de la estancia). En Francia por el contrario, critica el exceso de altura de las cubiertas de los «antiguos», quienes solían dar a las armaduras una altura igual al ancho del vano (63,43°

de pendiente), o la correspondiente al triángulo equilátero. Según Bullet, son demasiado pendientes y «sobrecargan los muros de forma innecesaria». Una posible solución pasa por el truncado y la construcción de terrazas; otra la constituyen las cubiertas «mansardas», para las que tampoco los autores clásicos franceses proporcionan reglas de trazado, que hay que deducir de sus obras.

—El primer tipo de armadura mansarda «tradicional» descrito por Bullet, sitúa el quiebro a la mitad de la altura de la cubierta recta de igual pendiente que los faldones inferiores de la mansarda (Fig. 10). Si bien no se indica si ésta coincide o no con el ancho del vano, de la ilustración que incluye parece deducirse que es así. En cuanto a la altura de los faldones superiores, se tomará el valor de la mitad de su ancho. Se obtiene una cubierta cuyos faldones tienen 63,43° y 26,56° de pendiente, con una altura total igual a 1,25 veces la mitad del ancho del vano.

En el segundo tipo de cubierta mansarda se da mayor inclinación al faldón inferior (1/3 de su altura, que en este caso sí se indica claramente que coincide con la mitad del ancho del vano) y al superior de nuevo una altura igual a la mitad de su ancho.

El propio autor reconoce la dificultad de determinar reglas generales, ya que «cada uno quiere hacerlas [las cubiertas quebrantadas] a su gusto y mane-

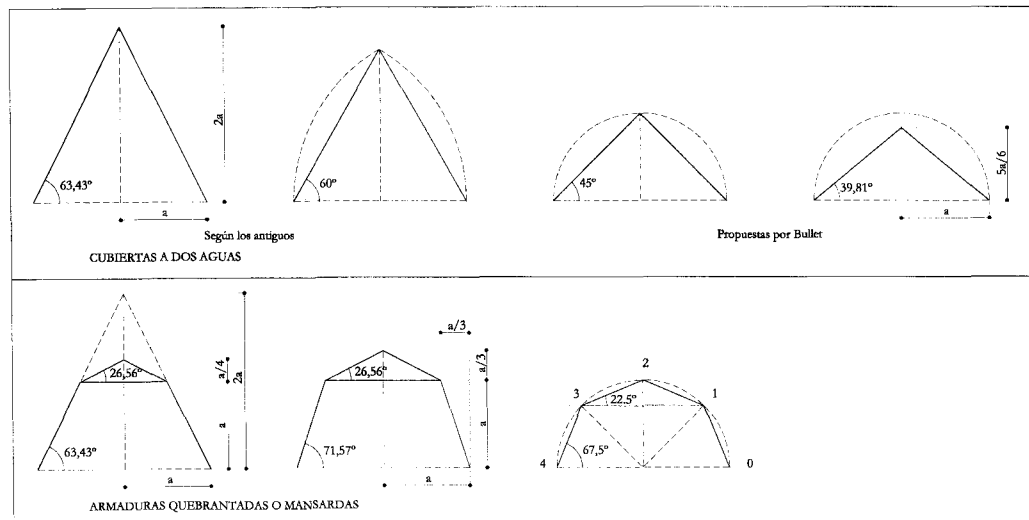


Figura 10
Reglas de determinación de la pendiente de las armaduras en Francia, tanto «antiguas» como propuestas por Bullet

ra». Incluye sus propias recomendaciones y juzga la adecuación de los usos más extendidos. Así por ejemplo, atendiendo a razones estéticas, recomienda que la altura de las cubiertas se fije teniendo en cuenta no sólo el ancho, sino también la altura del edificio que cubren.

—Para las cubiertas a dos aguas, dando lo que se define como una regla «moderada», recomienda pendientes de 45° o incluso un poco menores ($5/6$ del valor anterior). En ambos casos, considerablemente menores que las utilizadas por los «antiguos».

—Para las mansardas, recomienda inscribirlas en un semicírculo de diámetro igual al vano a salvar, con los quiebros situados a 45° . Las pendientes de los faldones no difieren mucho de las utilizadas tradicionalmente ($67,5^\circ$ y $22,5^\circ$), pero sí se reduce sensiblemente la altura del quiebro.

Contenidos técnicos y reglas de dimensionado

Las cubiertas descritas corresponden al tipo de armaduras con correas. Separadas entre 9 y 12 pies, apoyan directamente sobre los tirantes, mientras que los cabios o contrapares lo hacen sobre *plataformas*.

Se dan valores de los grosores de piezas a utilizar para distintos tipos de armaduras correspondientes a un supuesto concreto. Se trata de una cubierta a dos aguas inclinada 45° (en un caso, con pares enterizos y en otro, sobre *jambes de force*) y de otra mansarda trazada según la regla recomendada por Bullet (Fig. 11). En todos los casos, el ancho de la estancia a cubrir es de 27 pies, valor medio de los empleados en las viviendas de la época.¹⁶

- Para la mayor parte de los elementos resistentes de las armaduras (pares, nudillo, correas, pendo-lón) se recomiendan valores de entre 8 y 9 pulgadas de escuadría. Algo menor será la sección de los elementos de arriostramiento.¹⁷
- Los elementos que no han de soportar carga, como los cabios, son lógicamente los más finos (tan sólo 4 pulgadas de escuadría).
- El tirante es con diferencia la pieza más robusta (entre 15 y 19 pulgadas y siempre colocado de canto), puesto que además de resistir el empuje de las armaduras, habitualmente ha de soportar el peso del forjado.

En caso de luces distintas se utilizarán valores proporcionales a éstos. Preocupado por cuestiones resistentes, señala cómo el grueso de las piezas viene determinado tanto por su longitud como por su uso.¹⁸ En cualquier caso, es importante dar a las piezas la sección necesaria y no sobredimensionarlas.

En cuanto al dimensionado de vigas, se aconseja hacerlo en función de su longitud, utilizando una tabla experimental de escuadrías, que numerosos autores posteriores incluirán también en sus tratados,¹⁹ y se fija el valor $5/6$ como relación recomendada entre ancho y alto de las secciones.

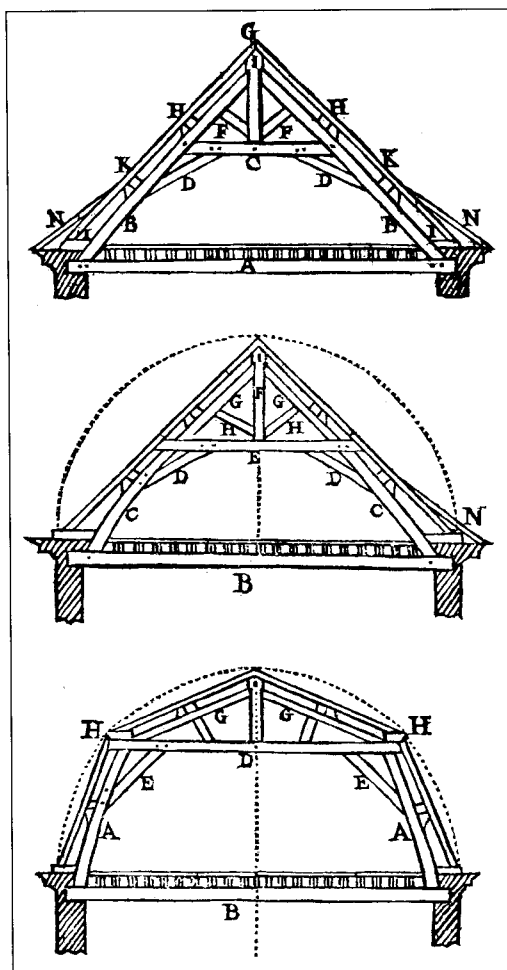


Figura 11
Armaduras de cubierta descritas por Bullet.

Resulta interesante la preocupación de Bullet por la falta de rigidez de las estructuras de madera, ya sean entramados verticales u horizontales (forjados). Tras cuestionar el empleo de la madera para construir muros, por su inferioridad (tanto estética como resistente) frente a la piedra, recomienda colocar tirantes perpendiculares a fachada para garantizar el anclaje del entramado al resto de la estructura. En el caso de los forjados, propone dos sistemas de rigidización de forjados de gran luz.²⁰

CONCLUSIÓN

Las armaduras de cubierta ocupan un lugar destacado en los tratados franceses de construcción del siglo XVII. Pese a la falta de fundamento teórico de las soluciones propuestas, basadas en la experiencia profesional de los autores, su preocupación por la aplicación práctica de los textos les lleva a incluir numerosas reglas de trazado y dimensionado. También nos permiten conocer los tipos de armaduras y las soluciones constructivas empleadas, así como su evolución a lo largo del siglo. Efectivamente, observamos una reducción progresiva de la pendiente de las cubiertas y el empleo de tipos que utilizan piezas pequeñas: frente a las armaduras de pares se recomiendan las cubiertas de cerchas con correas; y dentro de éstas, las que dividen los pares: armaduras sobre *jambes de force* y quebrantadas o «mansardas».

Vemos cómo en cualquier caso, los nuevos tipos suponen mejoras en el comportamiento estructural de las armaduras. Pero aún habrá que esperar hasta el siglo XVIII para encontrar referencias a las primeras teorías de resistencia de materiales y cálculo estructural en los tratados generales de construcción.

NOTAS

1. Philibert de L'Orme, *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz*. París: F. Morel, 1561. Precursor de los tratados de carpintería de armar, es el primer texto de este tipo conocido en Europa. Supuso la propuesta de un sistema de carpintería con carácter propio y muy alejado de los usos tradicionales del oficio. Se trata de un método de formación de arcos de gran luz a partir de tablas encamonadas, que se enclavaban por tabla contrapeando sus juntas. Se obtienen de este modo

estructuras ligeras, destinadas a la formación de cubiertas (Libro I) y techos abovedados (Libro II), que por lo general no tengan que soportar grandes cargas.

2. Diego López de Arenas, *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes, con la conclusión de la Regla de Nicolás Tartaglia y otras cosas tocantes a la ieometría y puntas del compás*. Sevilla: 1633. Ed. facsímil en Valencia: Albatros, 1982. Mathurin Jousse. *Le Theatre de l'art de Charpentier*. La Flèche, Georges Griveau, 1627.
3. Enrique Nuere ha estudiado en profundidad los tratados, las técnicas y las obras de los carpinteros de lo blanco en España. Respecto al tratado de M. Jousse, véase: A. L. Candelas Gutiérrez, «La carpintería de armar en los tratados de los siglos XVI y XVII», Actas del II Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 77-85.
4. Pierre Le Muet, *Manière de bâstir pour toutes sortes de personnes*. París, 1623. En segunda edición *...reueue et augmentée en cette seconde edition de plusieurs figures de tres beaux Bastimens et Edifices...l'invention et conduite dudit Sr. P. le Muet et autres*. París: Claude Jombert, 1647.
5. En los casi coetáneos de Savot (1624) o Mathurin Jousse (1627); en otros posteriores como el de Mathias Mesange: *Traité de charpenterie et des bois de toutes especes*. París: Ch. Ant. Jombert, 1753; o incluso en la misma Enciclopedia de Diderot y D'Alembert (1766), encontramos indicaciones y láminas prácticamente iguales a las incluidas por Le Muet.
6. Las plataformas (*platte formes o plateformes*) están constituidas por dobles soleras unidas mediante zapatas (*blochets*), con entalladura de 1-1,5 pulgadas de profundidad en forma de cola de milano. Las zapatas reciben a caja y espiga los pies de los pares principales (*maistres chevrons*), y de los postes (*jambettes*) que descargan a los pares verticalmente.
7. En todo momento se incluyen detalles constructivos, con indicación de medidas y comentarios. Las vigas penetran en el cuerpo de los muros dejando entre 4 y 5 pulgadas de separación de la cara exterior del muro. Los pies derechos deben ser lo más verticales posible, para dejar diáfano el espacio interior, siempre y cuando el material de cubierta lo permita.
8. La tabla o enlatado es el elemento que recibe el material de cubierta; suele tener 4 pies de ancho (unos 120 cm), por lo que apoyará sobre 3 cabios si éstos se separan 2 pies, o sobre 4 cabios separados 16 pulgadas.
9. Louis Savot, *L'Architecture françoise des bastimens particuliers*. París: 1624. En segunda ed.: *... Augmentée dans cette seconde Edition de plusieurs Figures, et des Notes de Monsieur Blondel del' Academie Royale des Sciences...* Chez la Veuve et C. Clouzier. París: 1685. (Edición facsímil en Ginebra: Minkoff, 1973).

10. Dora Wiebenson, *Architectural Theory and Practice from Alberti to Ledoux*. Charlottesville, 1982.
11. Se trata de un elemento de 6 pulgadas de escuadría y 12 pies de longitud (3 pies cúbicos de volumen).
12. Para casi todas ellas se recomiendan escuadrías de entre 6 y 7 pulgadas, a excepción de algunos elementos resistentes (como los pares del faldón inferior o el tirante elevado cargado, en que se aconsejan 10»x10»), o de elementos no resistentes como los cabios, lógicamente de menor sección.
13. A. C. D'Aviler. *Cours d'Architecture qui comprend les Ordres de Vignole, avec des commentaires, les figures et descriptions de ses plus beaux bâtimens*. París: Nicolas Langlois, 1691.
14. Parte de las figuras que incluye La Hire en su edición de 1702 del tratado de Mathurin Jousse, coinciden con las del tratado de D'Aviler. También Mathias Mesange (1753) copia literalmente la práctica totalidad de lo dicho por D'Aviler.
15. Pierre Bullet. *L'Architecture Pratique, qui comprend le detail du Toisé, & du Devis des Ouvrages de Massonnerie, Charpenterie, Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Vitrierie, Ardoise, Tuille, Pavé de Grais & Impression*. París, 1691.
16. Bullet establece como anchos más utilizados, los comprendidos entre 3 y 6 toesas (de 18 a 36 pies).
17. Entre 7 y 8 pulgadas para los jabalcones del nudillo, de 6 a 7 para los de los pares sobre el pendolón, y entre 5 y 7 para los de la hilera sobre el pendolón (situados en el plano perpendicular al de la armadura).
18. La posición de la pieza influye en su resistencia, que Bullet identifica con la carga de rotura. Así, según él, una pieza que tumbada (trabajando a flexión) soportaría una carga determinada, a 45º duplica este valor y en vertical (en compresión axial) lo triplica.
19. La Hire (1702); H. Gautier: *Traité des Ponts... tant en maçonnerie qu'en charpente*. Chez André Cailleau. París, 1716; M. Mesange (1753)
20. Mediante nervios transversales pasantes (entallados sobre las viguetas y reforzada la unión con clavijas de madera o con pernos metálicos).
—Mediante piezas transversales acodaladas entre las viguetas y encastradas en éstas a golpe de maza, sobre un pequeño cajeadado; debilitan menos las viguetas y permiten que el forjado quede enrasado