

Bóvedas de madera: ¿se pueden construir según describen los tratados?

Angel L. Candelas Gutiérrez

Afortunadamente han llegado hasta nosotros los textos de tres autores que, aunque ya en el siglo XVII, recogen parte de los conocimientos que poseían los carpinteros de lo blanco de la España medieval. Nos referimos, evidentemente, a los textos de López de Arenas (1619, 1632 y 1633), Fray Andrés de San Miguel (h. 1640) y Rodrigo Álvarez (mitad del XVII). Estos autores describen muchas características constructivas y formales de armaduras que generalmente se identifican con el nombre de carpintería de lazo o carpintería mudéjar.

El texto de Fray Andrés y el primer manuscrito de López de Arenas (1619) han sido magistralmente estudiados por E. Nuere (1985 y 1990). El manuscrito de Álvarez, aún inédito, queda transcrito en nuestra tesis doctoral, donde también se interpreta gran parte de su contenido.

Lo relacionado con bóvedas y cúpulas aparece en el texto de Fray Andrés y en el texto impreso de López de Arenas (1633), esto último como una nueva aportación con respecto al manuscrito de 1619, donde apenas se trata este tema, de ahí que no aparezca interpretado en el libro citado de E. Nuere (1985).

La construcción de armaduras de cinco paños, otra de las formas utilizadas para conseguir techos abovedados, esta vez facetados, aparece en los textos de los tres autores, pero sólo en el texto de Álvarez se incluyen con cierto detalle las operaciones necesarias para el replanteo y ejecución de estas armaduras.

Se presenta en esta comunicación la interpretación de las reglas que nos ha dejado López de Arenas¹

para la construcción de bóvedas y cúpulas, reglas que, como veremos, no llegan a describir en su totalidad la construcción de este tipo de armaduras, pero que tienen la virtud de resaltar aquellos aspectos más complejos, aquellos que los propios carpinteros de su época tendrían dificultad en realizar, soslayando lo comúnmente conocido, aunque hoy nos sería de gran utilidad.

Tanto Fray Andrés de San Miguel como López de Arenas describen en sus tratados dos tipos de armaduras curvas: la *media naranja* o cúpula esférica y la *media caña* o bóveda de rincón de claustro, sin embargo, el proceso constructivo que definen es sensiblemente distinto, para las construcciones de Fray Andrés es preciso remitirse al texto de E. Nuere (1990), donde quedan correctamente interpretadas.

LA MEDIA NARANJA, O CÚPULA ESFÉRICA.

Arenas comienza con la descripción de algunas construcciones geométricas necesarias para la ejecución de lo que denomina una *media naranja*, es decir una cúpula esférica, que tendrá un desarrollo algo mayor que el semicircular, siendo su sección más parecida a un arco de herradura que al arco de medio punto; al sector de esfera que sobrepasa la línea del ecuador lo denomina «bolsor».

La esfera presenta, tanto para su representación como para su ejecución, el inconveniente de que no es una superficie desarrollable, y los carpinteros de

lo blanco no optaron por la fácil vía de su asimilación a una superficie facetada de caras planas. Arenas ejemplifica el proceso con un esfera dividida en diez husos —*cascos*—, en los que conserva la doble curvatura:

Si la quisieres hazer en diez cascoss, la demostraré aquí toda enteramente,... (López de Arenas, 1633, h. 32v).

La descripción de Arenas se apoya con dos dibujos de construcciones geométricas (figuras 1 y 2) y otro de un huso de cúpula terminado y con la configuración de lazo (figura 4). Arenas se centra en la descripción de tres cuestiones: la obtención del perfil de los camones adyacentes a los meridianos, la definición de su longitud, y por último, el desarrollo de la esfera. Como punto de partida define el *bolsor* —peralte de la semiesfera— para el que adopta una longitud equivalente a un sexto del diámetro:

Sea la quadra y buelta redóda de su estribo A.B.C.D., haz su anchura seis partes la línea que la corta por el cétro, y della baxate con una sexta parte, como lo dize E.F., y pon el punto del compas en el centro del quadrado, y punto G. y describe alrededor una parte del circulo, enpeçando en el punto E. y acabando en el punto F. acrecientale agora los peraltes en esta parte del circulo, y quedaran inclusos los dos camones,... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

La no coincidencia de los camones con el plano medio de la esfera obliga, para una perfecta apariencia de continuidad en el grosor de la cara vista y para el paralelismo de sus caras verticales, a efectuar una corrección geométrica conocida como «campaneos».

... y en la planta sacaràs los campaneos que tiene cada camón, dandoselos por la orden que se da a la campana de la lima de la media caña... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Arenas avisa aquí la necesidad del *campaneos*, aunque no lo describe, más adelante veremos el proceso con el que se efectúa este trazado en la *media caña*.

La siguiente preocupación de Arenas es conocer la longitud de los maderos que deberá utilizar para los camones. Se asiste aquí a una curiosa contradicción en los razonamientos de López de Arenas. Como veremos, obtiene la longitud del camón utilizando una relación numérica, sin apoyatura científica alguna, sólo válida para el *bolsor* previamente definido (1/6

del diámetro). Sin embargo, a Arenas, poseedor de una importante cultura, le debe repugnar tal vaguedad, que le habrá llegado por tradición oral, y quiere demostrar que sabe obtener con precisión y fundamento la longitud de una circunferencia —aplicando una aproximación atribuida a Arquímedes—, aunque luego no la utilice. En efecto, Arenas comienza exponiendo la regla de Arquímedes, que es una buena aproximación al número ($22/7 = 3,1428$):

... conformandonos con la proposicion 32 del libro primero de Arquimedes, que todo diametro hecho en siete partes se avrá con su circunferencia como siete con veinte y dos, segun esto el casco ha de tener onze tamaños, que es la mitad:... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Sin embargo, de una forma un tanto subrepticia, obtiene la longitud del par curvo declarando que está aplicando la regla de Arquímedes, pero apartándose radicalmente de tal definición:

«...: tira en la planta la línea K.L. que passe por el tocamiento del diametro, y circulo en el punto H. divide la dicha línea K.L. en onze partes, que es la mitad de la buelta, y este será el largo de cada uno de los diez cascoss de la dicha media narája» (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Para comprender el trazado hay que trasladarse a la página siguiente del texto impreso, allí aclara la posición de la línea K.L.:

Estas otra demostración de la buelta redonda, H.Y. demuestra su anchura, y línea que corta su centro: y la línea M.L. es la que demuestra (estando una sexta parte distante de la del centro) el largo del casco, que es la línea K.L. (López de Arenas, 1633, h. 33)

En definitiva, Arenas obtiene la longitud del camón simplemente trazando la línea KL, definida por la prolongación de la línea KH hasta que corta una paralela al diámetro a la altura del bolsor (ver figura 1). La división en once partes de esta línea, que el propio Arenas refleja en el dibujo, no se utiliza para nada ni tiene objeto alguno. Se debe interpretar que es un artificio de Arenas para simular la aplicación de la regla de Arquímedes.

Lo más sorprendente es la gran precisión del procedimiento. Hemos comprobado que, para la longitud del bolsor utilizada por Arenas (1/6 del diámetro)

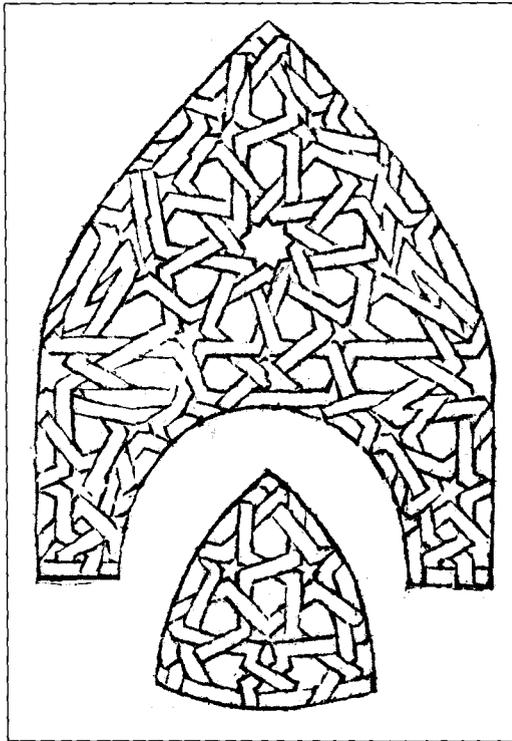


Figura 1

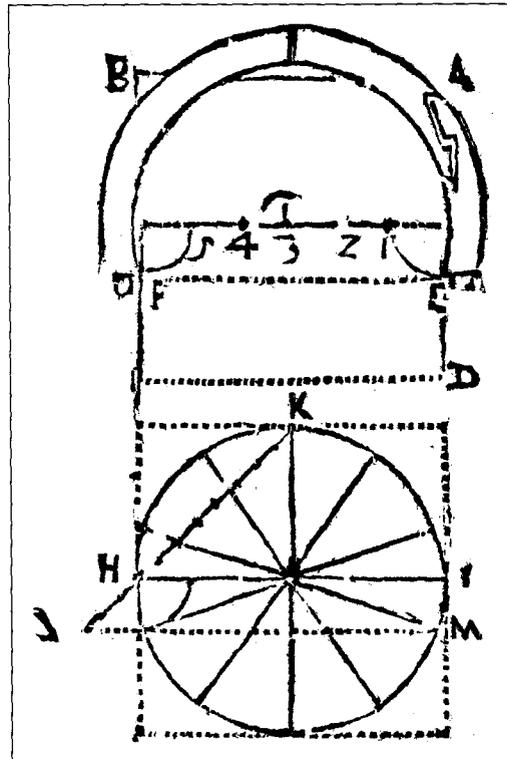


Figura 2

la diferencia entre la longitud real y la obtenida es mínima (el error es del 5 %). Ante esto, no nos queda otra opción que pensar en un intento de Arenas de camuflar algo que realmente sirve para su fin bajo un halo de cierto fundamento científico que realmente no existe. De hecho, la utilización de este procedimiento con longitudes de bolsor levemente diferentes provoca errores de consideración.

En la hoja 34 encontramos un nuevo dibujo (figura 2), que representa el desarrollo de la cúpula en diez sectores, las dimensiones de este dibujo no dejan lugar a dudas sobre su relación con los anteriores de la hoja 33v (figura 1). Efectivamente, la línea KL tiene la misma longitud que la línea dividida en once partes que aparece en el centro de la figura y que representa la longitud, en verdadera magnitud, del sector. Asimismo, la longitud de la línea NO, que representa el perímetro desarrollado del círculo máximo de la esfera, corresponde a un diámetro similar al representado en la anterior figura.

La construcción de este dibujo se contiene en el siguiente párrafo:

Toma en diez partes la buelta redonda estendida en línea recta, y dalos en la línea recta N.O. de la segunda demostració, que será el asiento de los diez cascos propuestos con sus bolsores; da otras líneas rectas paralelas que serán P.Q.R.S. al largo de la línea K.L., y corta estas tres líneas en ángulos rectos dados al ancho de los diez cascos, y las líneas de los extremos que son P.Q.R.S., partiras por mitad los paralelos de los cascos con una línea de puntos secretos; los cuales diez puntos serán las diez puntas de los diez cascos; y luego tira por infinito la línea N.O. al ancho de los diez cascos, que vayas buscando los cétros de las porciones de círculos que demuestra los cascos como aqui se demuestra... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

La interpretación del párrafo anterior y su correspondiente dibujo la efectúo en la figura 3, aunque

creo necesario incluir algunas aclaraciones adicionales. Los primeros pasos sirven para replantear el mbito de cada sector de esfera, sector que tendrá una base igual a la décima parte del perímetro y una altura —la línea K.L.— que se obtuvo con el extraño

procedimiento antes descrito. La expresión «tira por infinito la línea N.O. al ancho de los diez cascos», significa prolongar la recta NO una longitud equivalente al perímetro del círculo, prolongación que se hace necesaria, pues en ella estarán los centros de los

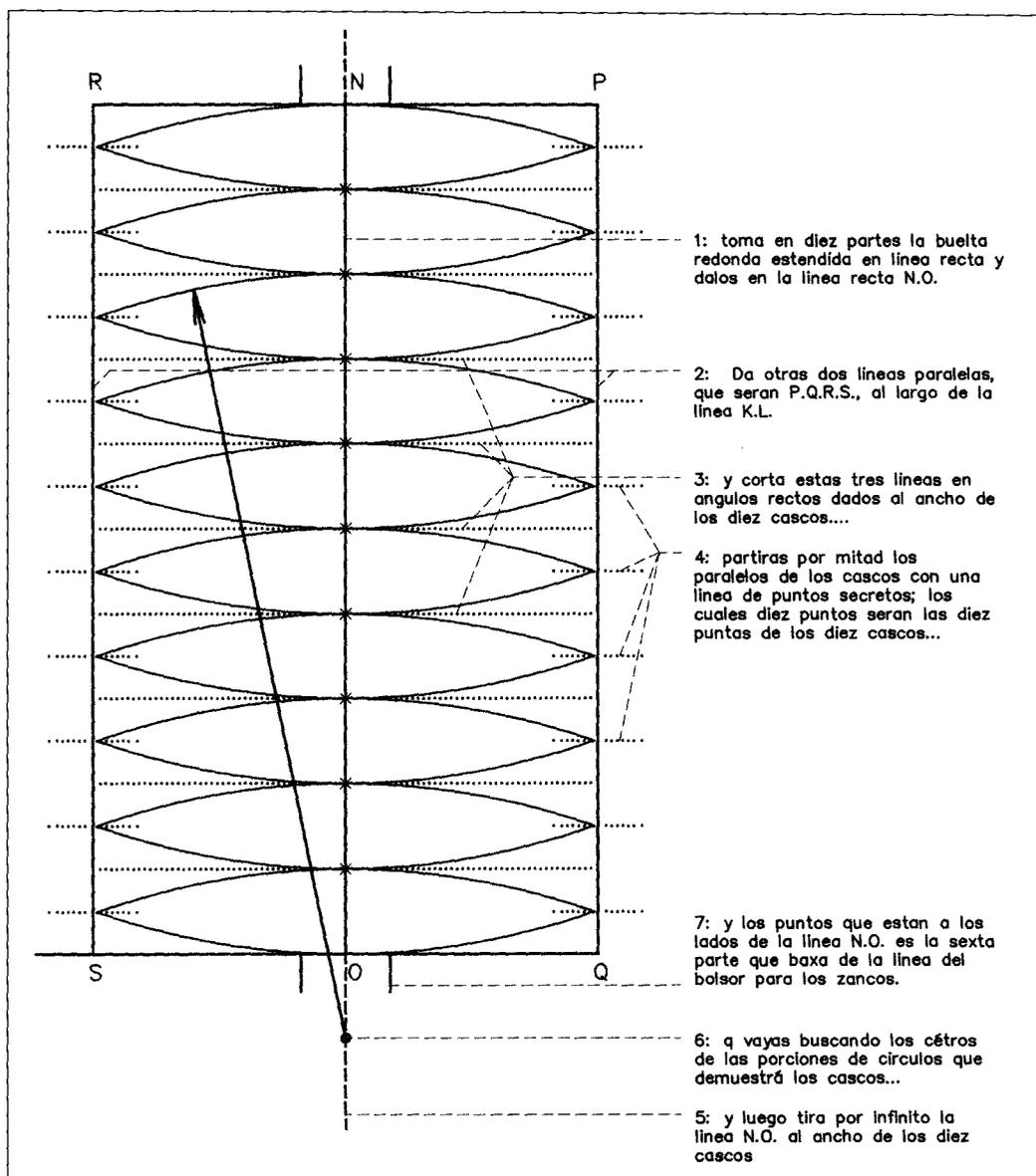


Figura 3

arcos que delimitarán los sectores. Por último, Arenas asume que el contorno de cada sector queda definido por un arco circular, situación no exacta pero perfectamente asumible,² no indica cómo, pero anima a buscar en esta recta los centros de los citados arcos.

Para completar el trazado de Arenas, hay que trasladarse a la hoja 33v, pues allí, como comentario a la figura de la hoja 34 (figura 2), indica el significado de un par de líneas cortas situadas adyacentes a los puntos N y O, estas líneas representan el ecuador de la esfera, el espacio entre ellas y la línea N.O. es el «bolsor». Arenas se ha permitido la licencia de considerar el ancho máximo del sector en la parte final del casco, y no en la línea del ecuador, como debería ser en realidad. Esta aproximación no influye en absoluto en el trabajo de carpintería, al ser insignificante el error; a modo de ejemplo, en la cúpula del salón de embajadores del Alcázar de Sevilla, la diferencia entre la longitud de la cinta inferior y la longitud del ecuador es, en cada huso, inferior a 1 cm.

..., y los puntos que estan a los lados de la línea N.O. es la sexta parte que baxa de la línea del bolsor para los zancos. (López de Arenas, 1633, h. 33v)

Como terminación de su descripción de cúpulas esféricas aborda dos temas, por una parte una escueta referencia a los empalmes de los maderos y, por otra parte, un ejemplo de sector de esfera relleno de lazo, también señala algo relativo a proceso de trabajo: la ejecución a escala 1:1 de las plantillas de los camones:

Y en quanto a los empalmes de los camones, se hara conforme se demuestra en los dos camones de la primera demostracion, traçando primero en un suelo llano, y a proposito, los dichos camones; y en la misma traça dellos se iran sacando sus plantillas con su diente, como parece en la demostracion; porque no avrá madera que alcance a dar todo el camon con la buelta que ha de menester. (López de Arenas, 1633, h. 33v).

En la primera figura (figura 1) incorpora tres detalles que tienen su importancia; por una parte se observa claramente³ una espiga en la parte inferior del camón, que sustituye a la formación de patilla y barbilla, y que servirá para la unión del par curvo —camón— con el estribo; por otra parte aparecen dos uniones sabiamente colocadas, una unión a tope en la

clave, y una unión en rayo de Júpiter en un punto intermedio del arco.

Arenas cierra el tema representando un sector relleno de lazo de una cúpula dividida en seis partes. La composición resultante es una estrella de seis puntas en la clave y semiestrellas de ocho puntas en la unión entre cascos (figura 4):

..., pondremos tábien un casco de una media naranja, vestido y cuaxado de su lazo, que será uno de seis, que llevará una media naranja, que desde la A. la cercha de abaxo es su largo del casco. Y A.C. es una de las seis partes que ha de ocupar en la buelta redonda de su

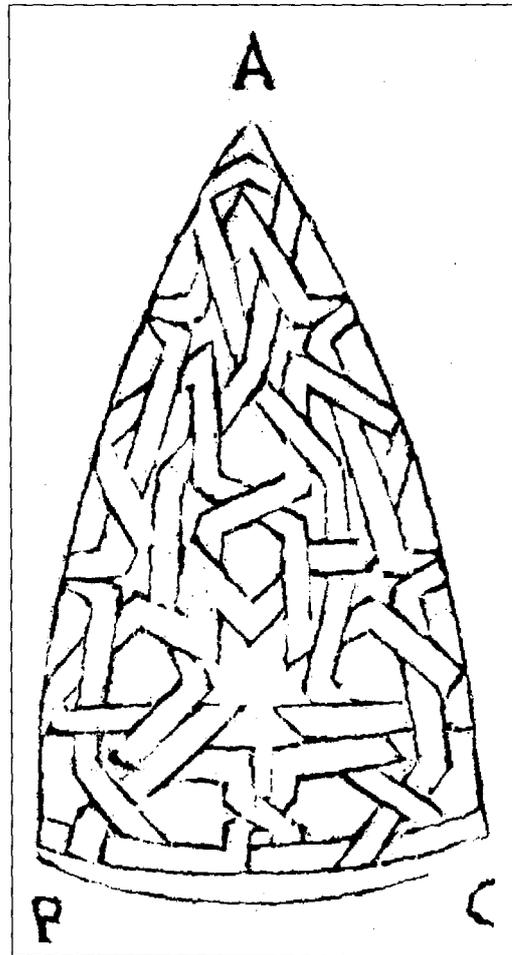


Figura 4

estrivo, la cual demostración para obralla sacaras sus baibeles por el orden y modo que en la de los diez cascos: y en quanto al lazo, se metera conforme la muestra lo dispone, como adelante se demuestra. (López de Arenas, 1633, h. 33).

LA MEDIA CAÑA, O BÓVEDA DE RINCÓN DE CLAUSTRO

A las cúpulas habitualmente conocidas como «bóvedas de rincón de claustro», las llama Arenas «media caña», y a ellas dedica la segunda parte de su incursión en el campo de las superficies abovedadas en madera.

Una bóveda de rincón de claustro, en la carpintería de armar, se puede entender como una armadura de cuatro vertientes, de base cuadrada, en la que los faldones tienen curvatura cilíndrica en lugar de ser planos, los maderos situados según las diagonales del cuadrado se denominan en ambos casos limas; los maderos que acometen perpendicularmente a los lados son los pares en armaduras planas y los camones en las abovedadas.

Arenas comienza con una breve introducción a lo que va a desarrollar, donde señala la existencia de varios métodos para obtener la forma elíptica —escarzana— de las limas:

Muchos maestros pasan por alto el saber mótear un arco, el qual es de importácia a los Maestros albañires, y a los Maestros carpinteros para muchas ocasiones; y una dellas para la lima, y campana de la media caña; por que levanta poco, siendo escasana, por el testero y gualdera, menos armará las limas, por ser las tiráteces mas largas q armá media calle mas adentro que el rincón, que es la misma diagonal, para que quede su calle de limas: y aunque es verdad que monteada por sus pesos, y plomos, y desse modo se montean, me parece bien montealla por el arco del hilo, sabiendola bien; porque las tirateces son desiguales, y an de clavar a un peso, y en un punto; camones y limas tienen sus centros algo oscuros. (López de Arenas, 1633, h. 34v y 35)

Como se lee, nombra dos procedimientos: «por sus pesos y plomos», que no describe, pero que conocemos gracias a la descripción de Fray Andrés de San Miguel, interpretada por Nuere (1990: 298-301) y «por el arco del hilo», haciendo referencia con esta expresión a una de las formas más comunes de trazar una elipse conocidos sus ejes, procedimiento que

describe con detalle, y que no reproduzco por la limitación de espacio de esta comunicación.

La obtención de los camones no presenta dificultad alguna, basta con cortarlos —o curvarlos—, con un radio igual al semiancho de la estancia, de ahí que Arenas preste escasa atención a estos elementos.

La dificultad se presenta en la definición de las limas, y a ello dedica Arenas la mayor parte de su texto. La complicación deviene de la conjunción de un problema estructural —las limas deben recibir las cargas de los camones— con un problema formal —la configuración del lazo impone a la lima un ancho constante en la cara inferior y además las caras interiores entre limas adyacentes deben ser verticales—, las limas deben tener lo que Arenas denomina «campaneó».

Antes de adentrarme en la interpretación del texto, creo conveniente explicar qué es la «campana» y de dónde proviene su necesidad. En una armadura de paños rectos de dos o más vertientes, para ejecutar la arista que se forma entre dos vertientes consecutivas se pueden utilizar dos disposiciones: materializar la arista con un madero, —que toma el nombre de lima bordón—, o utilizar dos maderos, situados cada uno en su paño, que siguen la directriz marcada por la arista, las dos limas que así aparecen toman el nombre de limas moamares, siendo un rasgo característico de la carpintería de armar española.

Las geometría de la sección de las limas moamares, en armaduras rectas, queda definida por cuatro estrictas condiciones: en primer lugar, la cara inferior debe tener el mismo ancho —para contribuir a la configuración del lazo— y quedar en el mismo plano que el resto de las caras inferiores de los pares del mismo paño; en segundo lugar, la cara superior debe ser también coplanaria con la del resto de los pares —para no provocar resaltos en la cobertura—; en tercer lugar, la cara lateral adyacente a los pares debe ser perpendicular al plano del paño; en cuarto lugar, y debido a la gran sutileza y grado de perfección a la que llegaron los carpinteros de lo blanco buscando un correcto efecto visual, las caras laterales adyacentes de dos limas moamares deben ser paralelas y, condicionado por la simetría, verticales. Estas condiciones provocan que, en armaduras de paños rectos, las limas tengan sección trapezoidal, a esta sección se le denomina «campana». Esto es lo que se consigue, con absoluta perfección geométrica, siguiendo el proceso que nos describen tanto Arenas como San

Miguel o Rodrigo Álvarez para armaduras de faldones planos.

El problema a solucionar en las armaduras de pares curvos es el mismo que se produce en las armaduras de pares rectos, pero la solución es mucho más compleja, pues hay que sumar el efecto de la curvatura de las limas. Arenas lo plantea así:

... y esto sera desde la barbilla hasta los copetes, en los quales no tienen las limas campana alguna; y por abaxo tienen de campana todo lo que tiende la cola del cuadrado por el grueso de su madera, y esto es por la patilla; y para dar la campana a las limas, que por una se entenderan las demas, dandole a las quatro la campana diferete que a las otras, porque han de ser quatro derechas, y quatro izquierdas, que para dalle la campana, como dicho es, haràs assi. (López de Arenas, 1633, h.35v).

El problema queda correctamente enunciado: se trata de buscar las superficies que unen la sección rectangular de la lima en la clave y la sección trapezoidal que se produce en el estribo. La sección rectangular en la clave es evidente, para comprender la sección trapezoidal puede ser preciso hacer alguna aclaración, que además ayuda a comprender el efecto óptico que se persigue con el campaneó. La cara interior de la lima se utiliza, conjuntamente con la de los camones, para formar el lazo, ello obliga a que esta cara conserve un ancho constante y a que quede incluida en la superficie cilíndrica. Así, en el arranque la superficie de esta cara debe ser vertical pero, al mismo tiempo, la directriz de la lima debe formar un ángulo de 45° con respecto a los camones; por otra parte, se quiere provocar el paralelismo de la cara lateral externa con la simétrica de la lima adyacente y simultáneamente se quiere que la cara lateral interior —la que queda junto a los camones— sea normal a estos en su punto de encuentro. Estas condiciones definen la sección trapezoidal en la base y la curva a describir, y da como resultado una cara plana y tres caras alabeadas.

Como inciso, resulta interesante comparar estas sutilezas geométricas con la construcción de las bóvedas nervadas coetáneas de las aquí descritas. En éstas, los nervios conservan su sección completa, rectangular en general. Los canteros, al no tener que utilizar los nervios como soporte de la lacería, no se ven obligados a modificación alguna, y los nervios pueden salir de la superficie de muro, generalmente

mediante pequeñas ménsulas, girados con respecto al plano del muro soporte

La solución del problema comienza con la descripción del grueso con el que se debe cortar la lima, y que después será objeto de rebaje en una de sus caras para ajustarse a la sección correcta en cada punto:

Quando le dieres el grueso a las limas, se lo daras imaginando aquella cola de quadrado añadido al mismo grueso, suponiendo, que ha de estar ya ajustada con sus dientes, y como ha de estar, por la parte de abaxo despues de desalabeada, y acepillada por la tabla de adentro,... (López de Arenas, 1633, h.35v).

En la primera parte del párrafo se contiene la descripción exacta del grueso que debe tener el madero que se usará para la lima, que obviamente viene obligado por la máxima sección que ésta puede alcanzar, sección que se produce en el encuentro con el estribo, allí la lima tendrá la sección trapezoidal que vemos en la figura 5, el madero preciso para construir la lima tendrá por tanto el alto de los pares y como grueso la mínima sección rectangular que englobe a aquella trapezoidal.

Es preciso hacer notar que esta forma de escuadrar la lima está en estrecha relación con las reglas dadas también por Arenas para obtener el alto de los pares en función de su grueso, de modo que si el alto de los pares no guardara estrictamente esta relación, la sección que obtendríamos para la lima sería inservible.

En el párrafo anteriormente citado se contienen unos comentarios que pueden dar lugar a dos interpretaciones distintas, ambas relacionadas con el proceso de trabajo a llevar a cabo en el tallado de este elemento. La duda reside en si una vez obtenido el madero con el grueso apropiado éste se curvaba o si bien se cortaba con el perfil elíptico para, en ambos casos, posteriormente tallar el descuadre de la campana. Las palabras de Arenas son en este punto confusas, su lectura más directa parece indicar que el madero se curvaría previamente —*ya ajustada con sus dientes, y como ha de estar*—. La siguiente palabra —*desalabeada*—, puede hacer referencia a eliminar las deformaciones que se producen en un proceso de curvado, ciertamente no tendría sentido eliminar la curvatura, tras el engorroso proceso de curvado. No obstante, en el párrafo que a continuación reproducimos, parece indicarse que el procedimiento sería cortar los maderos en forma curva:

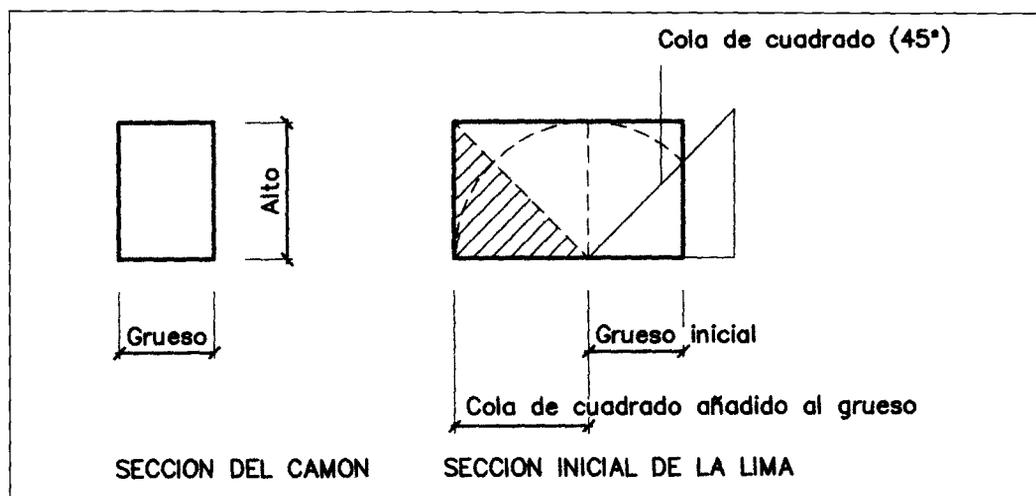


Figura 5

En estas monteas se sacaran las plantillas, las de la lima para la lima; y las de los camones para los camones; y sacado el grueso de la madera por las muestra, se le dara su grueso, sacando de la madera que mas buelta tuviere, la parte que señalare la plantilla con su medio diente, como queda demostrado. Y hecho esto con mucho cuidado, se rodeara con una sierra, y se ajustarán los dientes de sus piezas conforme a la montea. (López de Arenas, 1633, h.35v).

La formación de la campana la describe Arenas meticulosamente en el siguiente párrafo:

...antes de clavar el taujel, como queda dicho, la sacaras con un traço al grueso que pide su muestra, y por arriba harás lo que se sigue. Repartela desde la patilla al copete en diez y seis, o veinte tamaños, los que te pareciere, y mientras mas, es mejor. Y supongo la hiziste veinte tamaños desde la patilla al copete en cada uno de los puntos de los diez y nueve tamaños que causan los veinte puntos, passaras con un cartabon los traços de quadrado en cada punto, y esto en la parte alta. Toma agora solamente lo que tiene de campana por la patilla, que fue la cola del quadrado, por su grueso, y hazla diez y nueve partes: echa agora un traço de quadrado, y dexa esto assi; toma el marco con que señalaste el grueso de la lima por debaxo, y señala-le su grueso por arriba; y por que hiziste veinte tamaños todo el largo de la lima, toma en un compas uno de los diez y nueve que avrás hecho aquella cola de quadrado por el grueso, y empeçando por el copete donde

estuviere el primer traço de quadrado, demas de su grueso, le añadiras uno; y en el segundo punto en el traço quadrado le daras dos, en el tercer punto tres, y en el quarto quatro: y deste modo iras creciendo por todos los traços de quadrado hasta llegar al traço antes de la patilla con diez y ocho tamaños, para que por la misma patilla tenga los diez y nueve que avemos dicho: toma aora un hilo de almagra, y desde el copete al primer punto lo señalaras con el hilo, y del primer punto al segundo señalarás con el hilo, y del segundo al tercero, y del tercero al quarto, y deste modo irás multiplicando, y te quedará señalada la campana que pide la dicha lima: toma ahora una sierra, y asierra esta campana, guardando el traço por la parte de abaxo, y por arriba el del hilo de almagra, y acepillandola por la parte de la tabla, le clavaras el taujel por debaxo, como queda dicho, y le meteras el laço conforme a la muestra:... (López de Arenas, 1633, h.36).

Hemos intentado construir una lima siguiendo el procedimiento descrito por Arenas, partiendo de un madero cortado con la curvatura elíptica correspondiente y los resultados han sido infructuosos, nos atrevemos a decir que es imposible. Ahora bien, en el conjunto de los tratados sobre carpintería no aparece una sola construcción imposible de llevar a cabo,⁴ lo que nos lleva a confiar en la descripción de Arenas—similar por otra parte a la que expone Fray Andrés de San Miguel— y buscar la posibilidad de su fabricación.

Tras desechar otras posibilidades hemos llegado al convencimiento de que la única forma posible es partir de un madero rectilíneo y provocarle un curvado para adaptarlo a la superficie cilíndrica de directriz elíptica y simultáneamente aplicarle una torsión variable entre 0° en su comienzo y 45° en la clave.

Este proceso, evidentemente complejo, se puede llevar a cabo de dos formas distintas: girando y torsionando el madero de sección trapezoidal —utilizando como molde de ajuste una pared elíptica de suficiente resistencia, a la que se deberá ajustar la cara interior vista—, para posteriormente tallar la campana; o bien provocar en el madero recto la sección variable descrita, para después darle el giro y la torsión necesaria.

Ambos procesos son posibles, pero el último nos parece de más fácil ejecución y es el que se detalla a continuación.

En la figura 6 se resume el proceso de formación de campana en un madero recto, siguiendo los pasos descritos en el tratado. El madero que obtenemos tiene una sección variable, rectangular en lo que correspondería a la clave y trapezoidal en el estribo, tres de

sus caras son planas y la cuarta es alabeada. La lima que necesitamos debería tener las secciones descritas pero solamente una de sus caras debe ser plana, precisamente la que ahora tenemos alabeada. Pero esto, en lugar de ser un problema facilita la consecución de la forma definitiva de la lima.

Según esta hipótesis, el carpintero comenzaría trazando en el suelo de trabajo la elipse que habrá de tomar la lima, con el proceso antes indicado escuadraría un madero y tallaría con su forma alabeada la cara correspondiente de la lima. Tras ello fijaría rígidamente un extremo, apoyando en el suelo la cara donde se talló la campana, el carpintero iría ajustando una arista de la lima a la elipse trazada, forzando simultáneamente a que la cara de la campana vaya ajustándose al suelo, transformando la superficie alabeada en plana. Al ir curvando la pieza de esta manera, las diferentes secciones transversales van girando —el resto de las caras pasan a ser alabeadas—, pero la forma de cada sección no se pierde —los ángulos entre las caras se conservan—. Con ello, la que posteriormente será la cara interior, la cara vista, irá pasando de la inclinación a 45° que tiene en el inicio

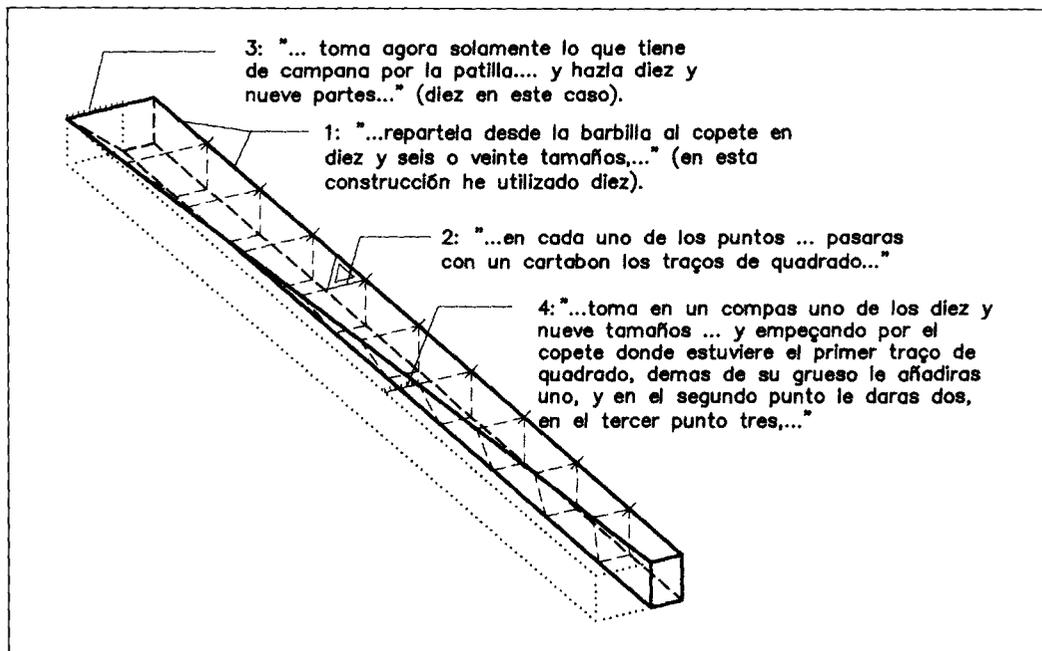


Figura 6

a los 90° de la clave, lo que permite además colocar rodillos de ajuste verticales en la clave que facilitan el curvado (ver figura 7).

Para comprender el proceso el lector puede hacer un pequeño ejercicio; si toma un listón y lo intenta curvar observará que es mucho más fácil curvarlo si apoya una de las caras que si apoya solamente una arista.

Cualquier procedimiento que tome como punto de partida formar la campana de la lima en una pieza cortada en forma curva, se encontrará con la enorme dificultad de que además de ir reduciendo la sección necesitará tallar cada una de las caras para alcanzar la forma alabeada precisa. Si así fuera, la descripción de Arenas sería sumamente incompleta, e incluso hoy, con procedimientos automatizados de corte y tallado, su construcción presentaría serias dificultades.

El curvado de los maderos es ciertamente una operación difícil, aunque no descartable. De hecho, y aunque referidos a elementos de menor grueso, se conocen procedimientos antiguos para ayudar al cur-

vado, utilizados en la carpintería de ribera o en la tonelería, uno de ellos es introducir la madera muy húmeda en arena caliente. Se considera (cfr. Stevens, 1973) que el límite del radio de curvado está entre 50 a 13 veces el espesor, en función de la especie y la utilización o no de procedimientos de calentamiento o vaporizado. Como ejemplo, una armadura de siete metros de ancho podría usar maderos con un grueso —canto— de unos 15 cm, lo que da una relación radio-grueso de 25, perfectamente asumible.

La forma definitiva de las limas en este tipo de armaduras queda reflejada en la figura 8.

Arenas termina su tratado con una figura (figura 9) que puede ser la construcción más compleja de todas las contenidas en su tratado, se trata de una bóveda de rincón de claustro a la que se añaden cuatro capillas de cuarto de esfera, él la presenta así:

Y para facilitar más lo dicho, pondre aquí esta muestra de media caña del lazo de nueve, y doze, có sus quar-

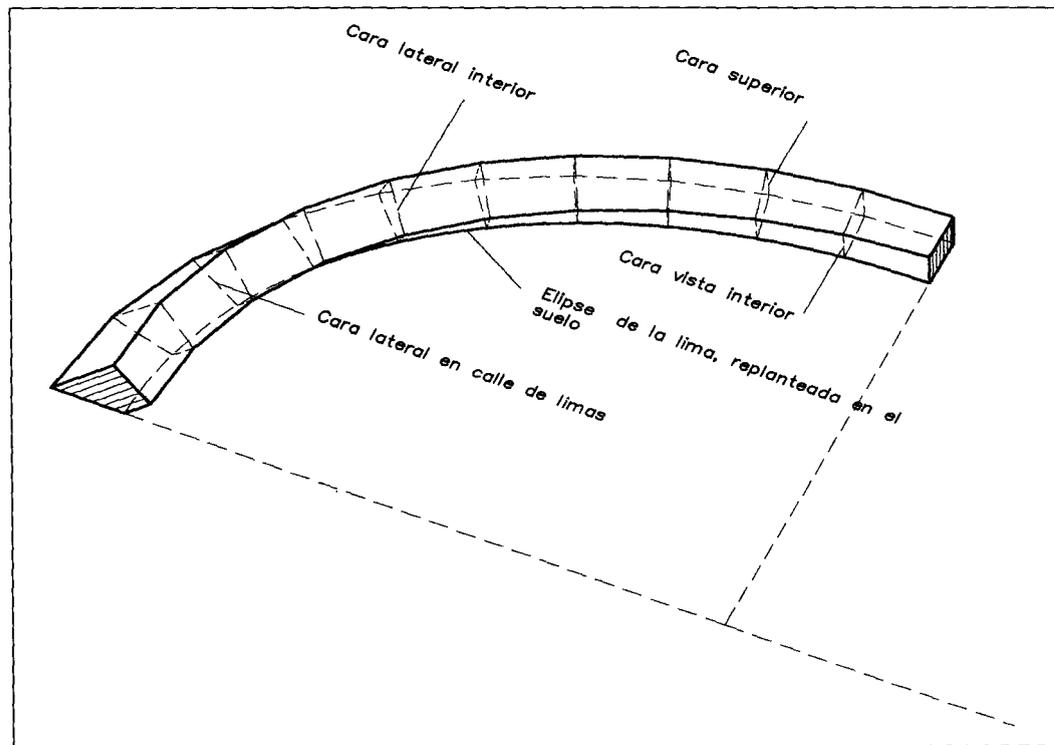


Figura 7

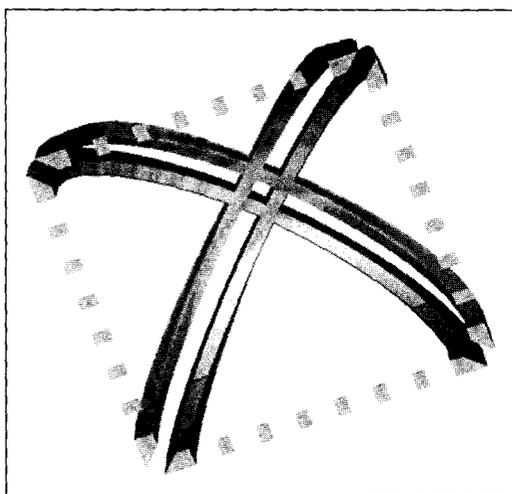


Figura 8

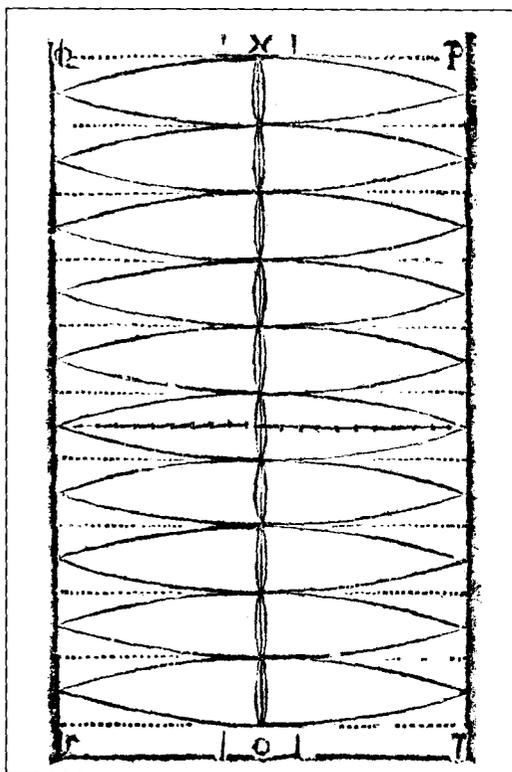


Figura 9

tos de media naranja por pechinas, y estas tales armaduras se les suele echar algo mas altas otras armaduras toscas, que reciban la carga del tejado.» (López de Arenas, 1633, h.36).

Del dibujo en sí es de destacar la perfección geométrica con la que está trazado, lo que se puede comprobar midiendo en la propia figura su ancho y la línea que une el vértice con el eje de las estrellas inferiores, su relación es 0.78, equivalente a $\sqrt{4}$, que manifiesta el desarrollo circular de la figura. Lo que Arenas llama pechinas son lo que podemos llamar más adecuadamente pequeñas capillas laterales, que se ajustan a la forma circular contenida en la muestra. El huso que aparece en la parte inferior de la figura corresponde a la mitad de esta pequeña capilla.

En las figuras 10 y 11 podemos ver la armadura que se construiría con esta muestra, para ello, y como comprobación de la exactitud del dibujo de Arenas, nos hemos limitado a incorporar sobre una bóveda las plantillas aportadas en el libro impreso.

GLOSARIO DE TÉRMINOS ESPECÍFICOS PARA ARMADURAS DE PARES CURVOS

- Baibeles:* camones centrales en cúpulas esféricas.
Bolsor: sector de una cúpula entre su comienzo y la línea del ecuador.
Camón: nombre que toman los pares en armaduras curvas.

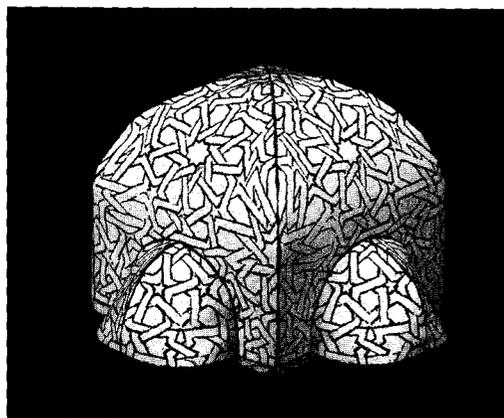


Figura 10

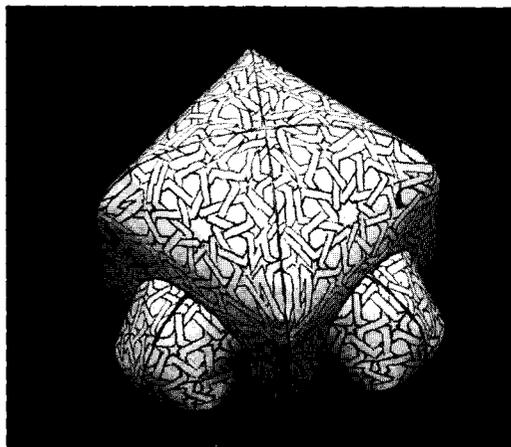


Figura 11

- Casco: sector de una esfera comprendido entre dos meridianos: huso, gajo.
 Media naranja: cúpula esférica.
 Media caña: Bóveda de rincón de claustro.
 Medio diente: unión en prolongación de maderos, en rayo de Júpiter.
 Vuelta redonda: círculo.

NOTAS

1. La construcción de armaduras con superficie curva sólo aparece en el texto impreso de 1633 y en el manuscrito de 1632, pero no en su primer manuscrito (1619). La descripción de cúpulas esféricas y bóvedas de rincón de claustro ocupa las hojas 32 a 37 del texto de 1633.
2. Se debe tener en cuenta que se está efectuando una aproximación al representar como plano cada huso. En realidad la línea media de cada huso debe tener la misma longitud que las líneas curvas del contorno. Esta circunstancia, cuando se introduce el lazo provoca serias complicaciones. En la investigación que estamos llevando a cabo actualmente sobre la cúpula del Salón de embajadores del Alcázar hemos comprobado que, para li-

mitar esta distorsión, cada huso se divide además en varios sectores transversales (según los paralelos).

3. En el manuscrito de 1632 aparecen dibujos idénticos a los del libro impreso, pero por estar trazados aquellos directamente sobre el papel se pueden apreciar con mayor claridad estos y otros detalles.
4. Se produce el caso inverso, existen construcciones posibles que Arenas no consigue describir con exactitud —armaduras de cinco paños—, o que considera imposible construir —las armaduras que tienen como albanecar el cartabón cuadrado—

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R.: *Breve compendio de la carpintería y tratado de lo blanco, con algunas cosas tocantes a la iometría y puntas del compás*. Salamanca, 16??, manuscrito nº 557 de la biblioteca de la fundación Lázaro Galdeano de Madrid.
- López de arenas, D.: *Primera y segunda parte de las reglas de carpintería, fecho por Diego López de Arenas en este año de MDCXVIII.*. Edición facsímil del primer manuscrito, Madrid, 1966, Instituto de Valencia de Don Juan.
- LÓPEZ DE ARENAS, D.: *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes...., y otras cosas tocantes a la ieometria y puntas del compas*. Manuscrito de 1632 conservado en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid.
- López de Arenas, Diego.: *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes...., y otras cosas tocantes a la ieometria y puntas del compas*. Edición facsímil de la primera edición de Sevilla de 1633 de Luis Estupiñán. Valencia, 1982, Albatros.
- Nuere Matauco, E.: *La carpintería de lo blanco. Lectura dibujada del primer manuscrito de López de Arenas*. Madrid, 1985, Ministerio de Cultura.
- Nuere Matauco, E.: *La carpintería de lazo: lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*. Málaga, 1990, Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental.
- Segura de la Alcuña, A.de la (Fray Andrés de San Miguel): *Manuscrito sin título*, (h. 1640), conservado en la Universidad de Texas, facsímil en Nuere (1990).
- Stevens, W.C., Turner, N.: *Manual del curvado de la madera*. Madrid, 1973, AITIM.