ESTRUCTURAS ABOVEDADAS DE QUINCHA EN EL VIRREINATO DEL PERÚ

Pedro Hurtado Valdez
Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú
ICOMOS Perú
alarife68@yahoo.it

Palabras clave: patrimonio-quincha-bóvedas

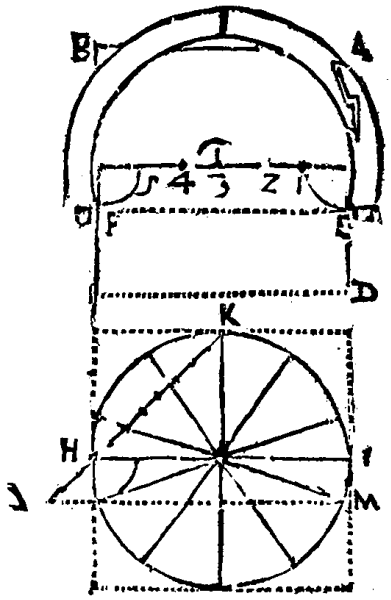
Resumen
Los españoles llegados a Perú comenzaron a levantar tempranamente bóvedas y cúpulas con piedra y ladrillo, según su experiencia constructiva. Estas estructuras, si bien estáticamente eran estables, poseían un comportamiento dinámico riesgoso durante los sismos, cuando por el desacomodo de sus elementos la transmisión de cargas dejaba de ser sólo a compresión apareciendo tensiones que los materiales no podían soportar provocando su colapso. En la reconstrucción de los edificios los arquitectos buscaron mejoras técnicas para garantizar la estabilidad de sus construcciones, volviendo a utilizar las bóvedas góticas de crucería sin que dieran buenos resultados.
Importante paso en el desarrollo de estructuras antisísmicas fue la realización del primer nivel de los edificios en adobe; dejando para los niveles superiores el uso de telares de caña y tierra (quincha). Como la fuerza de actuación de un sismo es proporcional al peso de la estructura, la utilización de un material más ligero y sobre todo flexible permitió edificar en altura sin menoscabar la estabilidad de los muros de base.
Quedaba aún por solucionar el problema de la cubierta de los templos, ante las nuevas necesidades espaciales que imponían la edificación de bóvedas. Sólo después del experimento de Diego Maroto en la iglesia de Santo Domingo en 1666, al adaptar el sistema de la quincha al diseño de bóvedas y su posterior mejora en el desarrollo de cúpulas para la reconstrucción de la iglesia de San Francisco por Manuel de Escobar en 1675, se dio solución a este problema.
Estas bóvedas y cúpulas fueron realizadas con armaduras formadas por piezas curvas de madera, que unidas a otras similares y desplazadas la mitad de su longitud definían los arcos, otorgando menos empujes a los muros que las iniciales bóvedas de piedra y ladrillo. Incluso este empuje venía contrarrestado con el empleo de un relleno de adobe en el cuarto inferior de las bóvedas a fin de verticalizar la fuerza resultante y crear un diafragma parcial en el sentido lateral de la estructura. Todo el conjunto con su sistema de riostras, uniones, tejido de caña y cobertura de tierra, definían una retícula curva que aseguraba la transmisión uniforme de cargas y empujes.

Antecedentes históricos

Desde los albores de la ocupación hispana del Perú en el siglo XVI, fue de uso común la piedra, el ladrillo y el adobe de acuerdo a las tradiciones constructivas españolas. Así los muros se levantaban con proporciones similares a los realizados en la península Ibérica, mientras arcos, bóvedas y cúpulas se hacían bajo las normas de cantería estipulados por los gremios de constructores. Pronto se observaría que las nuevas tierras colonizadas eran sacudidas periódicamente por sismos, produciendo el colapso de la mayoría de las edificaciones, las cuales no estaban preparadas para hacer frente a estos fenómenos. Los terremotos obligaron a replantear las proporciones, reduciendo la esbeltez de los muros al incrementar el espesor de ellos o colocar contrafuertes cuando era posible. La realidad mostró posteriormente la poca fiabilidad de estos cambios.
Durante las pruebas de ensayo y error los maestros constructores cayeron en cuenta que las viviendas de los nativos realizadas con sencillos telares de madera rolliza, caña y tierra, por su ligereza y flexibilidad resistían mejor a los terremotos. La utilización de la tierra no era ajena a los castellanos, siendo un material con presencia importante en las construcciones hispanas, mayormente en forma de tapia. Sin embargo la rusticidad de la técnica indígena motivó su inicial consideración como inadecuado para la ejecución de palacios e iglesias,

pero la yesería española remedió este inconveniente otorgando un acabado final de acuerdo a la magnificencia buscada para las obras. La incorporación de madera escuadrada y uniones de carpintería facilitaron el trabajo, contribuyendo a consolidar el sistema constructivo y dando origen a la quincha virreinal. Esta tecnología no sólo brindó seguridad a la construcción en altura en un medio sísmico sino que permitió edificar diversos tipos arquitectónicos, como palacios con sus altos miradores, cuerpos superiores de claustros de conventos y torres de iglesias.

Solucionado la forma de construir en altura aún quedaba por definir el modo de cubrir los templos, los cuales estaban condicionados por las exigencias espaciales muy dadas a la edificación de bóvedas, especialmente por las sugerencias del concilio tridentino. Para el siglo XVII ya se habían experimentado diversas posibilidades de ejecutarlas con fábrica sin haberse encontrado una respuesta razonable en términos de tiempo, economía y principalmente de seguridad frente a los sismos. Además en la constante indagación de soluciones para garantizar la estabilidad de las cubiertas se volvieron a utilizar las arcaicas bóvedas góticas de crucería[1] al asumirse podían resistir a los terremotos, sin conseguir la confirmación en la práctica del desempeño estructural deseado. Dentro de este panorama comenzaran a hacer su aparición las bóvedas de quincha a mediados del siglo XVII.



Lamina de López de Arenas, con el tipo de cercha que obtiene y una unión en rayo de Júpiter.

Los tratados sobre estructuras abovedadas ligeras

Para comprender la relevancia de la propuesta estructural de las bóvedas de quincha habrá que remitirnos a los tratados existentes en la época, indagando en ellos con ojos más de constructor que de historiador del arte, para determinar hasta que punto pudieron condicionar su presencia y desarrollo dentro del territorio sudamericano.

Los tres tratadistas fundamentales de la carpintería de lo blanco del siglo XVII español, fueron el alarife de Sevilla Diego López de Arenas, el fraile agustino Andrés de San Miguel y el maestro salmantino Rodrigo Álvarez. No obstante está registrado la influencia en el Virreinato peruano sólo del primero, quedando el resto aún en una etapa oscura, a pesar de la presencia de San Miguel en México. Así lo demuestra el inventario realizado a la

biblioteca de uno de los más importantes alarifes de Lima, el maestro Santiago Rosales (1681-1759)[2].

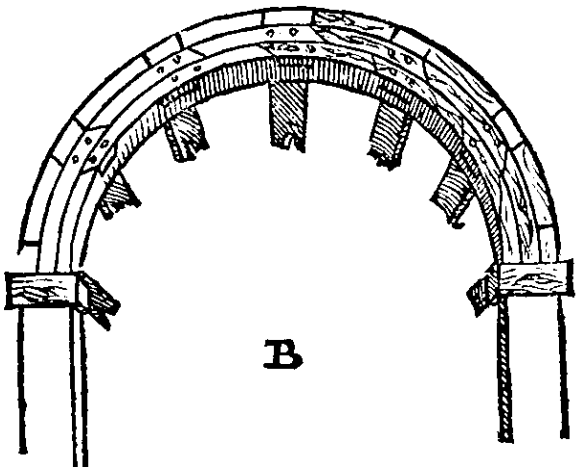
López de Arenas refiere la ejecución de una media naranja en madera en los siguientes términos: "*Si la quisieres hazer en diez cascos, la demostraré aquí toda enteramente, por la mucha similitud que tiene con la esfera, sea la quadra y buelta redonda de su estribo A.B.C.D. haz su anchura seis partes la linea que la corta por el centro y de ella básate con una sexta parte, como lo dize E.F. y pon el punto del compas en el centro del quadrado, y punto G. y descrive alrededor una parte de circulo, empeçando en el punto E. y acabando en el punto F. acrecientale agora los peraltes en esta parte del circulo, y quedarán inclusos los dos camones, y en la planta sacarás los campaneos que tiene cada camon, dándoselos por la orden que se da a la campana de la lima de la media caña*"[3]. Son de extrañar la descripción y el dibujo que adjunta, por no corresponder en ningún caso al sistema constructivo encontrado en las iglesias virreinales peruanas o en sus equivalentes españolas. Incluso la formación de las juntas de la armadura con un rayo de Júpiter muestra un aparente desconocimiento de la técnica real, al obligar a formar el arco solo con dos piezas, con lo que dificultaba encontrar maderos de grandes longitudes que además pudiesen curvarse. Igualmente la mención del campaneo de las "medias cañas" aplicadas a las cerchas que forman los arcos de la bóveda resulta una complicada labor sin justificación aparente, solo acostumbradas a hacerlas en las armaduras con limas moamares, para acompañar la curvatura y el paralelismo de los maderos de las esquinas[4].

Ciertamente el tratado de Serlio era conocido en la esfera del virreinato del Perú y aunque en una de sus láminas muestra el dibujo de una bóveda ejecutada con arcos de madera, no define la unión de los camones (piezas cortas y curvas de madera) para la formación de la cercha. Además no se realiza con camón y contracamón por el lado del canto como indicaría la lógica constructiva sino a nivel de tres roscas superpuestas que difícilmente hubiesen dado estabilidad a la estructura sin un elemento de enganche común a los tres arcos, cosa que hará en el siglo XIX Armad Emy en su propuesta de cubiertas abovedadas para cubrir grandes luces de instalaciones industriales y estaciones ferroviarias. El mismo Serlio menciona que con esta armadura "...*se podría hacer una bella y fuerte pérgola en un jardín, o en otro sitio todavía*..."[5]. Es decir, en ningún momento se planteaba la posibilidad de cubrir la nave de una iglesia, estando dirigida a ambientes más domésticos como el caso de la pérgola a la que hace referencia.

Un poco lejano en el tiempo, se encuentra el tratado de Philibert De L'Orme quien elaboró una manera de cubrir espacios con bóvedas y cúpulas realizadas a partir de piezas cortas y delgadas de madera solapadas en forma de arco, como si se tratase de la cuaderna de una nave, con riostras a manera de espigas que pasaban en las cajuelas realizadas en las piezas principales y sujetadas por clavijas también de madera[6]. No se tiene noticias si los carpinteros virreinales tuvieron a disposición este tratado para consultas, a pesar de la presencia de una solución parecida en las bóvedas y cúpula de la iglesia jesuita de Córdoba (Argentina) en 1667 realizada por Philipe Lemer. Aún en este caso la propuesta de Lemer es de mayor alcance técnico al lograr un elemento estructural que actúa más como una viga reticular curva que como un arco, en el sentido que los empujes son absorbidos por el mismo sistema cerrado logrando pre compresiones en las uniones a través del uso de cuñas y el curvado de las tablas de cerramiento que presionaban contra los arcos[7]. Por otro lado los tratados españoles e italianos de la época mayormente consultados en Hispanoamérica no hacen mención al planteamiento de De L'Orme, en consecuencia su difusión sería también rara[8], asimismo las bóvedas de madera realizadas en España no muestran la influencia del arquitecto francés, siendo generalmente armaduras ocultas exteriormente, por tanto no interesaba definir la curvatura externa de las piezas de madera, además de estar colgadas de los pares de la cubierta o suspendidas de una viga apoyada en los muros.

Especial importancia testimonial cobra el tratado de Fray Lorenzo de San Nicolás en la península Ibérica, al mencionar que "*…en esta Corte se van introduciendo el cubrir las Capillas con cimborrio de madera, y es obra muy segura, y muy fuerte, y que imita en lo exterior a las de cantería, esta se ha usado dello en edificios, ó que tienen pocos gruesos de paredes, ó que lo caro de la piedra es causa de que se hagan con materia mas ligera, y*

menos costosa. En Madrid mi patria, Corte del Rey de España, hizo la primera un famoso Arquitecto de la Compañía de Iesus, por nombre el Padre Francisco Bautista, en el Colegio Imperial de su Religión, en su gran fabrica de su iglesia, que por los malos materiales de esta Corte, fue necesario echarla de madera. Yo hize la segunda en mi Convento de Agustinos Descalços, en esta Villa de Madrid, en la Capilla del Desamparo de Christo; la tercera hize en Talavera en la Hermita de Nuestra Señora del Prado, con el resto de su Capilla mayor; y la quarta que traçé, se executó en Salamanca, tambien en mi Convento de Agustinos Descalços, y la executó un famoso Arquitecto, Religioso de mi Religión, que fue discípulo mio, llamado Fray Pedro de San Nicolas."[9].



Tipo de arco de madera graficado por Serlio en su tratado.

A pesar que San Nicolás refiere que este sistema fue introducido en España por el hermano Francisco Bautista en la capilla del Colegio Imperial de la compañía de Jesús en Madrid, hoy iglesia San Isidro (1622 - 1685), en los actuales trabajos de levantamiento que viene realizando la Universidad Politécnica de Madrid en dicha iglesia, aún no se ha ubicado este tipo de estructura[10]. Del resto de edificios mencionados todavía no se ha confirmado la existencia de las armaduras encamonadas, aunque estas estructuras aparecen en algunos templos como en la biblioteca de la capilla de los Caracciolos en Alcalá de Henares o la iglesia parroquial de Torrija en Guadalajara del siglo XVIII dentro del área de Castilla, mientras que las bóvedas de madera de las iglesias de regiones vascas y gallegas corresponden notoriamente a otra tipología estructural más de acuerdo con la tradiciones del norte de Europa, en donde se curvaba largos troncos de madera para formar las costillas de las bóvedas de crucería.

Los ejemplos mencionados no solo son tardíos sino que la mayoría de ellos no son autoportantes sino que están colgados de una estructura superior, generalmente del tirante de la cubierta. Así en la biblioteca de Caracciolos, la cercha está formada por camones clavados entre sí y sujeta de una viga superior de madera que define la estructura portante, quedando relegados los arcos únicamente a un nivel de conformación espacial. Por debajo de las cerchas se da forma a la bóveda con tablas unidas por clavos a los camones.

En la iglesia parroquial de Torrija todo el conjunto está sujeto de dobles vigas de madera a lo largo de la nave según el ritmo impuesto por los arcos fajones. Sobre estas vigas se apoyan seis correas longitudinales, en el sentido de la nave. Las cerchas están colgadas de las correas a través de unos listones de madera y se apoyan en ellas mediante un empalme por muesca, asegurado con clavos. Finalmente la forma de la bóveda viene dada por tablas clavadas desde abajo sobre las cerchas. Estas tablas, al igual que en el caso anterior, están distanciadas entre ellas dejando unas ranuras rodeadas con cordeles para facilitar la fijación del yeso.

A pesar de todo la parte más notoria del tratado de San Nicolás está referida al modo de cubrir capillas de planta circular con madera. Su descripción y dibujo motivará el error de muchos estudios al tratar de asemejar la armadura de un chapitel con una sección interior curva (que es lo que aparece en el tratado) a una cúpula encamonada, puesto que constructiva y estructuralmente difieren entre sí. En este último caso el chapitel transmite cargas de manera vertical mientras que la cúpula otorga empujes horizontales. Por otra parte no se ha encontrado referencia a la utilización de este tratado en el virreinato peruano, además las cúpulas de quincha que aparecerán en Perú difieren completamente de aquello que San Nicolás trataba de explicar.

Estructuras abovedas de quincha en el Virreinato del Perú

Un mayor desarrollo de la quincha llegó con su aplicación a la construcción de bóvedas y cúpulas. El sistema que ya había funcionado en forma vertical para los pisos superiores de los edificios entraría a trabajar también en superficies regladas y de revolución. En el Perú es Fray Diego Maroto quien adapta en 1666 la técnica de la quincha a la construcción de bóvedas en la cubierta de la iglesia de Santo Domingo de Lima. Hasta este momento se acostumbraba reconstruir las bóvedas dañadas por los sismos con los mismos materiales, piedra o ladrillo[11]. La constatación de los efectos negativos que producían los sismos en las bóvedas de fábrica impulso la realización de la primera experiencia de cubrir los templos con bóvedas de quincha. De esta forma Maroto realiza una armadura de madera curva con el tejido de una membrana de caña y recubierto de tierra, pero sujeta de una viga horizontal apoyada en los muros de adobe del templo. Habrá que esperar hasta 1675, durante la reconstrucción de la iglesia de San Francisco, cuando Manuel de Escobar y el arquitecto portugués Constantino de Vasconcellos[12], perfeccionan el sistema de Maroto de modo que las bóvedas sean autoportantes, incorporando el murete de adobe de contrarresto de empujes y uniones flexibles, logrando además definir la cúpula sobre el crucero con el mismo criterio. A partir de este momento esta técnica constructiva se generalizará en todo el Virreinato del Perú hasta convertirse en norma obligatoria luego del terremoto de 1746[13].

Básicamente los tipos constructivos de estas bóvedas y cúpulas dependen de su carácter estructural. El primero corresponde al sistema colgado, donde el intradós de la nave está formado por arcos sujetos a una armadura superior, mayormente vigas horizontales. Por lo general estos arcos no colaboran en la descarga del peso de la estructura y es utilizado únicamente para definir el espacio a cubrir, sin generar empujes laterales al formar parte de una estructura mayor que descarga el peso de la cubierta en forma vertical hacia los muros o pies derechos laterales.

El segundo tipo constituye el sistema autoportante, donde el intradós y el extradós de la bóveda están definidos por arcos que se sostienen en conjunto y forman la estructura. En este caso no solamente interesa definir un espacio interior sino también mostrar la volumetría exterior que adquiere la edificación, por lo que se evidencia externamente la curvatura del extradós. Aquí se generan empujes laterales que serán recibidos por los estribos y los semi diafragmas verticales de adobe incluidos en la armadura, antes de transmitir dichos esfuerzos a los muros.

Sistema constructivo

En general, la armadura tanto para las bóvedas como para las cúpulas estaba formada por las siguientes partes:

a) Elementos de confinación al muro.

Encadenado: Eran piezas que recorrían horizontalmente todo el perímetro de la armadura y marcaban el inicio de ella, estando empotrados en el muro, generalmente de adobe. Debían de servir a la nivelación del muro que era dejado en “alberca” por el maestro albañil para el inicio del trabajo del maestro carpintero. Se trataba de otorgar una superficie horizontal apta para el apoyo de los arcos, sujeta a tolerancias más estrictas que la terminación de los muros. Era raro utilizar otros elementos de nivelación como eran los nudillos en España.

Cumplían además la función de recibir y repartir los empujes generados por las cerchas hacia los muros.

b) Estructura portante:
Cerchas: Se construían a partir de camones y contracamones de cedro o roble, colocados en forma alternada por su canto y unidos mediante clavos hasta dar la forma del arco que se necesitaba. A veces también se aplicaba cintas de cuero de vaca u oveja cortados en tiras de un dedo de ancho las cuales se colocaban húmedas y al secar producían una mayor presión por retracción del material pero formaban una unión flexible que aumentaba la ductilidad de la estructura. Este sistema otorgaba una alta racionalización del proceso constructivo evitando el excesivo desperdicio de madera al asignarse un módulo de corte que podía repetirse según las necesidades.
Estas grandes piezas de conjunto se realizaban siguiendo el trazo a escala natural de la sección realizada sobre un andamio ubicado a la altura de los arranques de la bóveda para luego proceder a su colocación definitiva por el giro de la armadura. Sus extremos se encastraban en el encadenado por medio de una larga espiga para evitar los desplazamientos horizontales que podrían ocasionar los empujes de las cerchas.
En estas armaduras se ha observado que las testas de los camones podían estar colocadas a tope o con ensambles a media caja, en este último caso realizado a 45º en su canto y con inclinación radial de la testa hacia el centro de la curva[14].
Cuando se trataba de realizar lunetos en las bóvedas o dar la forma a la cúpula, se efectuaban sectores de arco de menores dimensiones que partían del encadenado y terminaban en el tercio o el cuarto superior de las cerchas principales, introducidos en un rebaje que aumentaba la superficie de contacto entre ambas. Posibilitaban además la disminución de las distancias entre los puntos de apoyo de las cañas, lo cual beneficiaba en su colocación, de manera que el peso del recubrimiento de tierra no las hacía ceder.
Riostras: Eran piezas de madera colocadas en forma horizontal y alternada entre las cerchas para unirlas en todo su recorrido, estando separadas por una distancia variable, que oscilaba entre los 60 y 120 cm. Su función era transmitir y redistribuir sobre ellas las cargas de las cubiertas, además de mantener la separación de los arcos y evitar en la fase constructiva el volteo de ellos.
Relleno de adobe: En la zona de arranque de la armadura junto al muro, entre el encadenado y la primera riostra se solían colocar tornapuntas, rellenándose este espacio con adobe, con el fin de conseguir formar un diafragma parcial que ayudara a evitar el desplazamiento lateral de las cerchas y verticalizar la resultante del empuje.
Anillo de unión (en las cúpulas): Tenía forma octogonal y servía para la conexión de las diferentes cerchas en la parte alta de la semiesfera y contribuir al anclaje de la linterna. Se armaba con piezas robustas, mediante el uso de ensambles a cola de milano. Las cerchas principales se fijaban al encadenado y al anillo central, mediante ranuras que se abrían en éstos últimos.

c) Elementos de cierre:
Tejido de caña: Formada por cañas[15] unidas entre si con cintas de cuero y conectadas a las cerchas por clavos colocados en dichas cintas. Generalmente en el extradós se colocaban enteras y hacia el intradós partidas longitudinalmente y extendidas.
Recubrimiento de tierra: Era una capa de barro con un espesor exterior mínimo de 5 cm, realizado con una proporción de 15% de arcilla, 10% de limo, 55% de arena y 20% de agua, incorporándose además paja y pelo animal para evitar una excesiva retracción por secado. La colocación del recubrimiento de tierra permitía aislar y proteger del medio ambiente a los diversos componentes de la armadura. Asimismo el barro por sus buenas características de aislamiento térmico y acústico resultaba ideal para este tipo de espacios, permitiendo también una fácil reparación de las fisuras causadas por los sismos.
Este estrato de tierra era estabilizada mediante la adición de cal y en algunos casos se cubría con una película de jugo de cactus con el fin de otorgar mayor impermeabilidad a la cubierta. En el intradós de la bóveda se colocaba un recubrimiento final de yeso procurando

un efecto visual de una bóveda o cúpula realizado con cantería, además de producir múltiples tipos de molduras.

Desempeño Estructural

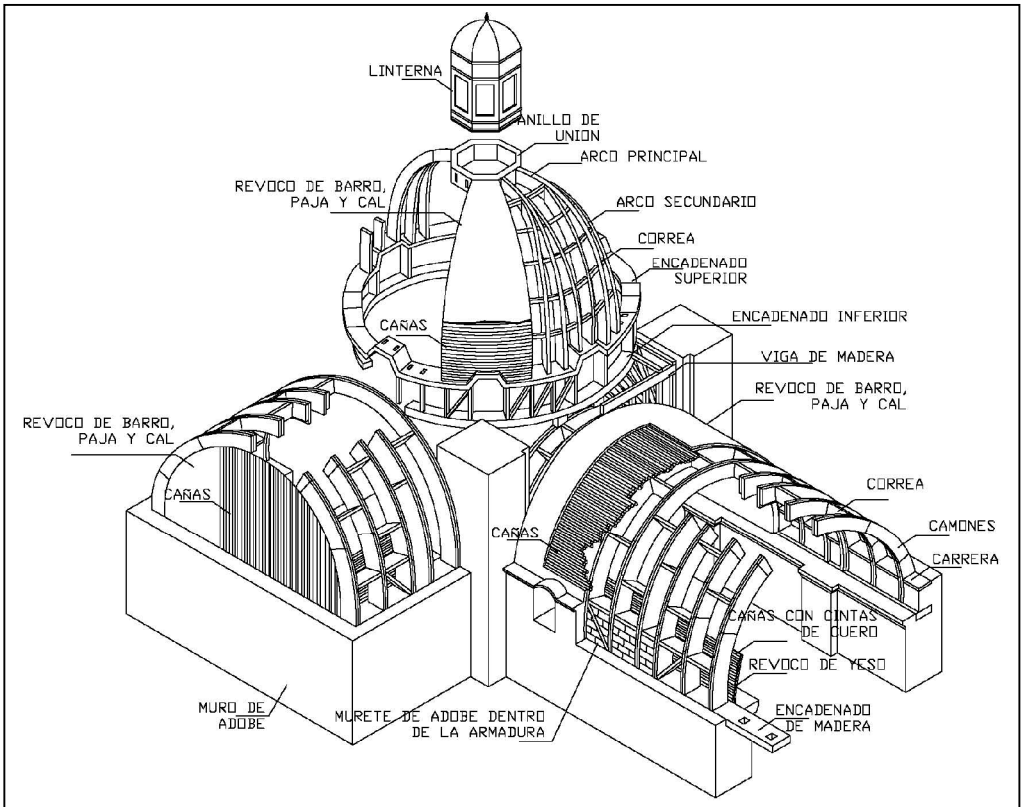
Las antiguas directivas de diseño de arcos y bóvedas de fábrica se basaban en leyes de proporción más que en criterios de resistencia o rigidez[16], buscando que la geometría de la estructura asegurase la transmisión adecuada de los esfuerzos dentro del material, generalmente trabajando solo a compresión sin la admisión de otros tipos de esfuerzos, en consecuencia era normal la aparición de fisuras. A pesar que estos signos constituyen la expresión habitual de la estructura de adaptarse a su entorno y estabilizarse en el tiempo, en un medio sísmico adquieren particular importancia motivado por la forma y rigidez de la construcción y su relación con las propiedades del terreno. Durante un sismo el edificio vibra bajo su frecuencia natural y si ella es cercana a la del suelo, se producirá una resonancia dinámica y el daño estructural resultante será mayor. Las fisuras de la obra cambiaran su frecuencia natural y aumentarán o disminuirán esta resonancia.

Bóveda y cúpula de quincha en la iglesia La Compañía de Pisco

Si bien estas estructuras en tierras sudamericanas eran estáticamente estables, tenían un desempeño dinámico riesgoso, pues los constructores hispanos no las habían preparado para disipar energía sísmica. Los arcos y bóvedas de fábrica se mantienen estables mientras las condiciones geométricas no cambien sustancialmente, es decir la forma de la estructura garantiza el paso de la línea de empujes dentro de ella, con los límites fijados por los bordes del mismo material. Cuando la línea de empujes toca el extradós o intradós se forman rotulas, entrando a trabajar un arco de modo triarticulado siendo perfectamente estable, además el desempeño estructural de una bóveda tiene aún más posibilidades de estabilidad.

Ciertamente el arco catenario resulta más eficiente que el de medio punto, usualmente empleado en le Virreinato del Perú, por coincidir su forma con el recorrido de la línea de empujes. Sin embargo cualquiera que sea la forma del arco o bóveda ante un sismo la respuesta dinámica será esencialmente elástica si la estructura ha sufrido solo un

agrietamiento limitado y conserva todavía un carácter casi monolítico. Pero al aumentar la aceleración, a esta fase elástica se superpondrá otra con distinta frecuencia de vibración, donde los bloques de la bóveda chocan entre sí y propician su separación hasta producir un nuevo desajuste en la geometría inicial con la consiguiente aparición de un mecanismo de colapso produciendo el fallo de la estructura.
En las construcciones europeas en medios sísmicos los arcos y bóvedas se ejecutaban con engatillados y grapas entre los bloques o las dovelas de piedra, para mantener en lo posible la forma de la estructura. También se dotaba de un estribo con ancho suficiente para transmitir los empujes a la cimentación y consolidar la geometría de la edificación evitando que los muros de abriesen. A pesar de todas estas precauciones el sistema no garantizaba la estabilidad dinámica de las bóvedas.



Detalle constructivo de una bóveda y cúpula de quincha

Frente a las estructuras abovedadas aplicadas en Europa, en el Virreinato del Perú se optó por la incorporación de la nueva técnica constructiva desarrollada, es decir, realizar la planta baja de los edificios en adobe, dejando para la cubierta el uso de las bóvedas de quincha. Dado que la fuerza de actuación de un sismo está en proporción al peso de la estructura, la utilización de un material más ligero permitió edificar estos elementos sin menoscabar la resistencia de los muros de base, contribuyendo a este fin las uniones adoptadas para el encuentro entre la estructura flexible de quincha y la rígida de adobe del piso inferior.
La unión entre ambas estructuras estaba dada por una viga perimetral de madera, que actuaba como encadenado de la parte superior del muro y base de las bóvedas de quincha, ayudando a arriostar a los muros de adobe e impidiendo su natural separación durante un sismo, tratando de brindar un efecto diafragma para responder solidariamente al movimiento. Así también las bóvedas de quincha no estaban rígidamente conectadas al encadenado sino mediante una espiga sumamente larga y trabada por un murete de adobe.

De esta forma durante un temblor la quincha podía moverse libremente también en sentido vertical dentro de la caja realizada, porque la dimensión de la espiga aseguraba que no escapara de su posición. De igual manera el uso de cintas de cuero para las uniones permitió cierto grado de libertad al movimiento sin que se perdiera la forma geométrica inicial, siendo lo suficientemente flexibles para disipar la energía sísmica sin llegar a colapsar y cuyas tolerancias de deformación eran ya tomadas en cuenta.
Pero las bóvedas de quincha no sólo eran más eficientes que las originales de piedra y ladrillo desde el punto de vista dinámico sino también desde el estático, por originar menos empujes a los muros, ya que al verse disminuido el peso se reducía el empuje en modo proporcional[17], con lo cual era más fácil conseguir la transmisión de cargas dentro del tercio central del muro de adobe y evitar mayores excentricidades, permitiendo disminuir su ancho en caso de no contar con contrafuertes macizos. Además la consolidación del terreno bajo las fundaciones, que se miden en períodos de decenios, conduce a asientos y cambios geométricos, obligando a la estructura a adaptarse a estas modificaciones. En el caso de una bóveda de quincha por su flexibilidad era más fácil de realizar este ajuste con menor riesgo a su estabilidad.
Por otra parte siempre se asumió que el relleno de adobe en la parte baja del panel de quincha buscaba el descenso de su centro de gravedad, consideración que también se asumió para el caso de las bóvedas, cuando se señalaba que "*el centro de gravedad de un entramado sencillo...se puede estimar que se encuentra situado ligeramente por debajo del punto definido por el cruce de las dos diagonales...pero, como generalmente se procedía a rellenar los espacios de la parte inferior de la armazón, con adobe o ladrillo según la clase de muro sobre el que se apoyaba el esqueleto de madera, resultaba que al situar una masa de mayor peso hacia la parte baja, la altura del centro de gravedad se acercaba a la solera, lo cual aumentaba la estabilidad...*" [18]. Sin embargo si realizamos una rápida verificación visual de la estructura observaremos que tanto el panel de quincha como la armadura abovedada no están huecas, sino llenas con un tupido tejido de caña y recubrimiento de barro, por lo que el peso específico de esta parte no puede estar demasiado alejado del peso específico del relleno de adobe en la base, de igual espesor que la parte superior. Así del cálculo efectuado para comprobar esta hipótesis se encontró que el centro de gravedad desciende sólo 5% en el caso de bóvedas, que para efectos constructivos no es significativo[19]. Por tanto la razón para rellenar estos cuartos inferiores con adobe están más relacionados con formar una guía que impidiese a la espiga de los camones escapar del encadenado durante los movimientos sísmicos y de asegurar en la etapa de la construcción de la bóveda, cuando se posaba el arco sobre el encadenado, el actuar como peso muerto que ayudara a verticalizar los empujes de las armaduras hasta que se completara la edificación de todo el tramo. Finalmente creaba un semi diafragma dentro del plano impidiendo el desplazamiento de los arcos en el sentido lateral y absorbía las vibraciones sísmicas en esta dirección.
Un gran trabajo dinámico lo realizaba el tejido de caña que actuaban como una armadura interna con amplia posibilidad de resistir tensiones. Además el revestimiento de barro con cal no sólo protegía de la intemperie a los diferentes elementos de la estructura sino contribuía con las cañas a definir una superficie continua a modo de una membrana asegurando un trabajo solidario de toda la estructura durante un sismo[20].

Consideraciones finales

Los edificios en tierra están asociados no solo con la pobreza sino también con la falta de seguridad, especialmente frente a los sismos. Sin embargo hemos apreciado el funcionamiento de un sistema estructural desarrollado a partir de la continua búsqueda de una solución antisísmica que imponía la dureza telúrica del medio. No puede señalarse el desarrollo y expansión de este sistema constructivo sólo a la falta de recursos económicos, puesto que Perú era la sede del Virreinato español en América del Sur y como tal toda la riqueza que se recolectaba en este territorio pasaba necesariamente por el. Así existía la suficiente economía como para realizar construcciones con ladrillo o piedra, como se hicieron originalmente y se repararon después de cada terremoto, pero descubrieron en la

quincha una respuesta al comportamiento dinámico solicitado. La utilización de este sistema no significó una mengua en la calidad espacial y funcional de los edificios, muy por el contrario sirvió para realizar grandes manifestaciones del barroco americano. Donde piedra y ladrillo fallaron, la tierra bajo la forma de quincha permitió garantizar la supervivencia de las cubiertas de los templos, no obstante los muchos terremotos ocurridos en la historia del Perú. Hoy en día que se vuelven los ojos a la recuperación y uso de técnicas tradicionales en tierra por motivos de eficiencia ecológica en el uso de los materiales, de reducción de coste económicos en los proyectos de viviendas sociales, de mejoras del confort habitacional para construcciones modernas, no se debe olvidar el gran aporte estructural que significó el uso de la quincha en la definición de espacios abovedados en medios sísmicos y cuyo legado también puede ser fuente de inspiración para la arquitectura contemporánea.

Citas y Notas

[1] El hundimiento de las bóvedas de cañón realizadas con ladrillo en la iglesia de Pacasmayo y con piedra en la catedral de Cuzco produjeron el cambio por bóvedas de crucería. Las bóvedas de la catedral de Lima se rehicieron después del terremoto de 1609 bajo el sistema de crucería, pero volvieron a colapsar en el terremoto de 1687, reconstruidas luego en madera y quincha.

[2] Los principales volumen encontrados fueron “Arquitectura” de Pietro Catáneo, edición en italiano publicado en 1554; “Tercer y cuarto libros de Arquitectura de Sebastiano Serlio”, edición traducida por Villalpando en Toledo en 1565; “Perspectiva y Espectacularidad” de Euclides, editada en castellano por Pedro Ambrosio de Onderiz en Madrid en 1585; “Breve Compendio de Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes con la conclusión de la Regla de D. Incola Tartaglia y otras cosas tocantes a la carpintería de compás” de Diego López de Arenas de 1633. “Breve tratado de bóvedas regulares e irregulares” de Juan de Torrija, editado en 1661; “Arquitecto Perfecto” en dos volumenes de Sebastián Fernández de Medrano, fundador de la Academia Militar de Bruselas, editada en el último tercio del siglo XVIII; “Tratado Nuevo de las Cosas Maravillosas de Roma”; “Arquitectura Militar” de Matías Dogac en latín; “Fortificaciones de Plazas” y “Elementos Militares” de Diego Enriquez de Villegas. MARUSSI CASTELLAN (1981), p. 122.

[3] LOPEZ DE ARENAS (1633), folio 32v.

[4] En el ambiente de la carpintería de lo blanco se designaban como “medias cañas” a las bóvedas de madera de rincón de claustro. Cuando se realizaban con limas moamares (dos limas paralelas que partían de la esquina correspondiente a cada muro y concurrían en lo alto) era necesario ejecutar una corrección geométrica definida por la torsión de los maderos para producir la curvatura sin perder el paralelismo de las caras verticales de las piezas.

[5] SERLIO (1600), libro VII, cap. LXXIIII, folio 199.

[6] DE L’ORME (1567), folios 8v, 9, 10 y 10v.

[7] LANER (2001), p.14.

[8] “A demostrar que el tratado de De l’Orme no tuvo inmediata acogida están los escritos de Vincenzo Scamozzi en su L’idea dell’architettura universale donde no lo menciona a pesar que escribió sobre la arquitectura italiana y extranjera y en sus estudios sobre diferentes técnicas constructivas. El tratado francés fue redescubierto en el siglo XIX durante el renovado interés en el Gótico cuando gente ilustrada como Jean Baptiste Rondelet y Armand Rose Emy, lo refieren en sus trabajos”. CAMPA (2006), p.531.

[9] SAN NICOLAS (1639). Segunda Parte, Capítulo LI, folios 189-193.

[10] Conversación efectuada con el Dr. Arq. Javier Ortega quien tiene a su cargo la dirección de los trabajos. Aunque es probable que se cambiara posteriormente la estructura original o se perdiera durante la Guerra Civil.

[11] Los daños causados por los sismos de 1603 y 1609 en las bóvedas de la catedral de Lima, proyectadas por Francisco Becerra, originaron el debate técnico entre los distintos alarifes sobre el mejor modo de ejecutar una cubierta sismorresistente. SAN CRISTÓBAL (1996 a), anexos documentales, pp. 44-70.

[12] Constanino de Vasconcelos falleció en 1668, dos años después que Maroto introdujera el sistema de bóvedas de quincha y aunque al principio era partidario de cubrir el templo con bóvedas de ladrillo es de suponer que finalmente debió plantear junto a Escobar la estructura de cubierta a base de quincha en la iglesia San Francisco.

[13] En el dictamen que el cosmógrafo francés Luis Goudin dirigió al Virrey, después del terremoto de 1746 en Lima, refería que era “...evidente que el País no permite edificio elevado ni construcción pesadas y las paredes sean de piedras, o de ladrillos, o de adobes, cuando todas ellas piden que en su naturaleza un cierto grueso...así mismo de madera para la bóveda que según se acostumbra se hará de quincha...”. BERNALES BALLESTEROS (1972), legajo 511, expediente 1748, Archivo General de Indias, p. 305.

[14] Corresponden a las bóvedas a las cuales se tuvo acceso directo, concernientes a las cubiertas de la Catedral de Lima, la capilla de la Virgen de Loreto en la Casona de San Marcos de Lima y la iglesia jesuita de Pisco.

[15] Se trata de la especie gunerium sagittatum, con un diámetro aproximado de una pulgada. Es de consistencia compacta y flexible, llena de fibras internas muy resistentes a la tensión. También soporta al ataque de hongos e insectos.

[16] Los tres criterios estructurales fundamentales son de resistencia, rigidez y estabilidad. Sin embargo para un maestro constructor antiguo los conceptos de resistencia y rigidez eran secundarios al momento de proyectar una edificación. Es un hecho que las tensiones medias de una estructura normal de fábrica son bajas y las deformaciones generalmente despreciables por lo que la clave para entender estas estructuras ha de buscarse en una correcta comprensión de su geometría. Cfr. HEYMAN (1995).

[17] El espesor de una bóveda de fábrica era similar al de una realizada en quincha, sin embargo el peso específico de la quincha virreinal es 900 Kg./m³, mientras que el del granito bordea los 2700 Kg/m³ y el del ladrillo los 1800 Kg/m³.

[18] MARUSSI CASTELLAN (1981), p. 111.

[19] Para el cálculo se han considerado un peso específico de los adobes de 1,400 Kg/m3 y de la quincha conservadoramente de 900 Kg/m3. Los resultados arrojaron un descenso del centro de gravedad para paneles verticales del 7% de su posición sin que tuviera el relleno de adobes en la parte baja y un 5% para superficies curvas, que dentro de la estructura general no es relevante para mejorar su comportamiento sísmico.

[20] En los ensayos realizados por la Universidad Nacional de Ingeniería sobre casas modulares de quincha se observó que cuando al recubrimiento de barro y paja se incorporaba un delgado estrato de arena, cemento y yeso incrustándose en las fisuras del revoque de tierra formaban un elemento monolítico. El recubrimiento general que producía controlaba la curva esfuerzo deformación horizontal del conjunto, resistiendo su propio peso en dirección horizontal, es decir 1g, sin colapsar. KUROIWA (2002), p. 141.

Bibliografía

*BARRETO ARCE, Alberto. Las construcciones antiguas y los sismos. En *International Seminar: Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2005.

*BERNALES BALLESTEROS, Jorge. *Lima, la ciudad y sus monumentos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Escuela de Estudios Hispano Americanos de Sevilla. Sevilla, España. 1972.

*CAMPA, María Rita. "Le Nouvelles Inventions pour Bien Bastir et a Petits Fraiz by Philibert de l'Orme: a New Way to Conceive Wood Roof Covering". En *Proceedings of the Second International Congress on Construction History. Volume I. Queens' College, Cambridge University 29th march – 2nd april 2006.* Malcom Dunkeld, James Campbell, Hentie Louw, Michael Tutton, Bill Addis, Robert Thorne. Cambridge, Inglaterra. 2006, pp. 525-541.

*CANDELAS GUTIERREZ, Ángel L. "Bóvedas de madera: ¿se puede construir según describen los tratados?" En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla 26-28 de octubre de 2000*, *volumen I.* Instituto Juan de Herrera, Madrid, España. 2000, pp. 193-212.

*CONTI, Raffaella. "El desarrollo tecnológico de las bóvedas de madera en la experiencia de Lemer". En *Actas del Primer Congreso Nacional de la Historia de la Construcción, Madrid 19-21 de septiembre de 1996.* Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. 1996, Pp. 147-150.

*DE L'ORME, Philibert. *Traités d'architecture: Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz* (1561). Premier Tome de l'Architecture (1567). Edición facsimil de Léonce Laget, Libraire-Èditeur. Paris, Francia. 1988.

*HEYMAN, Jacques. *The stone skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture.* Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra. 1995.

*HUERTA, Santiago. Arcos, bóvedas y cúpulas. *Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica.* Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid, España. 2004.

*HURTADO VALDEZ, Pedro. "La restauración de edificios en tierra en zonas sísmicas." En *Atti del Convengo Costruire con terra cruda oggi*. Novi Ligure 2005. Edicomedizione. Italia. 2006 (en prensa).

*HURTADO VALDEZ, Pedro. "Entre torres y balcones: La imagen urbana de Lima virreinal." En *Patrimonio Iberoamericano II*. Asociación Española de Gestores del Patrimonio Cultural. Madrid, España. 2005.

*HURTADO VALDEZ, Pedro. *La iglesia y el colegio de la Compañía de Jesús en el puerto de Pisco – Perú*. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, España. 2004.

*HURTADO VALDEZ, Pedro; PALIZA FLORES, Violeta; ROELEVELD OROZCO, Bernardo; ZÚÑIGA CASTRO, María. *Análisis del comportamiento estructural de la bóveda de la capilla de Nuestra Señora de Loreto*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes, Sección de Postgrado y Segunda Especialidad. Lima, Perú. 1995.

*KUROIWA, Julio. *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza*. Julio Kuroiwa. Lima, Perú. 2002.

*LANER, Franco. "Mettere in forza, la chiesa della Compagnia di Gesù a Cordoba". En *Adrastea Nº18*. Habitat legno s.p.a. Edolo, Italia. 2001.

*LOPEZ DE ARENAS, D. *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes* (edición facsímil de la primera edición de Sevilla de 1633 de Luis Espinan). Albatros. Valencia, España. 1982.

*MARUSSI CASTELLAN, Ferruccio. *La quincha en las edificaciones monumentales del Virreinato del Perú.* Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid, España. 1981.

*MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra. Nordan* Comunidad. Montevideo, Uruguay. 2001

*NUERE MATAUCO, Enrique. *La carpintería de armar española.* Editorial Munilla - Lería,.Madrid, España. 2000.

*RODRIGUEZ CAMILLONI, Humberto. “Quincha architecture: the development of an antiseismic structural system in seventeenth century Lima.” En *Proceedings of the Firts International Congress on Construction History. Madrid, 20 – 24 January 2003*. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. 2003. pp. 1741-1752.
*SAN CRISTÓBAL, Antonio (a). *La catedral de Lima: Estudios y documentos*. Museo de Arte Religioso de la Catedral de Lima. Lima, Perú. 1996.
*SAN CRISTÓBAL, Antonio (b). Fray Diego Maroto, alarife de Lima, 1617 – 1696. Epígrafe S.A. Lima, Perú. 1996.
*SAN NICOLAS, Fray Laurencio de. *Arte y Uso de Arquitectura*. Madrid (S.i. 1639 y 1664), Segunda Parte. Edición facsimil de Albatros Ediciones. Madrid, España. 1989.
*SERLIO, Sebastiano. *Tutte l'opere d'architettura, et prrospetiva, di Sebastiano Serlio bolognese, dove si mettono in disegno tutte le maniere di edifici, e si trattano di quelle cose, che sono più necessarie a sapere gli Architetti...*Diviso in sette libri (edición facsímil de la edición de Venecia de 1600), segunda parte. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias. Oviedo, España. 1986.
*VILLANUEVA DOMINGUEZ, Luis de. “Bóvedas de madera”. En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz 27-29 de enero de 2005, volumen II*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, España. 2005. Pp. 1103-1113.