

CUBIERTA DE LA BASILICA de N^a Sra. de la Salud

PATZCUARO. MICHOACÁN. MEXICO

RENÉ NAVARRETE PADILLA.
ARQUITECTO, MAGÍSTER EN CONSTRUCCIÓN EN MADERA,
FACULTAD DE ARQUITECTURA,
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, MÉXICO.

Antecedentes

Pátzcuaro se ubica a los 19°30' de latitud norte y a los 101° de longitud oeste del MG. A una altura de 2.140 m sobre el nivel del mar al sur del lago que lleva su nombre.

Pátzcuaro proviene de la lengua purepecha y significa lugar de "cues" (templos).

Era en su tiempo la zona ceremonial del reino purepecha, se funda en 1324, el primer grupo de españoles que llega al sitio se da en 1522 y en 1538 nace el obispado de Michoacán con sede episcopal en Tzintzuntzan la cual se traslada en 1539 a Pátzcuaro.

Entre las acciones del primer obispo Don Vasco de Quiroga destaca el proyecto de la catedral, proyecto que en muchos aspectos sigue siendo un enigma, entre otros la referente a la autoría intelectual del mismo, aunque con la singular personalidad del obispo no existe mejor explicación para un proyecto tan fuera de normas conocidas.

Pablo Beaumont narra a finales del siglo XVIII sobre la planta con figura de mano, o más bien, como lo expresa el escudo de armas de la ciudad, en forma de una cruz con dos naves que salen de los brazos. Esta representación en el escudo original fechada en 1553 despeja toda duda sobre el proyecto, figura 1.

Cabe mencionar que el apogeo de la construcción se dio entre 1540 y 1570, además presenta un evidente

criterio tarasco respecto a su localización y a su concepción radial del espacio. Concepto que el obispo captó perfectamente e integró a su proyecto catedralicio, además de la posición del conjunto en el poblado... a media ladera, protección posterior de la loma y dominio visual radial... todo esto predominaba en los centros ceremoniales prehispánicos... probablemente respetando el concepto indígena o bien resaltando la conversión al cristianismo con la sustitución de los templos.

Se desconoce si las autoridades indígenas colaboraron en el proyecto, lo que si es posible es que durante doce años, la ejecución de la obra fue exclusiva de constructores indígenas, pues fue hasta 1552 cuando Hernando Toribio de Alcaráz se hizo

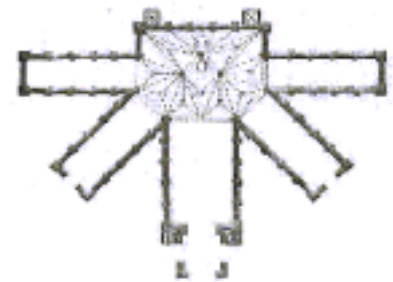
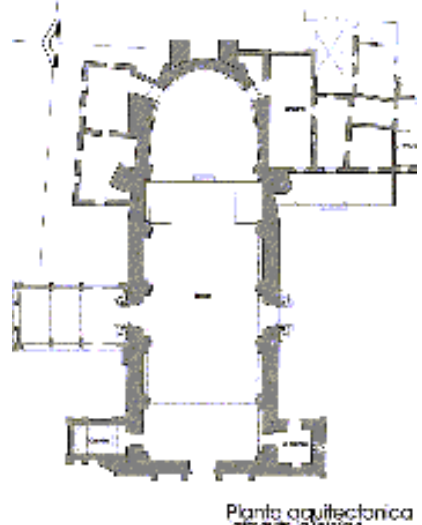


FIGURA 1: PLANTA DEL EDIFICIO, SEGÚN BEAUMONT (ARRIBA) Y PLANTA ACTUAL (ABAJO)



Planta arquitectónica



FIGURA 2. ALZADO DE LA ESTRUCTURA.

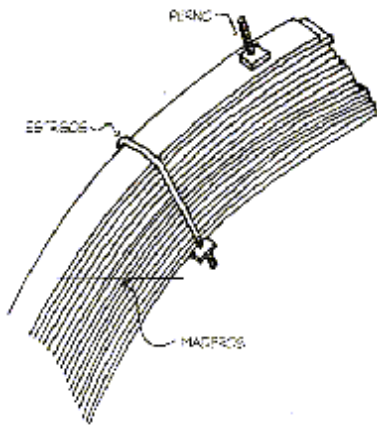


FIGURA 3. SISTEMA DE M. EMY (TORRES, 1999).

cargo de los trabajos.

Lo anterior es fácil entender dada la existencia de técnicas indígenas y nada extraño es que parecieran incomprensibles para los europeos de la época que examinaron esos trabajos. Para este proyecto se ha negado la aportación indígena, pero, si la inspiración no se encuentra en la Europa de la época, ¿En donde está?

Autores han mencionado como antecedente inmediato la catedral de Granada o el proyecto no ejecutado de fray Giocondo para la basílica de San Pedro... nada más alejado de la realidad, pues estos proyectos poseen girolas con capillas radiales a espaldas del presbiterio y con su espacio procesional de circulación; esto las aísla visual y litúrgicamente del altar mayor, todo lo contrario a Pátzcuaro donde el presbiterio es el punto convergente de todo el conjunto. Basta con un corto análisis para entender que el recorrido espacial de una girola es completamente distinto al dominio visual (o convergencia visual) del caso de Pátzcuaro.

Parece ser que la traza fue una concepción original de Vasco de Quiroga surgida de su mente progresista e innovadora sin límite, que lo llevó a idear una catedral apropiada a la gente que a ella iba a concurrir. El obispo debió haber considerado que el público asistente a su iglesia, los indios en particular, no estaban acostumbrados a los patrones estable-

cidos en las mentes europeas y él contaba con gente nueva, abierta...el hecho que las naves fuesen exentas, permitirían separar a las distintas comunidades, sexos y edades y tenerlos a la vez en un solo local. Que todos viesen las celebraciones sin esconderse tras gruesos pilares y permitir al celebrante el control perfecto de sus asistentes y por tanto el edificio que él pretendía debía ser útil a las necesidades del lugar y sobre todo a la principal en ese momento: la evangelización.

Este complejo análisis de posibles antecedentes europeos pierde terreno si se considera la cercanía que el obispo tuvo con la población indígena.

Los datos documentales que existen muestran que existieron varias objeciones al proyecto y a la obra, se encontraron muros de gran espesor no comparables con técnica europea alguna del momento, se habló de una obra desplantada en tierra floja cuando la ladera es de tierra rocosa compacta y consolidada por antiguos edificios prehispánicos, entre otras cosas. Estos y otros problemas técnicos presentados surgen por la incomprensión del clero y constructores españoles hacia las técnicas constructivas indígenas, hacia la postura ideológica del obispo para conceptualizar su proyecto y por intereses de poder, pues al fallecimiento del obispo se abandonó la obra y se trasladó el obispado a Morelia.

En cuanto a la cubierta del proyecto al parecer la idea inicial era cubrir las naves con bóveda de cañón corrido que presentaba el problema de unirlos con la cúpula del presbiterio por ser de distinta altura al provenir de naves de distinta anchura. Si se hubiera pensado en bóveda de tipo gótico el problema de la altura no existiría pues se podrían igualar y solo la intersección con el presbiterio habría que resolver. Sin embargo, ante el abandono de la obra y con solo la nave principal edificada se cambió a cubierta dejando solo la bóveda del presbiterio.

Esta techumbre, hecha a base de cerchas en la nave principal fue la solución definitiva, pero se perdió a causa de un incendio. La cubierta

actual, inspirada en tratados franceses, ingeniosamente adaptada en esta obra fue a su vez inspiración del resto de cubiertas de iglesias del área: intradós cilíndrico y extradós a doble vertiente.

La cubierta

El sistema utilizado tiene como único antecedente una solución francesa ingeniería por el ingeniero militar, M. Emy para un claro de 20 m en un cobertizo agrícola, ingeniosamente adaptada en esta obra fue a su vez inspiración del resto de cubiertas de iglesias del área: intradós cilíndrico y extradós a doble vertiente, figura 2.

Este sistema de arcos laminares y jabalcones consiste en arcos laminares unidos con elementos mecánicos, pernos y cinchos metálicos. La unión de las láminas es simplemente a tope sin coincidencia, de estas juntas entre las diferentes láminas, ni tampoco en el riñón del extradós, ni en la cúspide en el intradós, figura 3.

Sobre estos arcos se colocan alfardas para formar la doble vertiente con un tirante horizontal a manera de nudillo y jambas verticales o jabalcones. La unión de todo el sistema es con cruceros normales al arco que unen a este con la doble vertiente.

El arco es la pieza portante de todo el sistema, con la particularidad de no producir esfuerzos horizontales en sus apoyos, los cuales son de tipo elástico al estar apoyados en piezas flotantes de madera. Los jabalcones se encuentran separados del muro y penetran en este sin apoyarse en él, solo para lograr mantener la verticalidad de la estructura y evitar el movimiento de esta en el sentido longitudinal del edificio. La tendencia del arco a abrirse es casi nula pues el trabajo conjunto de cinchos, pernos y cruceros evita esto.

Esta cubierta fue puesta en servicio entre 1872 y 1883. El claro que libra es de 16.40 m en un extremo de la nave y 17.50 m en el otro extremo, esta falta de paralelismo de los muros se considera no como un error en su fábrica, sino como la búsqueda de esa convergencia visual y que para el espectador no tuviese distorsiones.

El apoyo de la cubierta del arco se

da en un escalón del muro de 1.20 m de ancho (el ancho total es de 3.10 m) y como ya se comentó sobre una base de madera, desde ahí nacen los arcos de 8.20 m de radio medidos al intradós, desde ahí se tienen 5.25 m de altura a la parte más alta de la cubierta generando un ángulo de las vertientes de 42°.

El arco laminar, elemento principal de la estructura se conforma por tabloncillos curvos sobre su plano horizontal compuesto por largos maderos de pino, superpuestos entre sí y unidos con pernos y estribos metálicos, colocados los primeros a través de una perforación central y los segundos abrazando los tabloncillos. El arco se conforma en su nacimiento con 18 tablas de 5 pulgadas de ancho y 1 pulgada de espesor, aumenta a 20

tablas en los riñones y disminuye a 14 en la cúspide del arco. Es de notarse el refuerzo en el área de los riñones como mejora del comportamiento estructural, figura 4.

Sobre cada uno de los arcos descritos, se colocan vigas a manera de alfardas, que dan forma a la doble vertiente exterior y jambas verticales llamadas jabalcones armadas de dos brazos tensores y de un tirante horizontal que funciona a manera de nudillo; cierran el sistema, una serie de cruceros colocados normalmente al arco, figura 5.

Los jabalcones están colocados con una ligera inclinación al exterior, son cortos pues la inclinación de la cubierta así lo determina y la sujeción de estos y de las alfardas se hace de

igual forma: con cinchos metálicos, cortes en diagonal, transversales y escalonados que evitan deslizamientos entre las piezas, figuras 6 y 7.

El tirante a manera de nudillo, se enlaza con las alfardas y cruceros con ensambles a media madera, cazando las piezas por ambos lados y sujetándolas con pernos metálicos.

Un aspecto a destacar es la construcción del ábside. Consta de 7 medios arcos colocados radialmente, coincidiendo en la cúspide con el primer arco transversal de la nave. Este punto de unión es fundamental en la estabilidad total del sistema. Completan el conjunto largueros, hileras, fajillas y tejas, estas últimas de fábrica especial por la inclinación de la cubierta.

Debe destacarse el hecho de que no exista otra estructura similar en México, ni en Latinoamérica, ni tampoco existe literatura relacionada con este caso u otro similar en el mundo.

Las dimensiones de los componentes

En la figura 4 se observa que el arco se conforma de 18, 24 y 14 tabloncillos de manera simétrica, en donde a partir de los apoyos, los primeros cuatro tramos que conforman los cruceros constan de 18 piezas de 5"x 1", originando una sección compacta de 5"x 18"; el siguiente tramo está constituido por 24 tabloncillos de igual escuadría, formando entonces una sección de 5"x 20" y por último los ocho tramos restantes se disminuyen a 14 tabloncillos, por tanto se tiene una sección de 5"x 14".

Los jabalcones se componen de piezas dobles que en su conjunto hacen una sección transversal de 5"x 12". Estas mismas secciones se continúan en las alfardas, sin embargo sólo en el primer y último tramo, esto partiendo del apoyo sobre el jabalcón hacia la cumbrera de las vertientes. En la parte central se adosa una sección de iguales dimensiones, dando así un área transversal de 5"x 24".

Todas las secciones correspondientes a los cruceros responden a unas dimensiones de 5"x 8", mientras que el tirante se trata de una pieza doble a la anterior, por tanto una sección de 5"x 16".

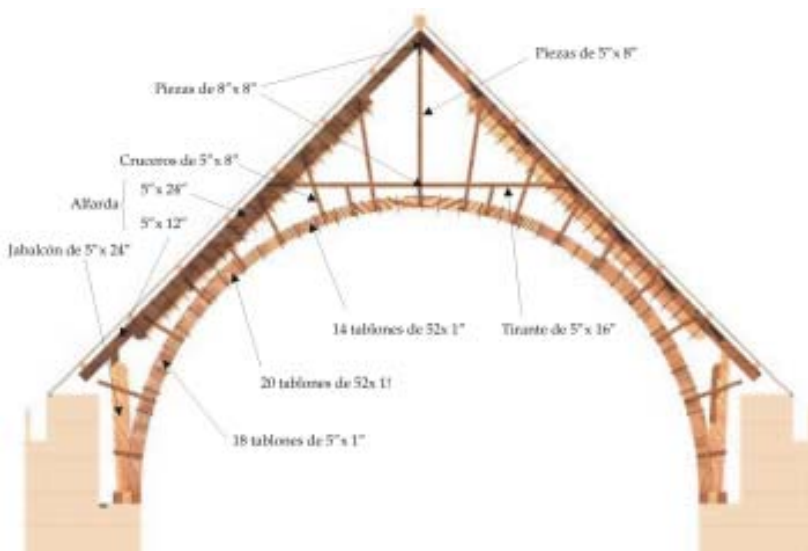


FIGURA 4. DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES



FIGURA 5. PARTES COMPONENTES (FOTOGRAFÍA DEL AUTOR)



Tanto arco, jabalcones, alfaridas y tirantes son piezas que trabajan como secciones íntegras en si mismas y por tanto así se modelaron; en tanto los cruceros se articulan con sus correspondientes enlaces en el plano de la armadura, quedando restringidos en los otros dos planos.

Faltan solo dos piezas por definir sus dimensiones y son las que corren longitudinalmente a la cubierta, tanto

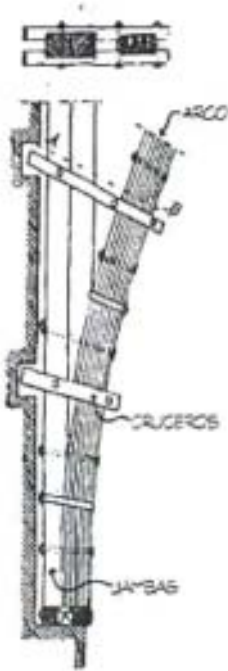


FIGURA 6. JABALCÓN (JAMBAS) (TORRES, 1999).



FIGURA 7. JABALCÓN ACTUAL (MÉNDEZ, 1999).

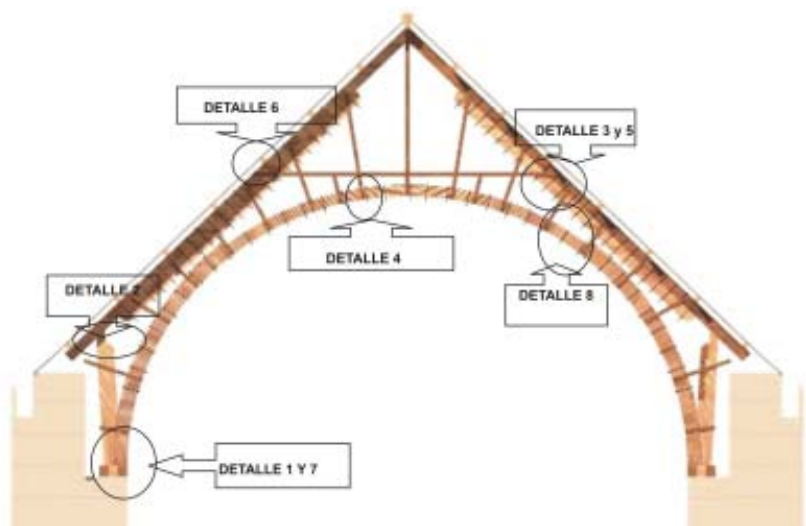


FIGURA 8. DETALLES CONSTRUCTIVOS (DIBUJO DEL AUTOR)

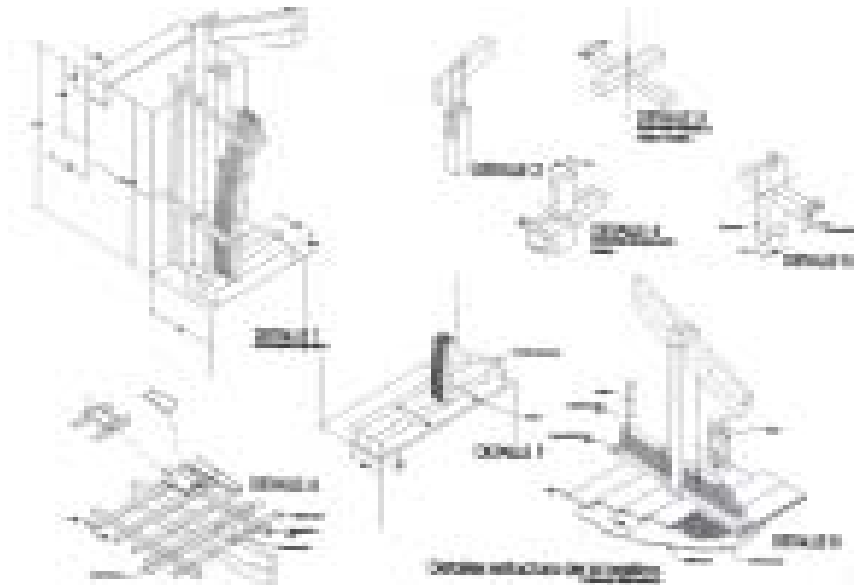


FIGURA 9 DETALLES CONSTRUCTIVOS (DIBUJOS DEL AUTOR, MÉNDEZ, 1996)

a la altura de los tirantes como a la altura de la cumbrera, estas piezas son de una sección transversal de 8"x 8".

Detalles constructivos

La visualización de cada uno de los detalles marcados da una mayor luz sobre las características de la cubierta; para ello se presentan las figuras 8, 9, 10 y 11.

Análisis estructural

Con la información anterior y el resto de las dimensiones generales ya mencionadas anteriormente se desarrolló un modelo del sistema estructural en el programa de cómpu-

to AVwin 98, figura 16. No debemos olvidar que la parte superior del ábside se cierra con un cuarto de esfera y sobre esta un medio cono, que reviste un particular interés respecto a la conformación constructiva, de tal manera que el primer arco viene a ser el de mayor trabajo por ser el plano de arranque de lo que conforma la cubierta de la nave.

La captura de toda la información anterior en el programa, permite tener la configuración completa del sistema de la estructura, restando solamente la definición de los estados de carga.

Son tres los propuestos:

1. El peso propio, donde se considera además del peso del material



mismo, todos aquellos que contiene la estructura misma: teja, yeso, etc.

2. La sobrecarga, considerándose esta solo sobre los tirantes y viga longitudinal que corre a la misma altura de aquellos; sitios donde únicamente es posible que esta exista, por la morfología misma de la estructura.

3. El viento, donde se estimo con una presión básica de 80 Kg/m².

Ahora bien, una vez identificados todos los datos y modelados en el programa, además de obtener los resultados completos del análisis estructural se procedió a la verificación de secciones con el programa ya mencionado.

Como ya se comento el "primer arco" es el que presenta mayores esfuerzos y por tanto los resultados que se presentan a continuación corresponden a este elemento.

Cabe mencionar que se cuenta con la información de todas y cada una de las piezas que conforman la estructura y que además de la verificación del primer arco se verificaron otros intermedios, así como el final, además de los elementos del ábside, en los que sobra decir son solo mitades de los restantes y por tanto con solicitaciones diferentes.

Las características generales de la madera que se verifico fueron las siguientes:

Especie: Pino Oregón

Grado: 3

Contenido de humedad: <30%

Grupo: ES5

Clase: F I I

(Conforme a Norma Chilena NCh 1998 Of.91)

Para efectos de flexión, la zona más fatigada se localiza en la alfarda, en donde con una sección de 5" x 24" recibe un momento flector de 54.800 N·m provocando una tensión de trabajo prácticamente igual a la tensión admisible (7,70 MPa), sin embargo existe otra zona que se localiza en los riñones del arco laminar en donde la relación de tensión de trabajo con la tensión de diseño es apenas de 1 a 10, esto resulta evidente al observar que el trabajo principal y único del arco es a la compresión.

Para efectos de compresión axial, el máximo valor se localiza en la parte baja de los arcos (haciendo hincapié que todo el arco esta comprimido), en donde con una sección compuesta de 18 laminas de 5" de ancho por 1" de espesor (generando en total una sección 5" x 18") soporta 90.800 N, teniendo una tensión de trabajo de 1,70 MPa contra 7,25 MPa admisibles.

En tracción axial y como consecuencia de la flexión que allí se presenta, el valor máximo de 14.400 N se localiza en la alfarda, nuevamente en la sección central de 5" x 24" con una relación de 1 a 10 en cuanto a tensión de trabajo – tensión admisible.

El cizalle máximo también se presenta al centro de la alfarda (por consecuencia), con 31.100 N y una tensión de trabajo de 0,65 MPa contra 0,97 MPa de admisible.

Por último los efectos de torsión en toda la estructura son prácticamente despreciables pues los valores máximos que se alcanzaron en este arco son de apenas 500 N.

Comentarios a los resultados

De acuerdo a los anteriores resultados es forzoso comentar que todos y cada uno de los distintos elementos que conforman la estructura, cumplen satisfactoriamente con las exigencias de la norma chilena, no se debe olvidar que las verificaciones se hicieron proponiendo un grado 3 para la calidad de la madera, no obstante se trata de una madera de mejor calidad, pues en una observación ocular de la misma, sin llegar a realizar una clasificación rigurosa es innegable que la madera allí utilizada es de calidad superior.

En todas las verificaciones efectuadas la tensión de trabajo fue inferior a la tensión de diseño, en ningún caso esta última se vio rebasada y esto posibilita a pensar que si se realizara una obra igual a la del presente trabajo, con una madera de esta calidad, sería posible disminuir las secciones, con lo que la carga transmitida a los muros sería rebajada; sin embargo este último tema parece no ser problema al observar la robustez de los muros de la basílica, no se olvide que originalmente se pensó en

cubrirla con bóvedas de crucería.

El conocimiento a detalle de todos y cada uno de los elementos que conforman la estructura de la cubierta y de las así como las características del material, permitió la modelación en el programa de AVwin, modelación que trato de responder lo más fielmente posible a las características de cada uno de los elementos y a la cubierta en general.

Cabe decir que la existencia de piezas dobles, tales como los jabalcones y las alfardas, se modelaron como una pieza sólida, es decir, de una sola sección; lo mismo que el arco que consta de 18, 20 y 14 piezas respectivamente a lo largo de su desarrollo y que unidas solo con pernos y cinchos, continúan siendo piezas individuales.

Sin embargo, considero que de acuerdo a los datos obtenidos, tanto en el análisis estructural, como en la verificación de las secciones, permite asegurar que la modelación responde en un alto porcentaje a lo que ocurre en la realidad y por lo tanto es posible establecer conclusiones al respecto.

Posteriormente con la verificación de las secciones, en el programa de Diseño y Verificación de secciones según NCh 1998 Of. 91, se comprobó que se cumple cabalmente dicha norma.

Se concluye que la flexión es la tensión mayor a la que se ve expuesta la estructura, pero sólo en los casos de los jabalcones y las alfardas, el elemento laminar trabaja, solo a compresión, o bien, su exigencia mayor se da en ese aspecto, por lo que, no se requirió de un análisis exhaustivo para todos los arcos, todas las secciones ni para todas las tensiones.

Conclusiones

La cubierta de esta basílica es un fenómeno constructivo que merece una atención especial por la necesidad de la comprensión de la tecnología.

El análisis de la cubierta de la Basílica de Nuestra Señora de la Salud, da la base para otras investigaciones sobre madera laminada apemada, pues aunque de momento no exista ninguna norma o regla de cálculo para este tipo de estructuras, cierto es que esta tipología responde satisfactoria-



mente a los requerimientos solicitados, tanto desde el punto de vista arquitectónico, como el estructural. Pero además, existen otras tantas construcciones en madera, construcciones olvidadas por la invasión del cemento y el acero.

Ahora bien, respecto al análisis estructural y a la verificación de las secciones realizada en el presente trabajo viene a demostrar la amplia experiencia que el constructor tenía sobre el material madera y sus características, pues evidente es su adecuación con un profundo conocimiento del comportamiento del sistema.

No perder de vista que se trata de un elemento laminar apernado, ejecutado *in situ*, gran diferencia con respecto a la madera laminada encolada.

Debo comentar que la posibilidad de analizar concienzudamente este tipo de madera laminada (apernada) es un reto para profundizar en su estudio y análisis, pues presenta una tecnología rescatable en la medida que se avance en su conocimiento. El hecho de prescindir del pegamento para el laminado y por tratarse de una estructura que puede elaborarse en el sitio, justifica la acción de voltear atrás en el tiempo para conocerla, estudiarla y utilizarla.

Sin embargo, no basta con tener experiencia en el uso de la madera, se requiere un conocimiento profundo del comportamiento estructural que tiene y debemos aprovechar los avances de la tecnología para ello.

Pero ante la evidencia, es difícil poder afirmar que la madera se ha usado siempre con buena fe y sin mayores conocimientos técnicos de la misma.

No caigamos en el error de que por tener al alcance una tecnología superior, debemos considerarnos poseedores de un conocimiento mayor. Esta cubierta nos dice lo contrario o al menos nos hace una llamada de atención para considerar esta tecnología de laminado sin pegamento, como una posibilidad de solución factible y confiable.

Hace falta estudiar más al respecto de la **madera laminada apernada**, con el ánimo de rescatarla y no cometer nuevamente uno de los errores

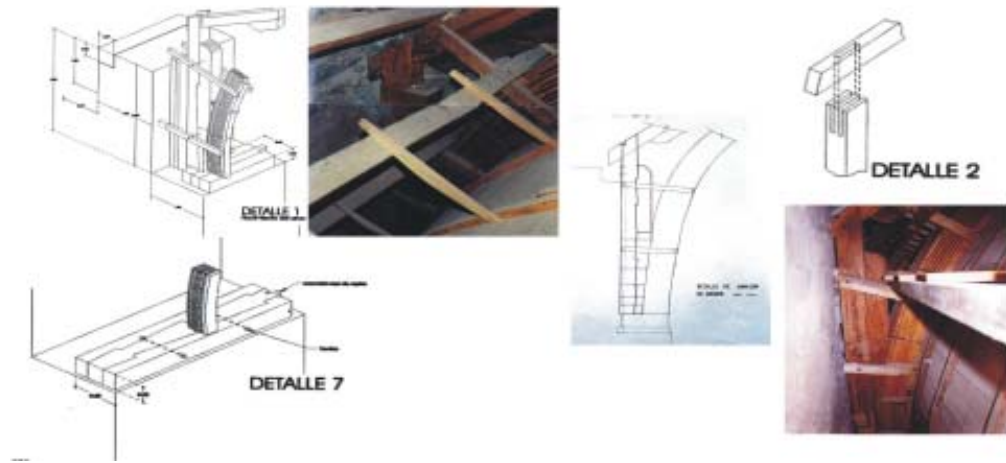


FIGURA 10. DETALLES CONSTRUCTIVOS (DIBUJOS MÉNDEZ, 1999. FOTOGRAFÍAS, DEL AUTOR)



FIGURA 11. DETALLES CONSTRUCTIVOS (DIBUJOS MÉNDEZ, 1999. FOTOGRAFÍAS, DEL AUTOR)

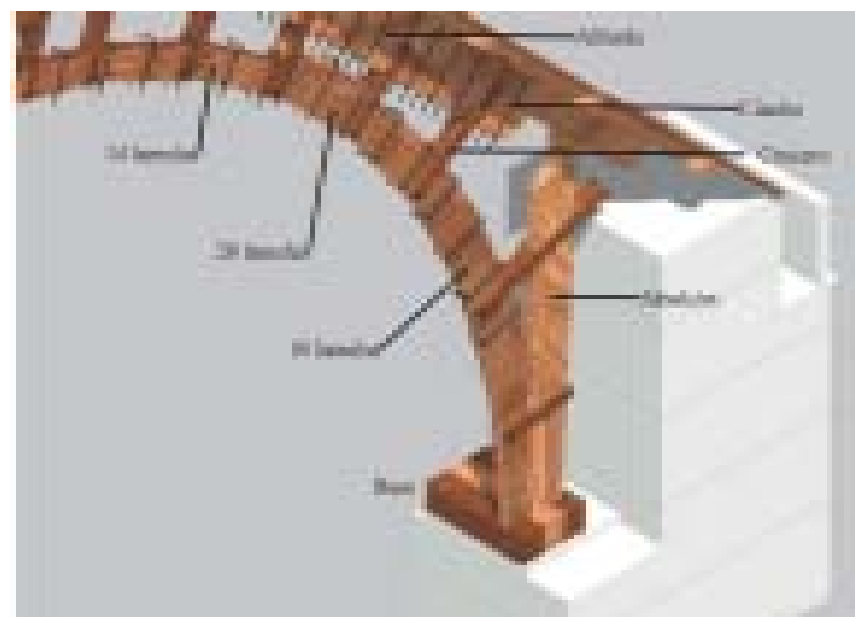


FIGURA 13. DETALLE DE ARCO (DIBUJO PERSONAL)



contemporáneos, consistente en dejar de lado, ignorar o menospreciar el conocimiento histórico; sin tomar en cuenta aspectos positivos o negativos, que no dejan de ser experiencias al fin.

La necesidad de materializar nuestros proyectos arquitectónicos y que reflejen nuestra respuesta a la necesidad que generó el espacio, nos hace buscar cada día nuevas alternativas para ello. La madera que durante muchos años ha sido utilizada como material de construcción y en gran medida basándose solo en la experiencia, tiene grandes posibilidades de ser **el material** con el que llevemos a cabo ahora y en los años venideros dichas materializaciones.

Bibliografía:

Bassegoda Nonell, Juan. 1976. *Historia de arquitectura*. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España.

Bérchez, Joaquín. 1992. *Arquitectura mexicana de los siglos XVII y XVIII*. (Col. Arte Novo hispano). Azabache. México.

Kubler, George. 1948. [Arquitectura mexicana del siglo dieciséis] *Mexican architecture of the sixteenth century*. Tomo I y II. Greenwood Press, Publishers. Westport, Connecticut, EUA.

Kubler, George. 1986. *Arte y arquitectura en América precolonial*. Manuales Arte Cátedra. Ediciones Cátedra, S.A. Madrid, España.

Méndez, Francisco. 1996. *Basílica de Nuestra Sra. de la Salud, plano corte transversal y detalles para el Proyecto de Restauración de la Cubierta Principal*. Pátzcuaro, Mich., México.

Poblete Arredondo, Cecilia. 2000. *Adaptación del sistema chileno de normas para el cálculo de construcciones en madera*. Memoria de tesis. Université Catholique de Louvain. Bélgica.

Ramírez Montes, Mina. 1986. *La Catedral de Vasco de Quiroga*. El Colegio de Michoacán. Zamora, Mich., México.

Soporte lógico

AVwin 98, plusV2.0 (demo) 1998. Programa para computador. Avansse International, Inc. Columbia MD, Estados Unidos de América. PC. Este programa de modelación de estructuras para análisis y cálculo trabaja con coordenadas espaciales y con las propiedades del material en uso de acuerdo a las escuadrías y a los distintos estados de carga a los que esta expuesta, con lo anterior debidamente modelado el programa proporciona resultados de tensiones, deformaciones y desplazamientos de la estructura, con los cuales es posible establecer relaciones entre tensiones aplicadas y resistencias admisibles de acuerdo a la norma que convenga.