

Posibles variantes para la restitución de la bóveda de la capilla abierta de Coixtlahuaca

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA EL

ARQUITECTO
JOSÉ GREGORIO VADILLO ROJAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

2005



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Director de tesis:

DR. JUAN BENITO ARTIGAS HERNÁNDEZ

Sinodales:

DR. ALEJANDRO VILLALOBOS PÉREZ

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

DR. GUILLERMO BOILS MORALES

M. EN ARQ. RAÚL CÁNDIDO NIETO GARCÍA

SÍNODO



A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por ser la máxima casa de estudios y por todo lo que me ha dado y por todo lo que significa.

A mi familia

Rafael,[†] Ignacio,[†] Isabel[†] y Julia con todo mi cariño.

Mamá y Raquel gracias por su apoyo incondicional en mis proyectos.

Pablo, Toña, Rafael, Roxanna, Isabel y Jonathan.

Papá y Grecia.

A mis maestros

Por regalarme una pequeña parte de todo su conocimiento y su amistad.

A mis compañeros y amigos

Por todos los momentos agradables que hemos pasado.

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE.

Introducción	003
Índice	005
I.- El espacio	007
A) Antecedentes	008
a. Definición	
b. Niveles jerárquicos	
c. Los momentos del espacio	
B) El gótico	013
a. La herencia de las culturas previas	
b. El cambio de mentalidad	
c. El espacio en el Gótico.	
C) El renacimiento	023
a. El espacio en el renacimiento	
b. El renacimiento en España	
c. La arquitectura de la Nueva España	
D) Conclusiones	027
II.- Bóvedas	028
A) Definición	029
B) Historia de las bóvedas	032
C) Bóvedas en España durante el Renacimiento	044
D) Las bóvedas en la Nueva España durante el siglo XVI	045
E) Conclusiones	046



III.- La capilla abierta de Coixtlahuaca	048
A) ¿Qué es una capilla abierta?	049
B) Emplazamiento	060
C) Características de la capilla	062
a. Sus espacios y su función	
b. Sistemas constructivos	
c. Estado actual	
IV.- Proyecto de restitución de la bóveda	073
A) Principios para la intervención	074
B) Análisis de forma	075
a. Primer análisis	
b. Analogías consideradas	
c. Proceso de búsqueda	
d. Aplicación de las reglas empíricas	
e. Consideraciones finales	
C) Proyecto	102
a. Consideraciones de la estructura y cálculos	
b. Preliminares y liberaciones	
c. Consolidaciones	
d. Restituciones	
D) Programa de mantenimiento preventivo	111
Conclusiones finales	114
Anexos	118
Bibliografía	156





INTRODUCCIÓN

El origen de la presente investigación se remonta al año dos mil, al visitar por primera vez el poblado de San Juan Bautista Coixtlahuaca y al estar en el conjunto conventual, verdadero icono de la región de la alta Mixteca oaxaqueña. La capilla abierta roba la atención de cualquiera y hace trabajar la imaginación, tratando de visualizar cómo era en esos días de la evangelización; su forma completa, su uso, ¿por qué fue concebida de esa manera?

Ya en fechas recientes, Coixtlahuaca es pieza clave dentro del proyecto llamado “Conventos Dominicanos de la Mixteca” junto con Yanhuatlán y Teposcolula, proyecto que ha demandado grandes recursos económicos para la restauración de los tres grandes conventos.

Aunado a lo anteriormente expuesto, la restauración de los edificios patrimoniales en México y en especial los trabajos realizados en Oaxaca apreciamos una tendencia a la restitución de elementos perdidos y algunas veces han sido inventados sin fundamento, tratando de llegar a un estado prístino y al mismo tiempo, la inclusión de nuevos usos en estos edificios hace que surjan las dudas; ¿es correcto hacer estas restituciones?, ¿existe algún método para facilitar estas restituciones y evitar el falso histórico?, ¿podemos incluir elementos de nueva tecnología?, ¿cómo era la bóveda de la capilla de Coixtlahuaca?, ¿es viable restituirla?, Todas estas preguntas nos llevan a desarrollar esta tesis con el nombre: **“POSIBLES VARIANTES PARA LA RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA DE COIXTLAHUACA”**.

Dado el hecho de la inexistencia de descripciones, dibujos o fotografías donde se muestre nuestro caso de estudio completo, pero con el conocimiento histórico de que la bóveda de la capilla estuvo en pie durante muchos años, se presenta esta tesis que busca como objetivo general:

“Crear un método para la restitución de la bóveda de la capilla abierta de Coixtlahuaca, mediante un análisis de conceptos espaciales, ideológicos, compositivos y procedimientos constructivos utilizados durante el siglo XVI”.

La hipótesis nos dice que: estudiando el objeto arquitectónico, como hecho consumado de un conjunto de procesos, compositivos, constructivos e ideológicos totalmente congruentes con su lugar y tiempo, nos llevara a poder proponer la restitución de cualquier elemento arquitectónico del cual no tenemos descripción gráfica.

Así en un primer capítulo analizaremos algunas características sobre el espacio, ¿Qué es?, ¿Cómo se compone?, ¿De que manera ha sido interpretado a lo largo del tiempo?, y haremos énfasis en las ideas del periodo Gótico y del Renacimiento, por ser los antecedentes ideológicos directos de la creación de bóvedas de crucería con nervaduras y de los espacios creados en la época de contacto en la Nueva España.



Seguiremos abordando el tema en el capítulo segundo, analizando brevemente ¿que son las bóvedas?, su historia desde los orígenes, para entender cómo los procesos constructivos tardaron mucho tiempo en evolucionar y llegar a las variedades de bóvedas que conocemos actualmente. Así mismo podremos entender cómo muchas veces ciertas modificaciones en las bóvedas son más consecuencia de las modas dictadas por las ideas del momento de su construcción que realmente un nuevo proceso constructivo.

Para la tercera parte de nuestro trabajo analizaremos qué son las capillas abiertas, su origen, clasificación y haremos una comparativa de la composición de algunos espacios mesoamericanos y de las capillas abiertas, para afianzar por qué las capillas abiertas de México son únicas. Ya entrando a nuestro objeto de estudio haremos un análisis de su programa, ubicación y estado de conservación.

Como capítulo cuarto y final, presentaremos bajo qué principios se debe de restituir la bóveda, los análisis realizados de la forma y su relación con los procedimientos constructivos y de diseño del siglo XVI, así como algunas analogías que nos permitan llegar a nuestro objetivo.

También en este capítulo presentaremos como proyecto de restitución de la bóveda tres soluciones posibles:

La primera será realizar la bóveda con sistemas constructivos y materiales propios del siglo XVI.

En una segunda propuesta se propone utilizar materiales contemporáneos, supeditando estas soluciones al uso que se pretenda dar del edificio.

Finalmente la propuesta tres es un análisis geométrico que permite la mejor transferencia de carga a los apoyos y presenta mejor estabilidad, aunque no se ajuste fielmente al análisis de forma desde el punto de vista histórico.

Adicionalmente es importante la inclusión de un pequeño programa de mantenimiento preventivo que facilite a los habitantes de Coixtlahuaca conservar su edificio en las mejores condiciones posibles sin tener que hacer intervenciones correctivas.

Finalmente se expondrán conclusiones sobre esta investigación esperando que sea un documento que facilite a los arquitectos restauradores en un futuro no muy lejano su actividad profesional.

También esperamos despierte este documento el interes por temas afines a los expuestos, ya que aún hay mucho camino por recorrer para lograr la mejor identificación de nuestra sociedad con nuestro colectivo diacrónico y así podamos entender nuestro pasado, el presente y proyectemos al futuro un mejor país.



CAPITULO I EL ESPACIO



I.-Antecedentes:

A.-El espacio.

a.- Definición.

“El espacio arquitectónico: *Corresponde a las partes no construidas de la obra arquitectónica, también objeto de la creación arquitectónica, Sus principales componentes son la luz y la conformación que recibe de las formas construidas. Fue definido por Juan de la Encina como espacio expresivo estético, por ser portador de la expresión, objeto de la obra de arte y, por estar creado con intención estética, para diferenciarlo del espacio de la naturaleza. El sentimiento de espacio proviene, en la última instancia de la captación de lo profundo”.*¹

Siguiendo a Juan de la Encina, en su libro “El espacio”², define a las artes por sus características con relación al espacio y el tiempo, la música la define como un arte de tiempo ya que su expresión es lineal y tiene un término, la poesía de igual manera y la danza es una interrelación de espacio y tiempo ya que la actividad plástica de los ejecutantes requiere de un espacio, pero al mismo tiempo es lineal y tiene un periodo de tiempo. La escultura al igual que la arquitectura requiere de espacio aunque podemos decir que el elemento que caracteriza y diferencia la arquitectura de las demás artes es el espacio, el cual a su vez sintetiza todos los factores materiales, formales y compositivos que lo definen. El caso de la pintura es especial ya que la obra como tal ciertamente ocupa un espacio pero lo importante realmente está en que la obra pictórica captura en dos dimensiones la idea de un espacio a veces real o imaginario.

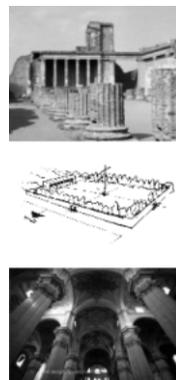
Regresando a la arquitectura Coppola D'anna Pignatelli, nos dice: *“Espacio-habitación es el ámbito en el cual el hombre vive, solo o en grupo (familiar o no), en estrecho contacto con otros hombres o grupos, en el cual se desarrollan funciones estrictamente ligadas entre sí”.*³

De esto debemos tomar en cuenta que la función del espacio que el autor llama habitacional es el desarrollo de las actividades que realiza día con día el ser humano, y nos habla de interrelación de personas. De aquí se deduce que si hay espacios para actividades individuales y actividades de conjunto por lo tanto estos espacios deben estar compuestos de manera que den respuesta a las necesidades de los usuarios es decir debe de existir una estructura como veremos a continuación.

1.- VOCABULARIO ARQUITECTÓNICO ILUSTRADO, SAHOP, 1980.

2.- Juan de la Encina. EL ESPACIO. UNAM, 1978.

3.- Coppola D'anna Pignatelli, EL ANÁLISIS Y EL DISEÑO DEL ESPACIO, Concepto, 1980



Jean Piaget dice: “Una estructura esta formada por elementos pero estos están subordinados a leyes que caracterizan el sistema como tal; tales leyes, llamadas de composición no se reducen a asociaciones cumulativas, sino que confieren al todo propiedad de conjunto, distintas de las de los elementos”.⁴

Hasta aquí podemos decir que para pensar en arquitectura debemos considerar una estructura de espacios interrelacionados. Recordando las clases del arquitecto Roberto Iglesias (q.e.p.d.), en la Facultad de arquitectura de la UNAM, nos mencionaba que la arquitectura es la composición del espacio-forma, ¿Que se quiere decir con esto?

Primeramente la arquitectura como todas las disciplinas donde se diseña se busca solucionar una necesidad, esto lo haremos utilizando una materia prima y una técnica especifica que nos dará como resultado un objeto terminado. En nuestro caso hablamos de espacio-forma como nuestro objeto. (ver. Fig.1.1)



fig.1.1 Diagrama base de diseño

La arquitectura esta compuesta de espacios que son determinados por su envolvente que no necesariamente debe de ser un edificio, la simple delimitación física o virtual realizada por el hombre con la intención de resolver su necesidad nos habla de arquitectura. Como ejemplos podemos manejar los conjuntos prehispánicos en donde se demuestra claramente la intención de la articulación de los espacios abiertos para resolver las necesidades. Otro ejemplo mas práctico es nuestro tema a desarrollar, “la capilla abierta”, ya que existe una composición de espacios que hacen existir una coherencia en su función, la delimitación física del presbiterio es un ejemplo de un espacio forma delimitado por muros, al igual que las dependencias que están muy íntimamente relacionadas entre sí, sin embargo la nave descubierta es delimitada de manera virtual como nos lo muestra el Dr Juan Benito Artigas en su libro Capillas Abiertas aisladas.⁵

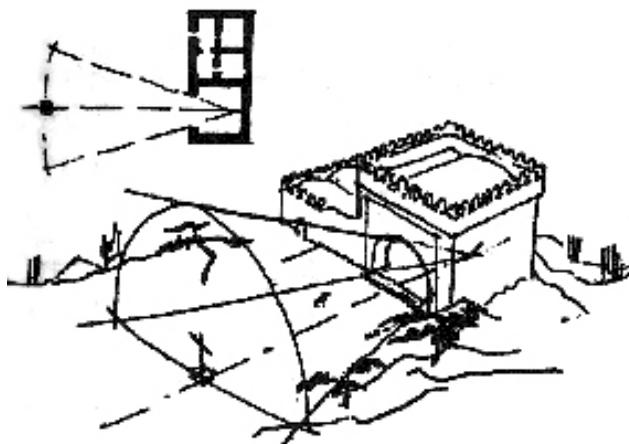


Fig.1.2 San Juan Atzoncintla, Meztlán Hgo.⁶

4.- Coppola D'anna Pignatelli, EL ANÁLISIS Y EL DISEÑO DEL ESPACIO, Concepto, 1980

5.- Juan Benito Artigas H. CAPILLAS ABIERTAS AISLADAS. UNAM. 1992.

6.- Juan Benito Artigas H. ARQUITECTURAA CIELOABIERTO COMO UN INVARIANTE CONTINENTAL.

Grupo editorial TOMO. 2001



De esto comentaremos más adelante al tratar la capilla. Con esto podemos decir que el espacio forma se puede delimitar de varias maneras, no solo con construcciones voluminosas.

Ahora bien, una obra arquitectónica esta compuesta por varios espacios, es decir la conjugación de espacios-forma nos dan un todo que resuelve nuestra necesidad. Esta composición implica que todos los elementos son importantes para la función, por lo tanto el quitar un elemento de nuestra composición desarticula nuestro diseño.

Así como el espacio, las decoraciones, elementos, colores texturas y técnicas constructivas van a constituir un todo de cuatro dimensiones, "largo, ancho profundidad y temporalidad". Esto nos remite a la teoría del maestro Villagrán García⁷ que nos dice que la arquitectura debe de ser: útil, lógica, bella y social.

Pero hasta aquí hemos hablado del espacio desde el punto de vista de su función, o como lo llama Leland Roth: *ESPACIO FUNCIONAL*.⁸ Que es como se ha manejado durante el siglo XX desde las épocas de la arquitectura funcionalista y hasta nuestros tiempos, pero también hasta este momento hemos dejado a un lado el espacio perceptivo como lo llama nuestro autor, que es la parte metafísica de la concepción espacial, ya que esta ha sido determinante a lo largo del tiempo. De esto nos habla Juan de la Encina en su ya citado libro.⁹ En este libro nos explica cómo se ha ido manejando la concepción de espacio en el tiempo y nos muestra que el espacio arquitectónico no solo es resultado de la simple aplicación de la técnica constructiva, el espacio es una conjunción de una necesidad y todos los elementos físicos, guiados por una intención ideológica que le da una parte realmente metafísica que no es fácil de entender muchas veces. De esto hablaremos mas adelante.

b.- Niveles jerárquicos del espacio.

Varios autores, la mayoría del siglo XIX y principios del XX como en el caso de Kahn, dan al espacio tres niveles jerárquicos, que son:

Tectónicos: es el que resulta del ensamblaje que se define por la adición de los elementos constructivos que lo definen.

Estereotómicos: Es el surgido del interior de la materia de la que se ha obtenido por sustracción de la misma.

Interrelación: es también llamado espacio transicional, establece el nexo entre el espacio interior y el exterior.

7.- Villagran García, José. TEORÍA DE LA ARQUITECTURA. INBA, 1983

8.- Roth, Leland M. ENTENDER LA ARQUITECTURA. Ed. Gustavo Gili. Barcelona 1999.

9.- Juan de la Encina. EL ESPACIO, Ed. UNAM. 1978.



De esta clasificación se entiende que el espacio tectónico lo crea el hombre a partir de la delimitación con los materiales. Es a lo que llama Leland Roth¹⁰ como espacio físico.

Después los espacios estereotómicos los define como espacios substraídos. Esto nos remonta a las construcciones realizadas en cavernas o desbastando algún cerro. Podemos poner como ejemplo en México el templo prehispánico de Malinalco, este tipo de construcción fue muy usada en la antigüedad y muchas veces el sentimiento que se obtiene en este tipo de construcción tratará de ser reproducido en otros tipos de construcciones y concepciones arquitectónicas.

El espacio de transición es un espacio de unión que entrelaza el espacio abierto con los espacios cerrados. Pero aquí surge la duda, ¿Qué pasa con los espacios abiertos?, ¿Cómo los definimos dentro de esta clasificación?

En las ciudades se considera como exterior la calle, entonces todo lo que hay al interior es espacio tectónico y en algunos casos se liga al exterior con un nártex, o en la arquitectura civil de la nueva España es común el zaguán. ¿Pero la ciudad no está diseñada?, ¿No cuenta con espacios definidos? Las calles y plazas son parte de un diseño urbano y tienen una delimitación, por lo tanto los espacios abiertos también son parte de la composición del edificio ya que se deben de tener en cuenta al realizar la composición de los espacios tectónicos.

Tal vez es difícil ubicar en alguna de las categorías los espacios abiertos. La manera fácil tal vez sería dejarlos en una categoría aparte, pero debemos decir que los espacios abiertos en caso de calles y plazas se construyen tectónicamente, pero también en algunos casos están delimitados y tienen una función de transición de la calle al espacio religioso, como por ejemplo una secuencia compositiva del paso de la calle a un atrio y luego al interior de un templo, donde el atrio es una transición.

c.- Los momentos en el espacio.

La idea de espacio en arquitectura no ha sido igual al pasar de los años. Poco a poco nos vemos inmersos en nuevas teorías e ideas, pero realmente los espacios siguen allí y la interpretación de los mismos es al momento de estar en ellos. La concepción espacial de SIGFRIED GIEDION, dice que el espacio posee tres momentos:

10.- Roth, Leland M. ENTENDER LA ARQUITECTURA. Ed. Gustavo Gili. Barcelona 1999.



1- La arquitectura como volúmenes de espacios radiales. (Egipto, Mesopotamia y Grecia), predominan los volúmenes externos y se considera el espacio como un vacío.

2- La arquitectura como espacio interior (Romano, Románico, Gótico, Renacentista y Barroco). Los cambios religiosos y sociales están detrás de los cambios de las formas arquitectónicas y del descubrimiento y desarrollo de nuevas técnicas.

3- La arquitectura como volumen y espacio interior. La influencia más decisiva vino de los revolucionarios métodos de construcción desarrollados por la industria del siglo XIX.

De estos momentos observamos que la arquitectura para el siglo XVI (época de construcción de nuestro objeto de estudio que veremos más adelante), el autor nos define que la arquitectura está pensada al interior, que lo importante es el espacio generado en los interiores, ¿Pero qué sucede al momento de no existir esos interiores?, ¿Cómo se compone el espacio?

Por eso las capillas abiertas son la primer gran aportación del nuevo continente a la arquitectura universal, ya que en un momento donde sólo se pensaba en espacios al interior se crea un tipo de edificio que integra espacios forma tanto interiores como exteriores que conservan espacios que se componen conservando una dirección (espacio direccional)¹¹ para realizar una sola actividad donde interactúan los usuarios.

También de estos momentos es importante observar que mucho de la concepción espacial se va a dar por las formas de pensar de los creadores de la arquitectura. No es igual la manera de concebir y componer el espacio que tuvieron los egipcios y los griegos a la concepción de los bizantinos, góticos, barrocos y demás momentos dentro de la arquitectura, de este tema podríamos ahondar mucho más pero nos concentraremos en hablar del gótico y del renacimiento.

Tomaremos este camino para aclarar el momento de nuestro objeto ya que puede ser engañoso el hecho de que; al hablar de nervaduras y algunos sistemas constructivos que son tradicionalmente considerados góticos, los encontramos dentro de la nueva España y aún reconociendo la influencia que viene del gótico tardío español o gótico Isabelino, no podemos considerar los espacios dentro del estilo y tampoco algunos procedimientos constructivos los podemos clasificar como tal. De igual manera trataremos de ver las características renacentistas en la intención espacial, para tratar de establecer las bases de cómo se concibe el espacio y como la conjunción de ideas nos llevará a obtener un mejor resultado.

11.- Roth, Leland M. ENTENDER LA ARQUITECTURA. Ed. Gustavo Gili. Barcelona 1999.



B.- El Gótico

a.- La herencia de las culturas previas.

La tradición arquitectónica se va generando con el desarrollo de las sociedades, las cuales al tener interacción con otras sociedades diferentes, se reinterpretan ideas y conceptos que son integrados a su cosmovisión.

Por tal motivo en la historia de la humanidad en especial de la cultura occidental, han existido a lo largo de la historia momentos donde el contacto entre culturas generó una transferencia de conocimiento muy basta y que han sido determinantes en el desarrollo de nuestra sociedad.

Existen varios momentos importantes en la historia que determinan el intercambio de conocimiento, especialmente con las culturas de medio oriente que son herederas de una tradición arquitectónica más antigua (cultura Asiria sus primeros asentamientos datan del 6500 a.C.).

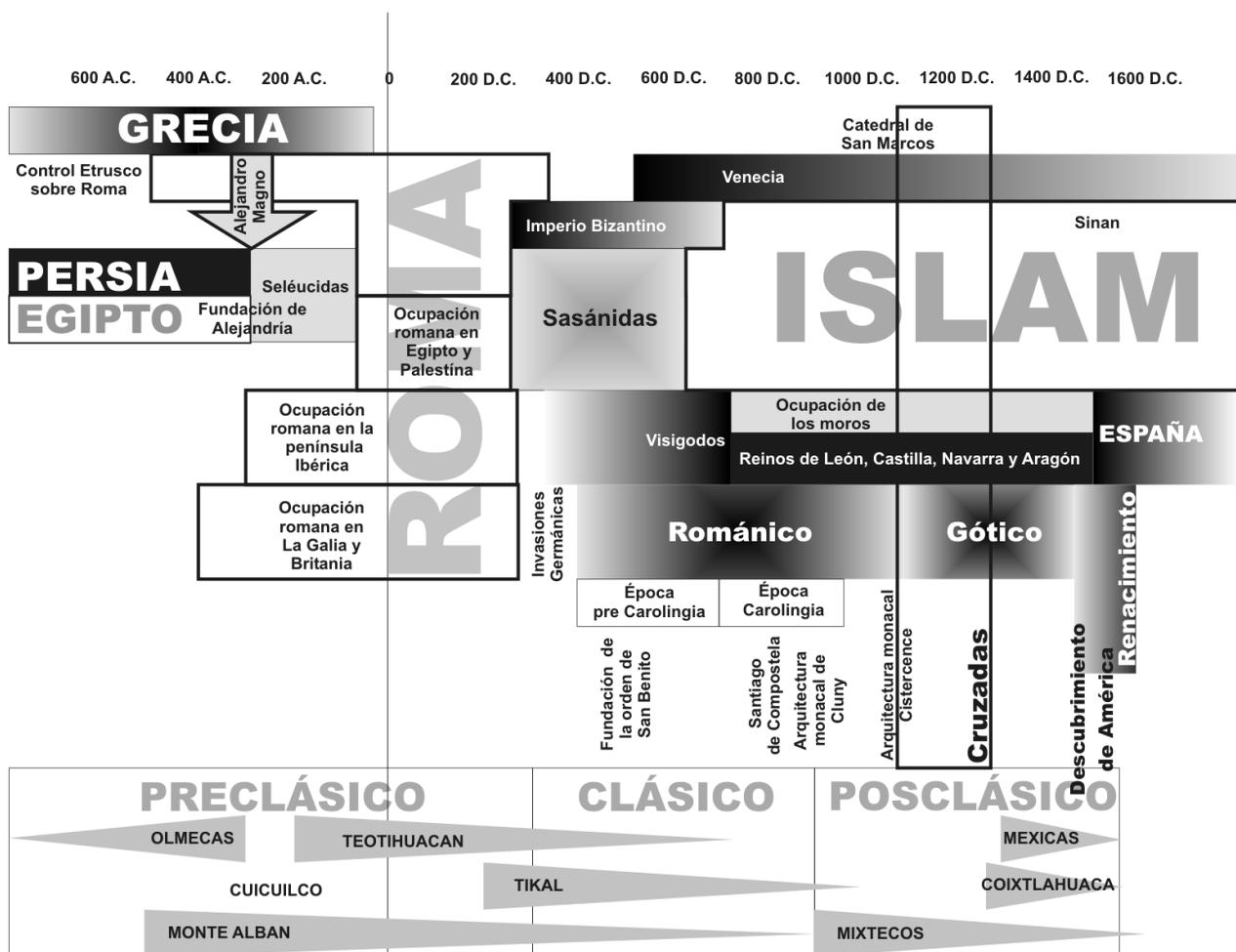


Figura 1.3.- Cuadro cronológico del desarrollo cultural en Europa y medio oriente con referencia a ejemplos Mesoamericanos.



La tradición de las culturas del medio oriente y de Egipto fue siempre un imán que atrajo la atención de los grupos de occidente. Así podemos mencionar que uno de los momentos más importantes donde empieza ese intercambio ideológico, es cuando Alejandro de Macedonia vence a los persas en el 333 a.C. e inicia una campaña al oriente que llegará hasta la India.

Posteriormente será el imperio Romano el que seguirá este intercambio al tener control sobre todo el continente Europeo, medio oriente y Norte de África.

Pero a la caída del imperio los ataques de los grupos bárbaros (Siglo III y IV d.C.), hacen que Europa pierda contacto directo con oriente y entonces la ciudad estado de Venecia con sus tratos comerciales es quien lleva el intercambio de conocimiento.

En este momento se refuerzan muchos conocimientos que vienen directamente de los persas, seléucidas y sasánidas, tecnologías que fueron heredadas por los grupos Islámicos que tomaron control de oriente medio y norte de África.

Esta expansión del Islam viajó hasta la península Ibérica donde su incursión duró ochocientos años, que al final dejó una gran herencia cultural a occidente como son los conocimientos de matemáticas, astronomía y el arte Mudéjar.

Pero retomemos el siglo VI. Ya después de las invasiones de los grupos bárbaros es cuando se funda la orden de San Benito, que dará fuerza a la vida monástica occidental.

Estamos en el periodo "PREROMANICO", en la época precarolingia de acuerdo con la clasificación de Hans Eric Kubach.¹² Son los visigodos quienes dominan la Península Ibérica y sur de Francia, en Italia es la dominación longobarda y los anglosajones en las Islas Británicas. Son escasos los ejemplos de construcciones religiosas de esta época y se basan principalmente en descripciones.

"La regla benedictina imponía muy poca austeridad y ascetismo: tenían que disponer de la comida, ropa y abrigo adecuados; dependiendo de la época del año y de las fiestas litúrgicas que celebraran cada día los benedictinos destinaban entre cuatro y ocho horas para celebrar el oficio divino y siete horas para dormir. El resto del día estaba dividido con el mismo número de horas para trabajar (generalmente en la agricultura), y para el estudio y la lectura religiosa. El abad tenía una total autoridad patriarcal sobre la comunidad, aunque él mismo estaba sujeto a la Regla y debía consultar con los miembros de la comunidad sobre los asuntos más importantes".¹³

12.- Kubach, Hans Eric. ARQUITECTURA ROMANICA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.

13.- Enciclopedia Encarta 2001, microsoft.



Durante la vida de San Benito, sus discípulos se encargaron de difundir esta orden por muchos países del centro y oeste europeo. Muy pronto se convirtió en la única orden religiosa importante de estos países.

Siguiendo a Kubach¹⁴, en la época carolingia es en Cluny Francia, un importante centro religioso, que con la fundación del monasterio benedictino en el año 910, se convierte en la sede de la orden cluniacense, que destacó por el estricto seguimiento de la regla de San Benito, y por ser centro del románico europeo. Pero esta orden caerá en los excesos y dará paso a una nueva regla.

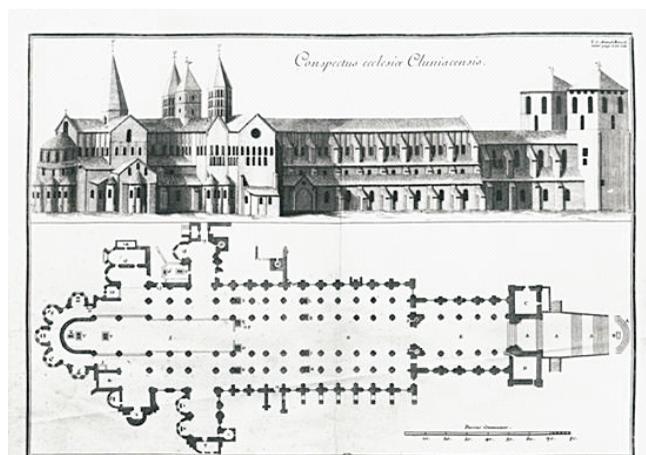


Figura 1.4.-. La iglesia de la abadía de Cluny (principalmente de los siglos XI y XII) fue la más grande e importante del mundo hasta la construcción de la basílica de San Pedro de Roma, en el siglo XVI.

En 1098 en Citeaux Francia, un grupo de monjes benedictinos de la abadía de Molesme, que estaban bajo la dirección de San Roberto de Molesme, crean la orden del Cister. En respuesta a la orden de Cluny considerando que esta se ha convertido en muy opulenta y que va contra los ideales de los benedictinos.

En 1113, san Bernardo de Claraval ingresó en el noviciado del monasterio de Citeaux; en 1115 se convirtió en el abad fundador de Clairvaux. En 1153 existían ya más de 300 monasterios cistercienses, 68 de los cuales habían sido fundados directamente desde Clairvaux. A finales de la edad media, la orden contaba con más de 700 abadías, habiendo logrado una gran expansión por casi toda Europa.¹⁵

A medida que la orden se fue expandiendo y prosperando, le fueron surgiendo nuevas exigencias. Para poder cumplir con estas demandas, los cistercienses se apartaron de los ideales marcados en su constitución, en parte porque algunas de estas disposiciones no eran compatibles con el espectacular crecimiento que experimentaba la orden.

14.- Kubach, Hans Eric. ARQUITECTURA ROMANICA. Ed. Aguilar, Madrid 1989

15.- Abad, Concepción y Cortés Arrese, Miguel. ROMÁNICO Y BIZANTINO. Ed. Promo. España 2003.



Durante el siglo XII, considerada como su edad de oro, los cistercienses constituían la orden con más influencia dentro de la iglesia católica. Alcanzaron obispados y desempeñaron diversas funciones eclesiásticas, encomendadas a los benedictinos de Cluny durante el siglo XI, reemplazándolos en la curia romana, que gobierna la Iglesia.

Fueron en gran parte los responsables de la expansión de la arquitectura gótica por toda Europa, y dedicaron mucho tiempo y esfuerzos en la recogida y copia de manuscritos para sus bibliotecas.

En el ROMANICO PLENO se realizan grandes obras como lo es la construcción de la catedral de Pisa en Italia, Santo Domingo de Silos y la transformación del antiguo templo prerrománico de Santiago de Compostela, en España. Las grandes peregrinaciones generaron las llamadas iglesias de peregrinación y muchas otras obras a lo largo de las rutas, como lo son San Martín de Tours y Santa Fe de Conquest.



Figura 1.5.- Catedral de Santiago de Compostela, España.

Para el TARDORROMÁNICO son muchos los edificios que se comienzan a construir o se proyectan, muchos de ellos cistercienses y con las formas representativas del románico, pero la lentitud de los trabajos hace que se terminen en el periodo Gótico ya con bóvedas de crucería y en el caso de Santa María de las Flores en Florencia el duomo de Brunelleschi dará paso al Renacimiento. (Ver figura 1.6)



Figura 1.6.- Catedral de Santa María de las Flores, Florencia.



Podemos decir que las órdenes benedictinas retomaron los esquemas de la arquitectura en la Roma antigua, en especial el de las basílicas, las cuales fueron modificando, añadiendo elementos como la girola y las absidiolas al rededor de estas.

El uso del cimborio y la aplicación de sistemas abovedados en sus cubiertas son resultado del conocimiento heredado de Roma, pero ya en épocas de las cruzadas la inclusión del arco apuntado permitirá el mejor desarrollo de los sistemas constructivos y modificarán la manera de entender el espacio como lo veremos más adelante.

b.- El cambio de mentalidad.

El período que abarca el arte gótico fue muy variado, heterogéneo y rico en contradicciones en los terrenos político, social e intelectual.

En el plano político, la primacía se desplaza en Europa en el siglo XIII. Con los últimos emperadores de la dinastía de los Hohenstaufen, el Imperio Germánico que pierde al mismo tiempo su supremacía y la dirección política e intelectual del continente.

A diferencia de Alemania, el reino de Francia prosperó de modo continuo. A los carolingios los sucedió la dinastía de los Capetos, en el año 987, la cual reinaría hasta 1328. La gran cantidad de pequeños estados, que gobiernan los poderosos señores feudales, llegan a hacer la guerra contra la corona que poco a poco va lograr un reino unificado.¹⁶

El papado tuvo participación notable en la evolución política e intelectual del occidente de Europa. Defendía la primacía del poder espiritual sobre el temporal. En vida de Inocencio III (1198-1216) su poder fue el más grande de la Edad Media. Afianzó ante todo la independencia política de los Estados Pontificios y aspiró a la soberanía sobre Sicilia. El apogeo de su poder lo obtuvo en el Concilio de Letrán, en el que se congregaron todos los jefes espirituales y temporales del occidente cristiano.¹⁷

La mayoría de los historiadores como Fratelli, Hartt o Hofstaller se inclinan por definir a la segunda mitad del siglo XII y principalmente al siglo XIII como una etapa de cambios radicales para Europa medieval.

16.- [Http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml)

17.- [Http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml)



El mundo construido sobre la base de la vida rural, el derecho señorial y la autoridad de los jerarcas eclesiásticos, el mundo de la alta Edad Media es, para esta época un ámbito diferente. Los europeos se agitan alrededor del comercio, el florecimiento de las ciudades, el fortalecimiento del poder de los príncipes y la aparición de una nueva clase social, **la burguesía** que puja por lograr en el rígido esquema de la sociedad románica un lugar acorde con su desarrollo. Desde cierto punto de vista el orden gótico es una síntesis de esta época de esplendor y nuevas fuerzas, de madurez y de impulsos revolucionarios.

“En este parteaguas del tránsito de lo rural a lo urbano, del poder de la nobleza a la monarquía nacional, del derecho dominial al derecho comercial, de la patristica a la escolástica, del románico al gótico, está la evolución de la estructura productiva hacia las formas económicas fundadas sobre el auge del intercambio: el siglo XI se caracteriza por la expansión del poder marítimo de las ciudades lombardas al conjunto del Mediterráneo y en el norte por la apertura de las rutas comerciales en el Báltico hasta las plazas de Escandinavia y Finlandia. Desde los comienzos, los lombardos frecuentaron las ferias de Ypres, Lille, Mesina, Brujas y Thourout. Para la época de la aparición del gótico en el norte de Francia, toda Europa vive el clima de un febril tráfico de mercancías. A la cabeza de este fenómeno se encuentran hombres nuevos: los mercaderes, un grupo social de orígenes discutidos pero de características bien definidas.”¹⁸

En el siglo XI los hombres se guían por su afán de lucro, hombres libres, que en los inicios, no producen nada, solo transportan. Se organizan en caravanas y flotillas armadas, con las que recorren las inseguras rutas europeas. El ejercicio del tráfico los lleva a procurarse una residencia fija en aquellos lugares favorables para su actividad: los puertos, que eran nudos comerciales. Estos eran antiguos puertos romanos, castellanías o burgos edificadas en torno de sedes episcopales.

El antiguo burgo debió incluir a los caseríos construidos extramuros y comenzó a ser designado con el nombre de arrabal o nuevo burgo. Desde comienzos del siglo XI se llamó a sus habitantes burgueses. Durante todo el siglo XII debieron realizar grandes esfuerzos en una lucha dura y encubierta por lograr que sus aspiraciones cotidianas ligadas a su práctica social pudieran integrarse al mundo románico para el que resultaban inadecuadas. La Iglesia compartió el sentimiento de renuencia con que la antigua sociedad recibió a los nuevos burgueses. Fue hostil a la vida mercantil y vio en la búsqueda de riquezas un peligro para el alma, prohibiendo el ejercicio del comercio a clérigos. La burguesía vino a cumplir un papel catalizador por el cual, con el paulatino ascenso del poder real, condujo a Europa a la formación de los estados occidentales y a la creación de una verdadera monarquía pontificia. Bajo el influjo del nuevo estilo de vida que la burguesía impone en las ciudades, aparecen multitud de hechos que contribuyen al cambio en la visión del mundo y que anuncian el pasaje del orden románico al gótico.¹⁹

18.- [Http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml)

19.- [Http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml)



Los choques que se suceden en todos lados, originados por la oposición entre el derecho de dominar y el derecho comercial, entre el intercambio en especie y el intercambio en dinero, entre servidumbre y libertad, llevan a la paulatina laicización de la vida europea en un proceso que, impulsado por las clases burguesas, culminará con la creación de una nueva etapa en la historia medieval europea. En medio de estos conflictos, en las ciudades, la burguesía concibe una administración civil a cargo de la que quedará la constitución del sistema financiero y contable, las escuelas, los reglamentos comerciales e industriales, los trabajos públicos: mercados, canales, correos, distribución de aguas y recintos urbanos. Con el transcurso de los siglos, la expansión urbana ejercerá una poderosa influencia en la laicización del Estado. Aún para la Iglesia, que mantiene la hegemonía en toda la Edad Media, el renacer urbano está en la base del movimiento que quiebra en el encierro del monasterio rural.

A principios del período gótico la gran misión cultural y económica de los monasterios había llegado a su fin, porque su protagonismo como conservadores del conocimiento había sido asumido por las universidades y porque su importancia económica había sido superada por las ciudades. Las grandes catedrales góticas fueron las mayores empresas económicas de la Edad Media. La catedral por definición sede de un obispo, tenía que estar ubicada en la ciudad.

A diferencia del románico, donde se representan los grandes misterios escatológicos, en el gótico se gira a las cosas y los problemas próximos; de la representación de símbolos o concepciones metafísicas a lo experimentable, lo individual, lo visible. Las cosas singulares ya no necesitan una justificación ultramundana para ser objeto de representación. Ninguna categoría del ser, para la nueva concepción religiosa, está completamente olvidada de la mano de Dios; cada uno expresa lo divino a su manera y es, por lo tanto, digno de ser representado por el artista.

La naturaleza se vuelve objeto de interés y es considerada digna de ser descrita en sí misma. Esto es posible porque dentro de los nuevos parámetros del pensamiento medieval la naturaleza hace transparente la espiritualidad y no está completamente desprovista de ella como el románico.

El naturalismo del gótico se expresa en su forma más coherente en la representación del hombre. Una visión totalmente nueva, opuesta por completo a la abstracción y al estereotipo románico, dirige su interés a lo individual y característico.



"Mientras en el rostro del Cristo románico encontramos una mirada insostenible, que, expresión descarnada de su potencia divina, niega con su presencia todo valor a la realidad terrena, los Cristos góticos o las figuras del Antiguo y Nuevo Testamento tienen rostros humanos. A pesar de su idealización, nos remiten a nuestro mundo cotidiano: las cejas y los pómulos están suavemente delineados, las comisuras de los labios y las arrugas de la frente parecen pliegues de la piel y ya no son líneas decorativas como en las figuras de Moissac. Estamos en un mundo terreno. No son retratos, simétricos y plenos, sin defectos, sin ningún signo distintivo, tienen todos un aire de familia. No reflejan un individuo en particular sino a la humanidad en general".²⁰

La representación de los hombres del gótico, así como la de los animales, mantiene una relación ambigua, refiriéndose a formas naturales sin transcribir realidades particulares. Por ejemplo la flora ornamental románica estaba tomada de motivos antiguos. En la época gótica, en cambio, hojas y flores se refieren al occidente europeo. Sin embargo, no pertenecen a ninguna especie en particular.

Por otra parte, los artistas del gótico se esforzaron por representar un mundo despojado de particularismos porque ponían el acento en los grupos, en las características comunes de los conjuntos.



20.- [Http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml)

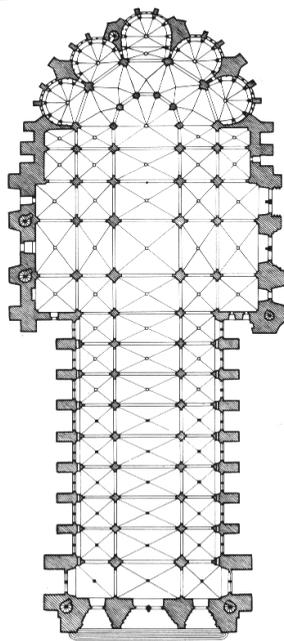


c.- El espacio en el Gótico

Todo el cambio de mentalidad en las ideas del gótico se va a expresar en la arquitectura, en especial en el edificio característico de este periodo que es la catedral.

Primero en planta observaremos que la disposición del edificio es realizada a manera de cruz latina y de tipo basilical con tres, cinco naves o hasta siete, lo cual nos habla de las grandes empresas que fue el edificarlas y si a eso le aunamos que la intención formal se encamina a ser vertical, a una expresión donde el hombre muestra su capacidad constructiva y por medio de los elementos arquitectónicos busca esa sutileza y naturalismo mostrado en otras artes.

El redescubrimiento y aplicación de sistemas como las bóvedas de nervaduras, los arcos botareles permiten que las construcciones cumplan su objetivo de crecer de dar una gran magnificencia al edificio dentro del núcleo urbano en el cual se van a enclavar estas grandes catedrales.



¡Que magia de esas catedrales donde se pierde el observador dentro de la inmensidad de esos espacios, y la luz hace que se flote!, y sin embargo en esas construcciones como diría Eugene Emanuel Violet Le Duc: *“Todo es función de la estructura... en el arte Gótico no existe forma arquitectónica alguna que este fundada en la libre fantasía”*.²¹

El resultado es realmente fantástico ya que en esa búsqueda de verticalidad lleva el uso del material a su limite y las secciones se van adelgazando y desaparece esa masividad de los muros y en formas sintetizadas de elementos naturales el espacio se proyecta a alturas insospechadas, “el hombre se proyecta hacia el cielo”, y los efectos de luz que se generan de esos espacios que ya quedan libres en los muros son tratados con vidrios de colores. La luz hace que el espacio se abra y exista una desmaterialización de la estructura. Es decir, el espacio y su mensaje es más importante y la estructura pasa a un segundo término al estar allí.

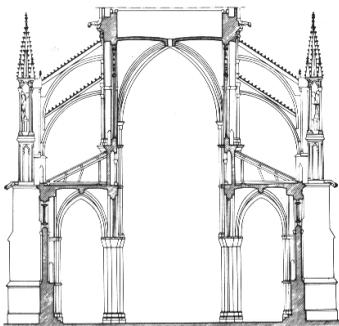
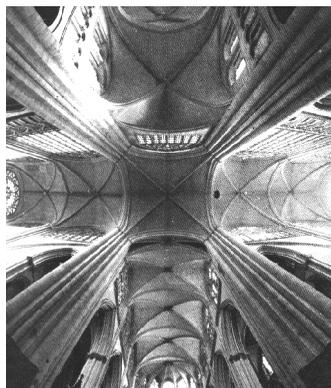


Fig. 1.7 Catedral de Reims, planta y corte

21.- Louis Grodecki. ARQUITECTURA GÓTICA. Ed. Aguilar / Sauri, 1989.



El manejo de tantos elementos en la composición genera muchas perspectivas tanto horizontales y verticales, la continuación de las nervaduras definidas en planos de los muros o columnas, los diversos niveles, todo esta combinación de elementos hace que el espacio luzca mayor y los elementos multiplicados a la vista.



“El muro translúcido o el muro luminoso de la arquitectura gótica es una solución extrema e ideal; han existido otras, multiplicación de huecos, su distribución en las zonas altas del edificio o en sus partes esenciales, como el coro, los brazos y el transepto, etc. El espacio gótico no es un volumen cerrado y geoméricamente definido; esta transfigurado por la luz, esta concebido en función de la luz”²².

Fig.1.8 Catedral de Le Mans. vista del crucero “perspectiva vertical”.

Las proporciones que se manejan son alargadas por las mismas limitantes del sistema constructivo, pero al ahuecar los muros la multiplicidad de elementos y la altura que es atravesada por la luz, va ésta a dar amplitud y las sensaciones sutiles al espacio.

Es de llamar la atención que la concepción del espacio sigue todo lo antes mencionado al interior y existe una gran diferencia con la composición al exterior.



Fig.1.9 Catedral de Amiens, Francia. Exterior e interior.

22.- Louis Grodecki. ARQUITECTURA GÓTICA. Ed. Aguilar / Sauri, 1989.



C.- El Renacimiento.

a.- El espacio en el Renacimiento.

La teoría y la práctica arquitectónica hallan su perfecta adecuación en el Renacimiento italiano. La tendencia a la desmaterialización del muro que había llevado a los góticos a intentar sustituirlo por vidrieras siempre que era posible, experimentó un retroceso considerable con la llegada del Renacimiento que revalora el muro. Esto, unido al interés por la proporción, da como resultado unos espacios estáticos, homogéneos, delimitados y, sobre todo, perfectamente mensurables, mentalmente aprehensibles.

El espacio renacentista se basa en la métrica que tiene su origen en sencillas relaciones matemáticas y en los trazos de la geometría euclidiana, sencillez que permite su inmediata comprensión. (*ver fig. 1.10*)

En el Renacimiento ya no es el hombre quien sigue las directrices que la arquitectura brinda, sino que, al comprender la relación matemática que rige, que ordena el edificio y por ello lo domina: es el hombre quien dicta las leyes al edificio, quien controla intelectualmente su espacio.



Los temas iniciados en el siglo XV se continúan en el siguiente, en especial la visión del espacio absoluto, fácilmente aprehensible desde cualquier punto de vista. A nivel plástico deberíamos señalar la mayor consistencia y solidez que cobran los muros, cada vez más alejados de los desmaterializados paramentos góticos, lo que contribuye a aumentar el volumen y el estatismo de la arquitectura, así como el definitivo apaciguamiento de las fuerzas dinámicas que impregnaban el mundo gótico. Desaparecen las directrices lineales y triunfan los volúmenes.

Fig. 1.10 Interior del templo del Santo Spirito de Brunelleschi en Florencia.



b.- El Renacimiento en España.

En el siglo XV el gótico alcanza su plenitud en España tanto en el campo religioso como en el civil. Se funden la tradición del arte hispano musulmán con las estructuras góticas flamígeras y el arte propagandístico de los Reyes Católicos, dando lugar al estilo Isabelino o Gótico Florido.

Hasta la época de los Reyes Católicos la arquitectura se mantiene bastante clara de formas y con poca decoración, pero pasada esta primera etapa se llega a un desarrollo de la decoración pocas veces igualada.

En la catedral de Sevilla comienzan las obras en 1402 sobre el emplazamiento de la antigua mezquita. Tiene planta de salón de cinco naves con capillas entre contrafuertes. La bóveda es de crucería simple salvo en el crucero que se recarga decorativamente. Es el mayor templo de España.

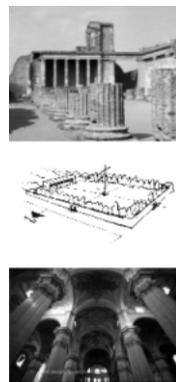
Hay que señalar la pervivencia del gótico hasta el primer cuarto del siglo XVI. Las obras más importantes de esta etapa son la catedral nueva de Salamanca y la catedral de Segovia.

Pero paralelamente la temporalidad nos monta con el renacimiento italiano. Los reyes católicos expulsan a los moros ya de territorio español y en ese mismo año Colón llega al nuevo continente, España se convierte en el imperio más grande del mundo durante el siglo XVI, los territorios de la corona abarcaban desde la península ibérica, territorios al sur de Italia, el virreinato de la nueva España, el Perú, y las Filipinas.



Fig. 1.11 Patio del palacio de Carlos V en la Alhambra.

En este contexto el tráfico de los viajeros por el imperio fue vasto y las expresiones arquitectónicas cruzaron fronteras. De esta manera veremos que la arquitectura española conservando una tradición constructiva heredada del gótico, con influencia renacentista y el importante legado de los mudéjares creará el plateresco, que podemos decir que es el estilo más representativo, pero también existirán muestras muy palpables de arquitectura renacentista italiana tan puras como lo es el palacio de Carlos V en la Alhambra en Granada.



Ahora espacialmente, la intención del gótico ya pasó y no se ve en esta arquitectura. Aquí regresaremos a la medida de los edificios a las características más del Renacimiento italiano, aunque también encontraremos características heredadas de los mudéjares.

Fernando Chueca Goitia,²³ en su libro “Invariantes castizos de la arquitectura española”, nos muestra cómo la arquitectura mudéjar esta resuelta en sistemas de proporciones simples y los espacios llevan una concatenación de tipo cuántico; es decir, se salta de un espacio a otro, creando una diversidad de sensaciones y perspectivas. Qué mejor ejemplo que la mezquita de Córdoba.



Fig. 1.12 Interior de la Mezquita de Córdoba

Para poder entender mejor cómo es el espacio y las perspectivas es muy ilustrativo el diagrama realizado por Chueca Goitia, donde nos explica cómo en la gráfica a, el modo occidental en el cual se fija un punto focal y todo converge hacia el, a diferencia de los espacios creados por los árabes es donde se crean veladuras que permiten ir descubriendo los espacios. (Ver fig. 1.13)

Esta visión occidental que nos muestra Chueca Goitia, la vemos en la gran mayoría de los templos españoles construidos durante el siglo XVI y posteriores.

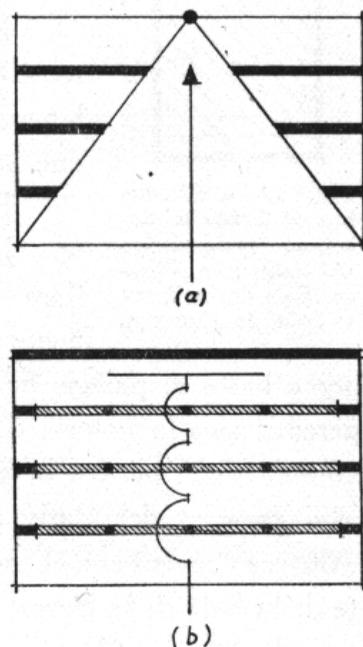


Fig.1.13 a) el espacio occidental, b) el espacio cuántico.²⁴

23.- Fernando Chueca Goitia. INVARIANTES CASTIZOS DE LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA. Dossat. Madrid, 1947
 24.- Fernando Chueca Goitia. INVARIANTES CASTIZOS DE LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA. Dossat. Madrid, 1947



c.- La arquitectura de la nueva España.

Las nuevas tierras conquistadas van a ser el campo donde se van a realizar grandes obras. Las ideas humanistas de Erasmo de Róterdam y Tomas Moro van a tener eco en hombres como Vasco de Quiroga, ideas que van a caracterizar el renacimiento y serán aplicadas de diversas maneras en el nuevo continente.

Desde el punto de vista urbano no se puede dejar de mencionar que las ciudades del nuevo mundo fundadas durante el siglo XVI serán realmente las primeras que cumplirán con las ideas del momento, y así la ciudad de México hoy tan caótica y problemática, fue de los primeros asentamiento que se diseñó con las ideas del renacimiento, dado que en el siglo XVI en Europa las ciudades aun estaban amuralladas y no permitían el libre crecimiento de la ciudad.

Hay una gran cantidad de representaciones de la ciudad de México, fue tan sonado en el viejo continente el diseño de la ciudad que muchos personajes sin conocerla siguiendo las descripciones realizaron dibujos.

No debemos dejar de mencionar el plano de Upsala, el cual describe de una manera muy fiel las actividades y la forma de la ciudad. Así la ciudad de México será el modelo en la nueva España. Con grandes plazas que van a conjugar actividades comerciales, gobierno y religión, ciudades que permiten el crecimiento siguiendo su traza ortogonal. ¿Pero que va a caracterizar a la Nueva España en su arquitectura?:

Primero debemos decir que la composición de los espacios, la herencia de las culturas prehispánicas de realizar la mayoría de sus actividades al aire libre, se ve reinterpretada en las nuevas composiciones del espacio. Esto lo vemos claramente en el éxito que tienen inicialmente con los naturales los atrios como espacio religioso donde se enseña la nueva fe, como lo muestra el grabado de Diego de Valadés en su libro "Rethorica Christiana" (ver fig 1.14),

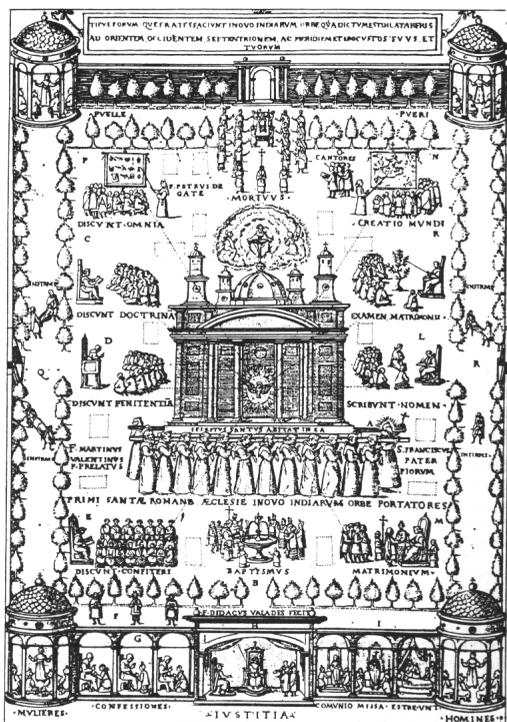


Figura 1.14. Grabado de Diego de Valadés.



La capilla abierta va a ser, como dice el Dr. Juan Benito Artigas, “**las iglesias que dio la tierra**” y son la mejor muestra de cómo se componen los espacios exteriores e interiores en una sola actividad donde participan muchas personas.

Ya en lo que se refiere a los edificios en general veremos esa medida de las construcciones en sus proporciones, aunque también se vera una fortaleza en las formas que hará que parezcan construcciones militares defensivas, principalmente en los conventos, pero realmente es la interpretación de las tipologías arquitectónicas de los lugares de origen de los constructores ya que estas construcciones jamás fueron atacadas y a su vez no estaban estas preparadas realmente para un ataque.²⁵

D.- Conclusiones

En la arquitectura como en las demás artes siempre se ve reflejado el pensamiento de los hombres en su espacio tiempo, así directamente es el espacio un reflejo de la manera de pensar.

Desde los orígenes el hombre ha tenido la necesidad de crear sus espacios para poder satisfacer sus necesidades, y aun partiendo de espacios tectónicos donde se muestra el miedo al espacio como es el caso de los egipcios y los griegos como lo menciona Juan de la Encina,²⁶ pasando por los espacios completamente funcionales de los romanos, que no dejan a un lado el placer que le brinda al espíritu, el espacio románico basado en la religiosidad y la representación de lo infinito de las cúpulas.

Pero tal vez la expresión mas metafísica del espacio es la creada por el Gótico que nos fuga al infinito con sus bóvedas nervadas y los arcos de ojiva que nos señalan la vertical y esos grandes espacios iluminados por los grandes vitrales nos llevan a un limbo donde tenemos la sensación de flotar hacia las grandes alturas.

El renacimiento nos dará un sentir mas humano mas racional, podemos decir que el hombre con los pies en la tierra crea espacios con la medida y el balance entre lo terrenal y lo sagrado, con todos los elementos en su lugar y proporcionados.

Finalmente la expresión espacial dentro de la Nueva España, será una reinterpretación de los elementos arquitectónicos que conocen los constructores de sus lugares de origen y las ideas humanistas que prevalecen dentro del siglo XVI. Un claro ejemplo es que el diseño de la ciudad de México va a ser una traza reticular que permite el crecimiento como en la utopía de Tomas Moro, todas estas ideas al igual que las de Erasmo de Róterdam van a ser determinantes en los diseños de los arquitectos del siglo XVI en la Nueva España, y la obra de grandes hombres como Vasco de Quiroga van a confirmar este pensamiento como lo comenta el Doctor Carlos Chanfón Olmos.²⁷

25.- Dr. Juan Benito Artigas Hernández, Tema selecto de la Maestría en Arquitectura, Campo del conocimiento Restauración de Monumentos: Historia de la arquitectura en México siglo XVI, Ciudad Universitaria, México 2003.

26.- Juan de la Encina. EL ESPACIO. Ed. UNAM. 1978.

27.-Carlos Chanfón Olmos. TEMAS ESCOGIDOS DE ARQUITECTURA DEL SIGLO XVI. Ed. UNAM. 1994.



CAPITULO II

BÓVEDAS



II.- Bóvedas.

A.- Definición.

“Bóveda.- Del latín *volvita*, participio del latín *volvere* “dar vuelta”, con carácter semicírculo, derivado *abovedar*. Forma de cubierta, Construcción formada por materiales pétreos, destinada a cubrir un espacio vacío comprendido entre muros o pilares que sirven de sostén a la bóveda. Dicho apoyo debe ser sólido para resistir a la vez la fuerza horizontal llamada empuje lateral y la fuerza vertical. Una bóveda se puede considerar también como una serie de arcos continuos”.¹

Una bóveda está formada por una serie de elementos o dovelas que, mediante su mutuo contacto, transmiten a los estribos su peso y el de las cargas que soportan. Cabe distinguir: intradós, extradós, clave y los nervios.

El mismo vocabulario de la SAHOP, nos dice que las bóvedas se dividen en dos grandes categorías: Las simples o sencillas que son producto de la traslación de un arco, y las compuestas que son combinaciones de varias bóvedas simples.

Mencionaremos algunas de las bóvedas más comunes dentro de la arquitectura de la nueva España para ver sus características.

Bóveda de cañón corrido, es generada por la traslación de un arco a lo largo de la corona de los muros de la nave del un templo (*ver figura 2.1*), normalmente son de medio punto aunque también pueden ser generadas por un arco rebajado, así podemos decir que el arco formero es la generatriz y el eje del local la directriz que genera la bóveda. De estas hay muchos ejemplos en la arquitectura del siglo XVI novo hispano, podemos mencionar la nave del templo del convento de Malinalco y la nave del convento franciscano de Cuernavaca, hoy catedral.

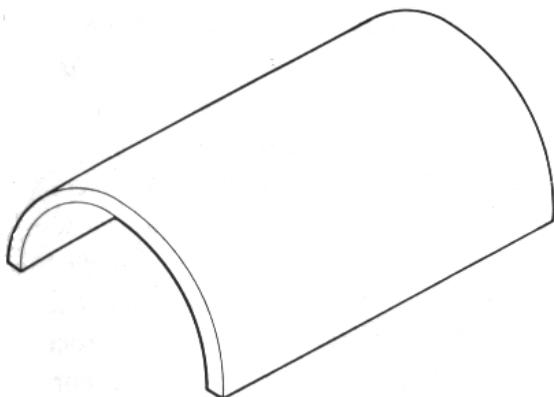


Figura 2.1.- Bóveda de cañón corrido.

1.- VOCABULARIO ARQUITECTÓNICO ILUSTRADO. SAHOP. 1980.



II.- BÓVEDAS

Las Bóvedas de media esfera o cúpulas (*figura 2.2*), se generan de un arco de medio punto girado en un eje vertical situado a la altura de la clave. Estas bóvedas tienen forma cuadrada, circular, octagonal, hexagonal en ocasiones conservan la forma de la construcción que tienen de base. Cuando es generada por superficies continuas o gallones se llaman gallonadas. Un ejemplo en el siglo XVI de una cúpula es la del crucero de la catedral de Mérida Yucatán.

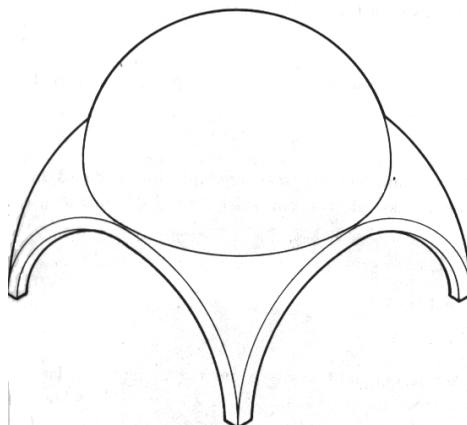


Figura 2.2.- Bóveda de media esfera sobre pechinas.

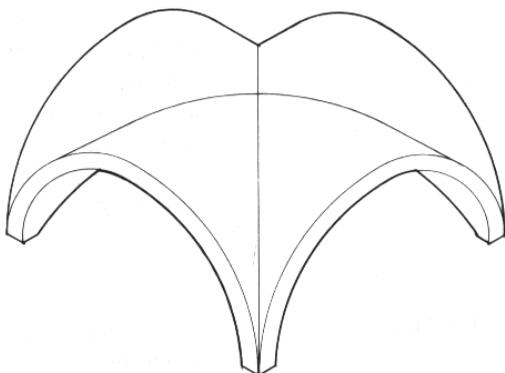
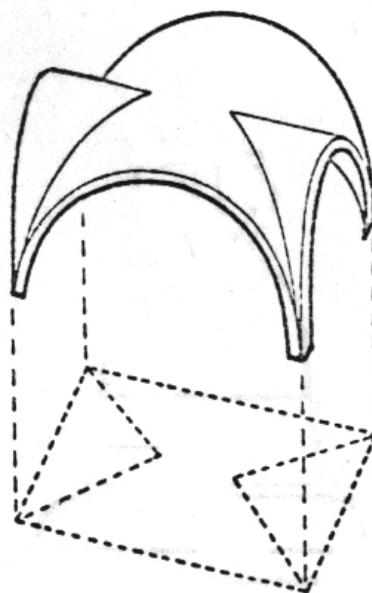


Figura 2.3 Bóveda de crucero

Las bóvedas de un cuarto de esfera generalmente las encontramos en ábsides y que con su forma cierran el espacio de las naves.

Las bóvedas de arista o de crucero, son aquellas que resultan de la intersección de dos bóvedas de cañón con la misma flecha.

Las bóvedas de lunetos son aquellas donde se intersecta a una bóveda de mayor radio una de menor radio.





II.- BÓVEDAS

Las bóveda vaída es una bóveda esférica rebajada y esta cortada por cuatro planos verticales entre sí.

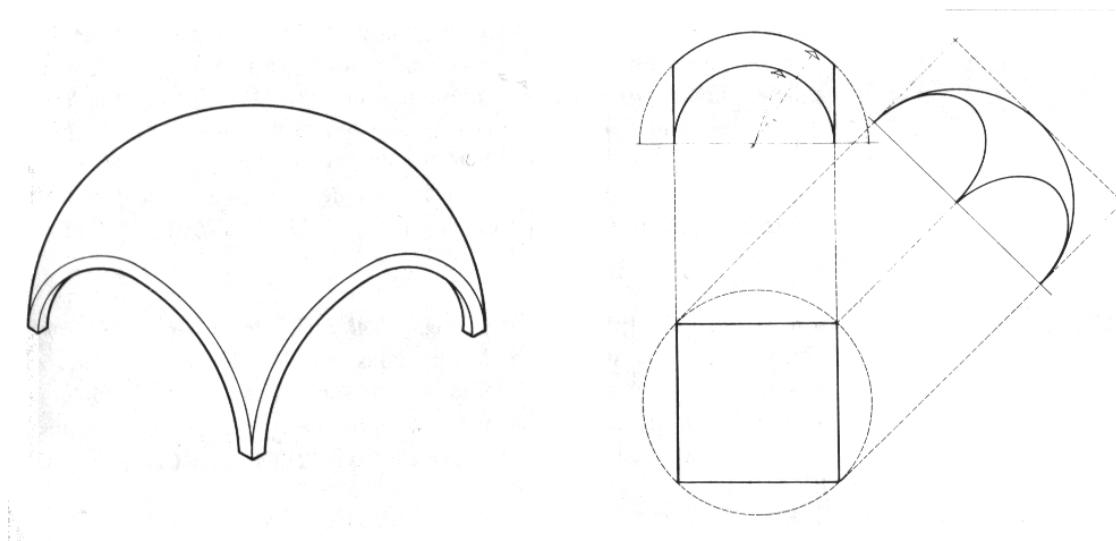


Figura 2.5 vista y trazo de una bóveda vaída.

Y las bóvedas de crucería ó crucería de ojiva son aquellas que se caracterizan por las nervaduras, estas sirven como cimbra permanente para mantener la estabilidad de la bóveda, los espacios entre nervaduras llevan la construcción de cal y canto que se le denomina plementos. Existe una variante de las bóvedas de nervadura que son las llamadas bóvedas de terceletes.



Figura 2.6 Bóveda nervada de terceletes en Oaxtepec, Morelos.



B.-Historia de las bóvedas.

La historia de la arquitectura y de la construcción ha estado condicionada por elementos o circunstancia externas como el clima y las condiciones de abundancia o escasez de materiales. Los más fundamentales son la piedra y la madera. Estos materiales han condicionado la forma de construir de los pueblos.

En la historia de la construcción, los pueblos orientales han tenido una intuición espacial mucho más desarrollada que los pueblos occidentales; Egipto, Caldea, Asiria y Persia desarrollaron bóvedas sin cimbra y sus procedimientos serán reinterpretados por otras culturas posteriores.

En Occidente no se desarrolla la bóveda si no es con cimbra. El sistema constructivo será mucho más conservador, hasta la llegada del renacimiento El Duomo de Santa María de las Flores en Florencia es una de las grandes creaciones de Filippo Brunelleschi, al utilizar un sistema sin cimbra para su construcción reduce los costos, termina un proyecto que estaba inconcluso e innova en la manera de construir.

Regresando al Oriente, el desarrollo constructivo de las bóvedas parece mucho más intuitivo, lo cual les lleva a tipos de bóvedas con forma parabólica como generatriz. Sin embargo, en occidente, se generarán geometrías de fácil trazado que llevan luego sistemas constructivos complejos.

Un antecedente de los más remotos lo encontramos 6000 años a. C. en Jirokitia, Chipre (*ver figura 2.7*), estas construcciones fueron creadas para vivienda y estaban realizadas en una planta circular rodeada por muros de piedra y de estos desplanta una bóveda realizada en adobe apoyadas en una subestructura de piedra, su tamaño era suficiente para tener un entresijo.

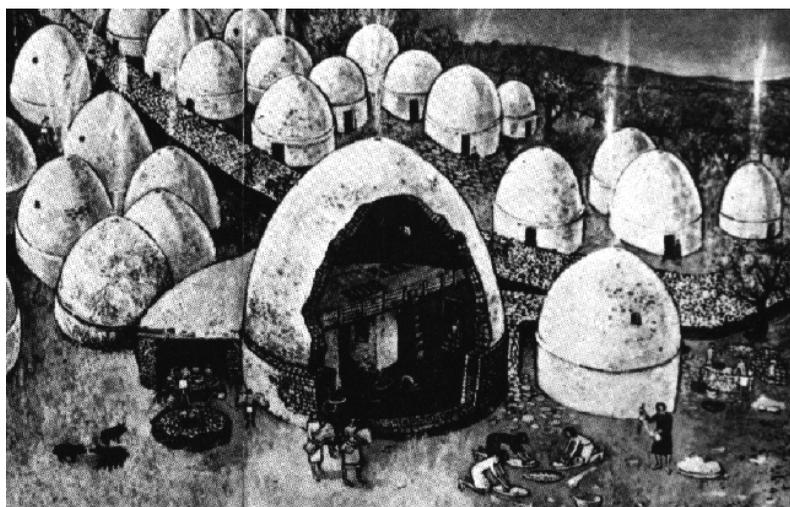


Figura 2.7 Bóvedas de tierra de Jirokitia, Chipre, Imagen de reconstitución de un poblado neolítico.²

2.- Lloyd, Seton. Müller, Hans Wolfgang, ARQUITECTURA DE LOS ORÍGENES. Ed. Aguilar., Madrid 1989.



II.- BÓVEDAS

En Egipto se encuentran bóvedas de cañón que tienen forma de generatriz circular y parabólica, y en algunos casos hasta ojival. También se usan perfiles peraltados sin discontinuidades con el muro. La construcción se realiza por tajados verticales de piezas de ladrillos que se colocaban a bofetón contra un muro de apoyo en el que se marcaba la generatriz de la bóveda a modo de montea. Sobre dicho muro se colocaban con argamasa de ladrillos hasta acabar la forma generatriz. Así se continuaba con todas las tajadas paralelas hasta que se acababa la primera rosca. Posteriormente se construía una segunda rosca apoyándose en la primera por medio de hiladas convergentes.

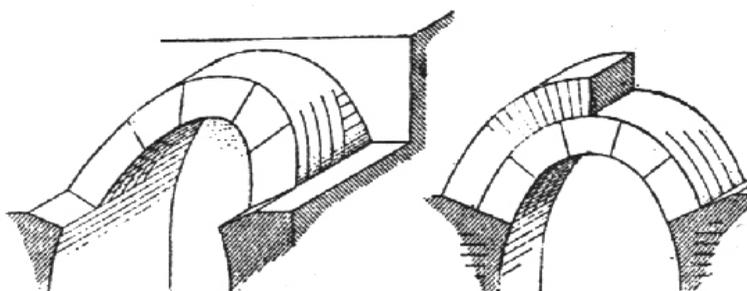


Figura 2.8 Esquemas de construcción de bóvedas egipcias.³

Para tener una mayor adherencia de los ladrillos, las capas se disponen con cierta inclinación, para hacer que los ladrillos apoyen unos sobre otros durante el fraguado. Aún así y en el caso anterior también, los arranques de las bóvedas en los salmures se disponían en capas horizontales que avanzan en desplome. Ejemplos: Perfil peraltado y capas inclinadas: Rameseum, Perfil ojival en la planicie de Menfis.

Tanto en Egipto como en Asiria el arco aislado es el único que se construye con cimbra. El cañón se eleva directamente en el vacío. El constructor egipcio levanta los muros sin andamiaje y las bóvedas sin arco; la idea dominante es evitar instalaciones auxiliares; las arquitecturas primitivas se encaminan directamente a su objetivo.

En Caldea y Asiria existió una gran similitud con las bóvedas egipcias, quizás debido a la proximidad geográfica y a la similitud de los medios naturales de que disponían para la construcción (en ambos casos la escasez de madera). En Asiria se desarrolla la bóveda sin cimbra por tajadas verticales y por medio de ladrillos colocados sin argamasa, apoyados sobre las hiladas inclinadas, ejecutándose sin armazón auxiliar, como lo mencionamos anteriormente.

3.- Choisy, Aguste. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA (PARTE GRÁFICA). Ed. Victor Leru. Buenos Aires 1978.



La generatriz de la bóveda continua es, a veces, casi ojival o bastante apuntada y peraltada. El material usado era el ladrillo sin argamasa. Construían las bóvedas de medios cañones en capas y por tajadas verticales o inclinadas y las segundas roscas por hiladas convergentes con forma de dovelas. Ejemplos: Khorsabad, galerías de cañones construidos por capas sin cimbra. Se dice que los techos de las viviendas eran de madera de palma, lo cual indica la escasez de madera para realizar las Cimbras.

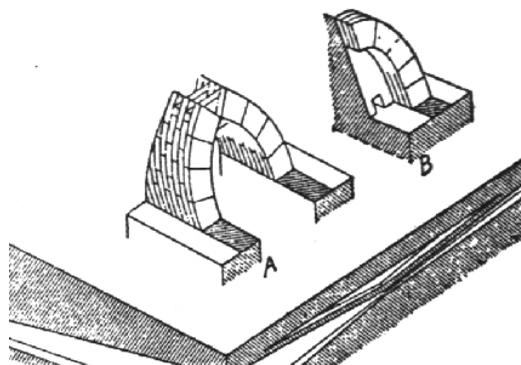


Figura 2.9 Esquemas de las bóvedas de Khorsabad.

En la cultura persa se emplean bóvedas corridas de generatriz circular. Se construían por piezas inclinadas sin cimbra, llamadas tajadas, aunque también conocían el empleo de bóvedas con hiladas convergentes, con clave y cimbra que fueron empleadas en casos y lugares puntuales.

Cuando dos cañones se cruzan, los persas eluden la dificultad de las penetraciones, elevando el nacimiento de uno de ellos. En el palacio de Firuz-Abad, en Persia, se adopta el método de cúpula construido por trompas cónicas y tajadas inclinadas o verticales, exigiendo el empleo de materiales delgados para trabajar por adherencia.

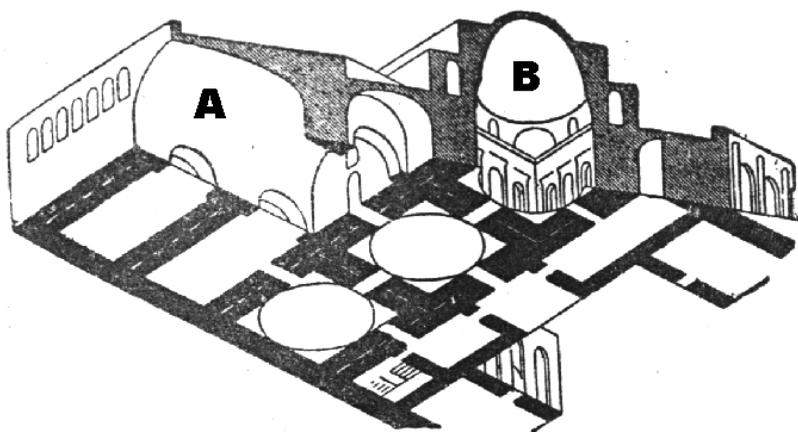


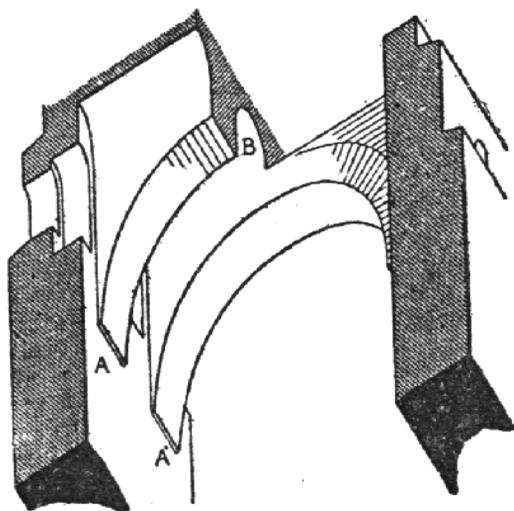
Figura 2.10 Esquemas del templo de Firuz- Abad, donde se puede distinguir: A.- El sistema de bóveda de cañón y B.- Las trompas en las esquinas que reciben la cúpula.



II.- BÓVEDAS

Como la calidad de los ladrillos no era la óptima, se recurría a morrillos que redujeran su espesor al de los ladrillos, artificio significativo que atestigua la importancia que tenía para los constructores persas prescindir del uso de la cercha por la falta de madera.

Los estribos de las bóvedas se realizan por medio de los gruesos muros en los que apoyan éstos. Tanto los sistemas constructivos como los materiales y los perfiles de las bóvedas que fueron usadas en Egipto y Asiria, se ven reflejadas en la construcción de las bóvedas de cañón persas.



En otras construcciones (el palacio de Tag-Eivan) está dividido en un esqueleto resistente, bóvedas de relleno. En lugar de un cañón corrido longitudinal encontramos aquí una serie de pequeños cañones dispuestos transversalmente que descansan sobre arcos perpiaños. Los empujes en vez de transmitirse uniformemente se localizan en los apoyos de los arcos perpiaños.

Figura 2.11 Bóvedas de cañón entre arcos perpiaños de Tag-Eivan.

En Siria y Armenia construyeron bóvedas de cañón de generatriz circular con ladrillos y argamasa. El sistema constructivo de las bóvedas de cañón y arista era por tajadas sucesivas por adherencia.

Desarrollaron, en las construcciones en las que usaban una cimbra para todo, un sistema de arcos paralelos con hiladas convergentes; un ingenioso sistema de losa apoyada sobre los tímpanos de un arco formero.

La arquitectura hindú es la única del lejano Oriente que empleó bóvedas de cañón. La forma de las bóvedas es de cañón corrido con generatriz circular. La construcción se realizaba por medio de estructuras auxiliares de madera (cimbras).

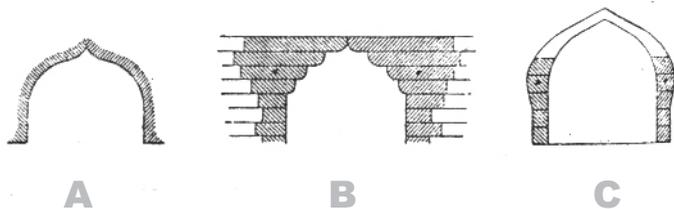
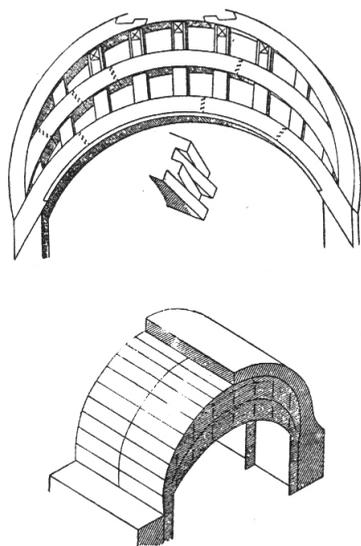


Figura 2.12 Bóvedas hindúes: A.- Intradós de corchete. B.- Intradós escalonado. C.- Cúpula.



II.- BÓVEDAS



También desarrollaron falsas bóvedas con elementos salientes que se van desplomando del muro con materiales como maderas, ladrillos e incluso vigas que llegan a dar falsas bóvedas apuntadas.

Igualmente realizan bóvedas con hiladas equilibradas. No llegaron a usar las bóvedas convergentes a pesar de usar cimbras. A veces las cimbras formaban parte de la bóveda definitiva, recubiertas de barro y arcilla.

Figura 2.13 Cerchas de madera aplicadas para bóvedas de cañón corrido en la India.⁴

En Grecia se realizaban desde épocas prehelénicas algunas cubiertas en piedra, como son las casamatas de Tirinto, con bóvedas en arcos diedros cerrados por dos bloques el uno contra el otro.



Uno de los más importantes ejemplos griegos es el tesoro de Atreo.⁵ Esta cámara sepulcral tiene sus muros hechos a base de hiladas de sillares que poco a poco, van estrechando, el diámetro interior hasta cerrarse en lo alto formando así la llamada falsa cúpula. Se puede considerar como el primer edificio con una idea de espacio interior en el arte de la construcción de la civilización occidental.

La civilización griega ya en el periodo helenístico, logra desarrollar los arcos de medio punto en piedra y las bóvedas las aplican en obras subterráneas, donde ingeniosamente las refuerzan con arcos fajones, posteriormente lo llevarán a puertas monumentales.

Figura 2.14 Interior del tesoro de Atreo.

4.- Choisy, Aguste. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA (PARTE GRÁFICA). Ed. Víctor Leru. Buenos Aires 1978.

5.- Martín, Roland, ARQUITECTURA GRIEGA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.



II.- BÓVEDAS

En Roma, el uso del arco y la bóveda introdujo en el vocabulario clásico las formas curvilíneas; los muros curvos producían un espacio semicircular, llamado exedra o ábside, ideal para concluir un eje. Los elementos cilíndricos y esféricos llegaron a ser característicos de la arquitectura romana, adecuados para cubrir los inmensos espacios propios de la escala imperial.

La bóveda de cañón presenta una sección semicircular y se caracteriza porque sólo puede cubrir una luz limitada, debido a los enormes empujes laterales que ejerce. Para solucionar esto, los romanos utilizaron dos sistemas alternativos; el primero es la cúpula, que se puede considerar como una bóveda de desarrollo circular, mucho más estable que las bóvedas de cañón, pero también limitada por los empujes laterales que ejerce sobre la estructura portante, y también por su propio peso, que tiende a romperla por la parte central, en la zona conocida como los riñones.

A pesar de ello, los romanos consiguieron construir cúpulas enormes, como la del Panteón de Agripa en Roma (*ver figura 2.14*), un edificio de planta circular construido en la época del emperador Adriano, en cuyo interior se puede inscribir una esfera de cuarenta y tres metros. Su arquitecto, Apolodoro de Damasco, cubrió el espacio con una enorme cúpula masiva compuesta por anillos de materiales más ligeros a medida que se asciende, y abrió en el centro un óculo de 9 m de diámetro que desempeña la función de anillo de compresión. Esta gigantesca estructura se apoya sobre un muro perimetral de 6 m de ancho, horadado de tal forma que la estructura portante la componen realmente ocho enormes machones.

En cualquier caso, el mayor problema de las cúpulas es que contienen un espacio único y no se pueden combinar fácilmente entre sí para cubrir un espacio articulado.

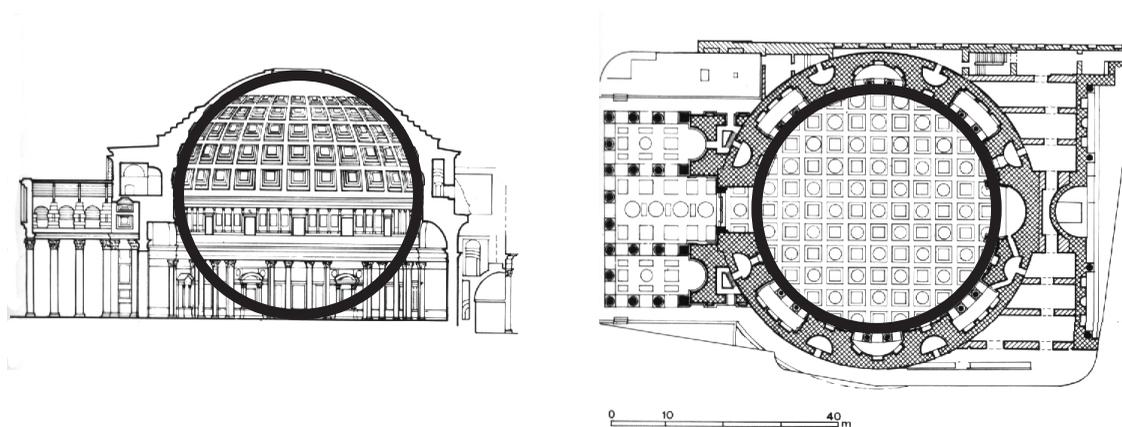


Figura 2.15 Corte y planta del panteón de Agripa donde se aprecia como se inscribe en el interior una esfera.⁶

6.- Ward Perkins, John B. ARQUITECTURAROMANA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.



II.- BÓVEDAS

La segunda gran invención romana es la bóveda de aristas, formada por la intersección de dos bóvedas de cañón idénticas. Las líneas que configuran esta intersección son dos medias elipses, que unen los vértices opuestos del cuadrado de la planta. Gracias a las direcciones ortogonales de curvatura se produce un efecto estructural, basado en que cada una de las bóvedas de cañón contrarresta el empuje de la otra. Además, la bóveda de aristas presenta otras ventajas, como es que se puede apoyar sobre cuatro pilares (dispuestos de tal forma que absorban los empujes de la bóveda, que les llegan a 45°), dejando cuatro caras libres para emplazar vanos o para seguir añadiendo espacios abovedados.

En las grandes termas y basílicas romanas, estas últimas dedicadas a la administración de justicia y otras actividades de carácter administrativo, la sucesión de crujías cuadradas cubiertas por bóvedas de aristas proporcionaba enormes salas, iluminadas por claraboyas situadas en lo alto de los muros laterales, bajo las bóvedas.

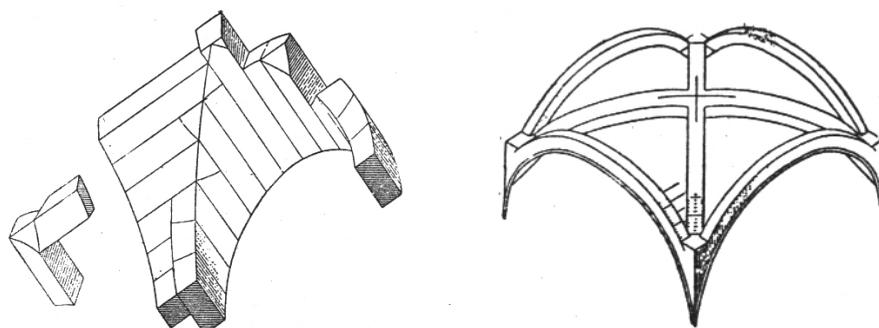


Figura 2.16 Aparejo de bóveda por arista, tumba Mahl Tepe de Pergamo y armaduras que forman los arcos para bóveda por arista del Palatino.⁷

El abovedado bizantino es, básicamente de tres tipos: la bóveda de cañón, la bóveda esférica (cúpula) y la bóveda por arista. Las tres se podían construir con o sin cimbra, dependiendo del claro.

La bóvedas esféricas y por arista se construían en espacios delimitados por cuatro arcos, en el primer caso se colocaban los ladrillos cada vez mas inclinados con respecto a la horizontal; primero generando pechinas para después hacer una base circular, continuando luego hacia arriba hasta alcanzar el vértice.

En la bóveda por arista se colocaban los ladrillos paralelamente al extradós de los arcos, en los riñones se formaba la arista que desaparecía gradualmente cerca del vértice, en los espacios muertos sobre la imposta de las bóvedas se colocaban jarrones de barro para aligerar.

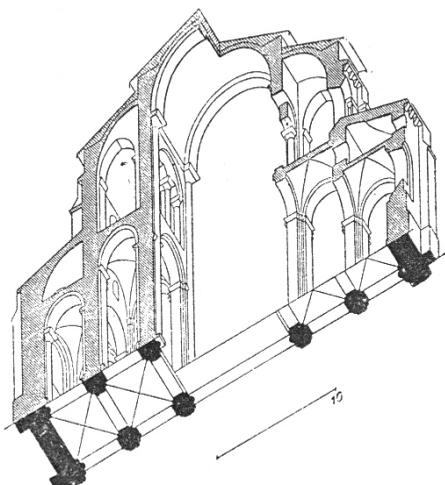
7.- Choisy, Aguste. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA (PARTE GRÁFICA). Ed. Víctor Leru. Buenos Aires 1978.



En el periodo Románico, los templos tienen la forma en planta de basílicas como parte de la tradición constructiva de los pueblos europeos que fueron dominados por Roma. El fenómeno de las peregrinaciones afectará a la evolución de las plantas, obligando a la construcción de girola o deambulatorios, que permitieran el tránsito de los fieles, y la multiplicación de capillas y altares.

Las bóvedas de piedra se convierten en uno de los elementos consustanciales al estilo románico. El tipo de bóveda más empleado es la de cañón reforzada por arcos, fajones y utilizada sobre todo en las naves centrales. En las laterales sin embargo se suele utilizar la de arista o la de crucería donde los claros son menores. La evolución en los procesos constructivos llevara a que en el Gótico se logren cubrir claros más amplios con bóvedas de crucería.

Cuando se emplea la cúpula, (generalmente para cubrir el crucero), la solución para pasar de un espacio cuadrado a uno circular, es construir sobre trompas o pechinas.



En el periodo Gótico, la forma mas representativa de cubierta es la bóveda de arista ojival, que data del siglo XI. Esta imita a aquella de arista ordinaria, y que se diferencia por la forma de la cimbra, por la adición de nervaduras que transforman el modo de aparejo, y por la configuración de la superficie del intradós.

Figura 2.17 Saint Sernin de Toulouse.⁸

*“En la bóveda de arista ojival, la cimbra de cada luneto que formando parte constituyente de esta bóveda es un arco ojival u ojiva o en tiers point; la lima/tesa simple de la bóveda de arista ordinaria está ahí remplazada por un tirante de piedra en voladizo, formando un arco doble o nervadura. En las bóvedas de este género el límite del claro está dado como en las otras bóvedas de arista ordinarias; se trata de un polígono regular o irregular compuesto de un cierto número de lados; la dirección de cada uno de los arcos des pignons (formaletes) y de cada uno de los arcos de lima/tesa, al igual que sus monteas o flechas, están ahí también dadas; pero también las flechas tienen dimensiones diferentes, mientras que en la bóveda de arista ordinaria, todos estos arcos tienen la misma flecha o monteas”.*⁹

8.- Choisy, Aguste. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA (PARTE GRÁFICA). Ed. Victor Leru. Buenos Aires 1978.

9.- Chaix, J. TRAITE DE COUPE DES PIERRES, Ed, H. Chaigrasse Fils. Traducción de Tania Sánchez A.



Se designa bajo el nombre de *nervaduras*, a los tirantes ordinariamente curvos, o a los arcos en piedra que se colocan en las bóvedas de aristas ojivales y que las caracterizan. Es sobre estas nervaduras que descansa la bóveda real; se les llama nervaduras, porque ellas proporcionan más nervio o más fuerza en la bóveda; y porque ellas conforman el armazón.

Las bóvedas de arista ojivales de una cierta extensión, no se limitan a remplazar las aristas por nervios; se colocan éstos también en otras partes de estas bóvedas, a fin de establecer compartimientos regulares, dispuestos de manera simétrica, formando el encuadre de acuerdo al número de vanos, que son llenados enseguida por mampostería ligera, formada sea por una masa de yeso puro, de ocho a once centímetros de espesor, ya sea por yeso, ladrillos o por 'morrillos' bien aparejados en corte y rellenos o cubiertos con yeso o mortero. Estos "rellenos" (plementos) forman la cubierta e imitan tableros delgados cuyo peso reposa sobre las nervaduras. Así, el número de las nervaduras depende de la extensión de la bóveda y del grado de solidez que se desee darle; resulta también de la riqueza de su decoración.

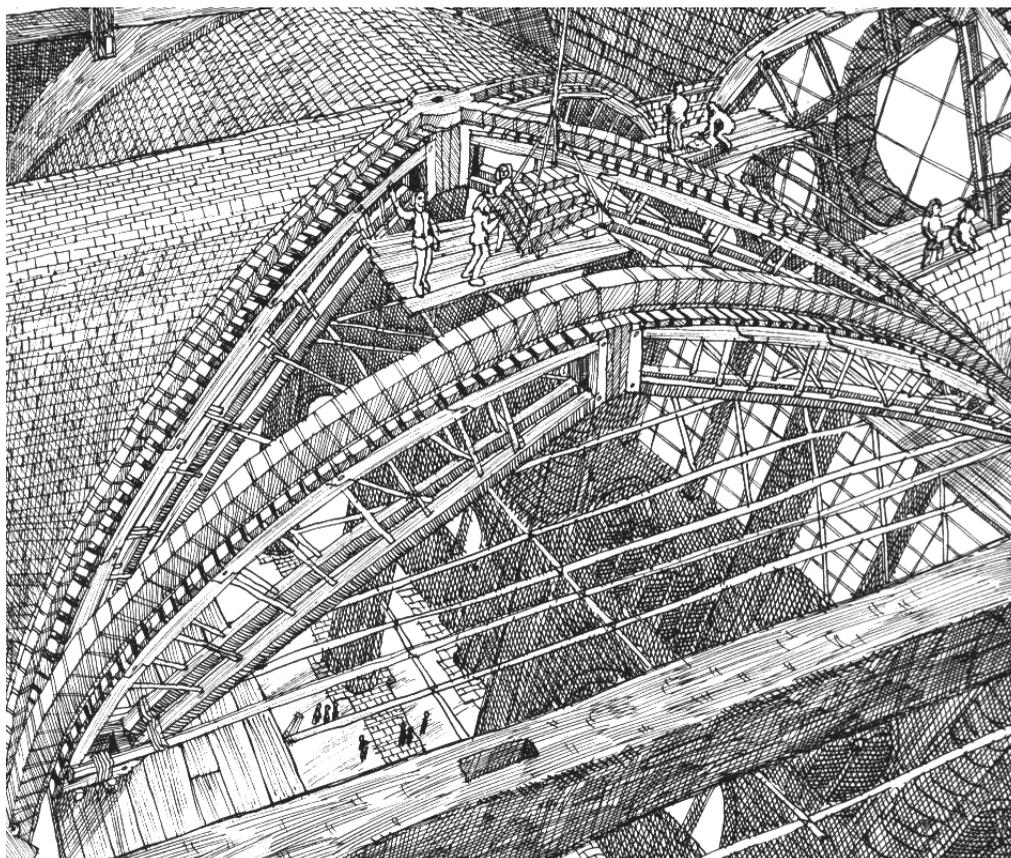


Figura 2.18 Construcción de una bóveda de crucería.¹⁰

10.- Macaulay, David. CATHEDRAL. THE STORY OF IT CONSTRUCTION. Houghton Mifflin Books, Boston, 1973.



II.- BÓVEDAS

La arquitectura musulmana estuvo influenciada por la persa. Construían bóvedas sobre nervaduras con generatriz circular realizadas con cimbra e hiladas convergentes, realizaban las bóvedas por tajadas horizontales hasta una cierta altura de los salmeres y encima apoyaban la parte adovelada para cubrir la luz restante. (La parte de bóveda restante se realizaba por hiladas convergentes con un centro adovelado). El empuje de la parte adovelada neutraliza la parte saliente del desplome de las hiladas horizontales. Este sistema mixto se supone que fue lo que originó el arco de herradura (donde no coincide el centro de curvatura y el punto de convergencia de las hiladas), el cual, en los salientes hacia el interior del arco, se realizan por hiladas horizontales para reducir la luz de la cimbra y así conseguir una buena economía de tan escaso material. Sobre la cimbra se construía el arco por dovelas.

En España los musulmanes dejarán gran huella después de su llegada en 711 d.C. Utilizaron bóvedas en sus templos que llevaban unos arcos que refuerzan las cúpulas, básicamente parten de plantas cuadrangulares y con el uso de pechinas modifican la forma para realizar cúpulas con base octagonal.

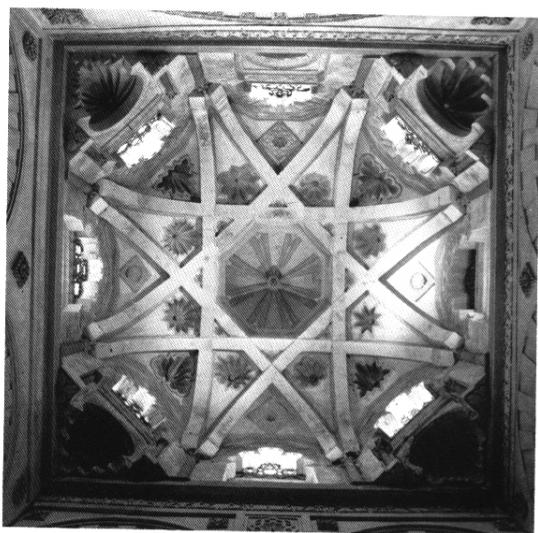
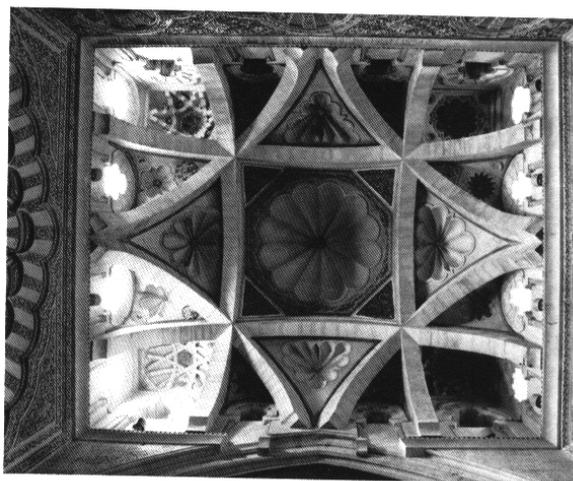


Figura 2.19 Linterna de Al- Hakam II. Mezquita de Córdoba

Figura 2.20 Bóveda de la Maqsura.





II.- BÓVEDAS

Para terminar esta parte de nuestra investigación no queremos dejar sin mencionar que en el continente americano antes de la llegada de Colón se utilizó el sistema de techado de bóveda de piedras en saledizo, “Bóveda MAYA”.

Con el complejo de estelas de piedra y cerámica Tzakol introducido a Uaxactún en 317, encontramos el ejemplar más antiguo.

Tal vez ya en 278 se habían construido las primeras bóvedas saledizas. Los ejemplos más antiguos de éstas son muy toscos. Se componen de lajas ordinarias y sin proporción, colocadas sobre una capa gruesa de mezcla y presentan una superficie muy dispareja.

Después de su introducción a Uaxactún, el techo de bóveda en saledizo comenzó a extenderse en todas direcciones. Llegó a Copán en el extremo sudeste, tal vez hacia 435; a Oxkintok en el noroeste de Yucatán seguramente desde 475; a Tulúm en el nordeste de Yucatán, cerca de 564; y probablemente al valle del Usumacinta hacia 633, o antes.

Antes del final de la época clásica, en 889, el techado de bóvedas de piedras saledizas había penetrado por todas partes del territorio maya pero cosa curiosa, no pasó del área maya propiamente dicha y no se le encuentra en ninguna de las regiones inmediatamente adyacentes.

Su aparición más occidental ocurrió en Comalcalco, en el Estado de Tabasco, y las más lejanas hacia el sudeste, en Papalgalpa y Asunción Mita, en el sudeste de Guatemala. No se encuentra para nada en las tierras altas de este país, salvo en el techo de unas cuantas tumbas dispersas, lo que probablemente se debe a la intensa actividad sísmica de esta última región.



Figura 2.21 Arco de Labná

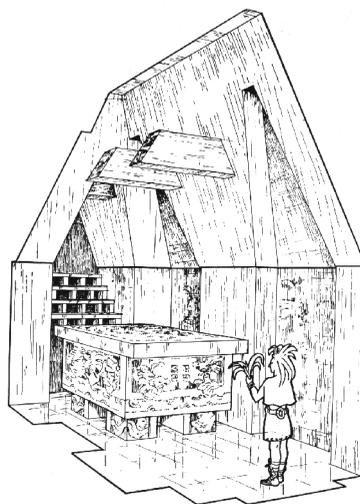


Figura 2.22 Reproducción de la tumba de Pakal. Palenque.¹¹

11.- Marquina, Ignacio. ARQUITECTURA PREHISPÁNICA. INAH. México facsímil 2ª edición 1990.



El Dr. Alejandro Villalobos,¹² comenta que la realización de las obras arquitectónicas responde a su entorno. Así, clima, orografía, vegetación, etcétera, son los determinantes del objeto terminado. Por tal razón un elemento determinante en la obtención de las bóvedas de piedras en saledizo es el “sahcab”, piedra caliza de la zona maya.

El trabajo de un arco tiene tres factores sustanciales, La continuidad de los componentes, la posición del centroide de gravedad y la acción de desplazamiento horizontal donde el arco deja de trabajar como tal.

En el caso de la bóveda maya es diferente ya que: *“La estabilidad del sistema esta garantizado en términos de discontinuidad, de sus segmentos; la presencia de dos centroides de gravedad y el desplazamiento horizontal de su intersección con el plano vertical de sus apoyos induce un abatimiento entre ambos, al grado que en caso de colapso se compromete solo un segmento y no la totalidad de la cubierta, como tampoco la de sus elementos sustentantes”*.¹³

Siguiendo a nuestro autor nos menciona que este tipo de estructura no requiere de cimbra u otra estructura falsa y que los elementos de madera utilizados responden a absorber los esfuerzos de flexión en dinteles.

La bóveda que registra el claro más largo en su intradós es la de la tumba de la cripta del templo de las inscripciones en Palenque. Su dimensión es de 3.75 metros y su altura de 6.80 metros del desplante del sarcófago a la losa tapa.

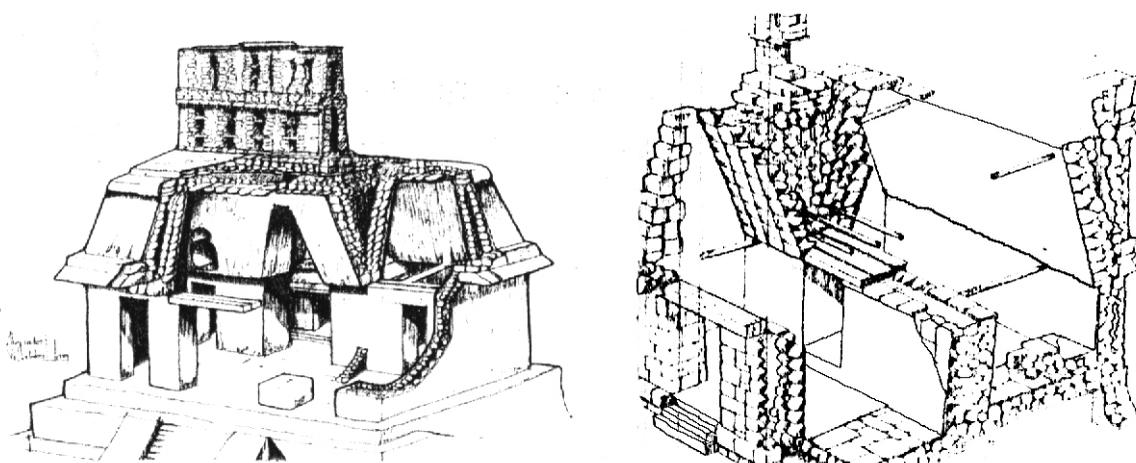


Figura 2.23 Templo de las inscripciones Palenque, Chiapas y figura 2.24 Hipótesis reconstitutiva de Nohcacab II, Campeche.

12.-Villalobos Pérez, Alejandro. LA FALSEDAD DEL FALSO ARCO MAYA. Revista Bitácora 5. UNAM. 1997.

13.-Villalobos Pérez, Alejandro. LA FALSEDAD DEL FALSO ARCO MAYA. Revista Bitácora 5. UNAM. 1997.



C.-Bóvedas en España durante el renacimiento.

Posteriormente a la expulsión de los moros de suelo español, la corona promueve las construcciones del llamado Gótico Isabelino, esto es por crear una identidad de nación y debido a la invasión de los árabes y su dominio durante tanto tiempo, es utilizado el realizar las construcciones que recuerden a los antepasados Godos que lucharon contra la invasión.

Es claro que ya para el siglo XV, las ideas del renacimiento también influirán en territorio español, así el renacimiento español se caracterizara por una mezcla de Gótico, Plateresco, Renacimiento y algunos elementos heredados de los árabes (mudéjar).

En las cubiertas no será la excepción, las bóvedas estrelladas serán una muestra de lujo y servirán para darle mas importancia a los templos dado su costo y la belleza de sus diseños.



Así serán llamados a territorio español arquitectos como Simón de Colonia que representa la escuela germana y su contratación se debió a su conocimiento en el volteo de bóvedas y dejara escuela con su hijo. La escuela clásica que recuerda, como se decía en aquel tiempo “a lo Romano”, estará encabezada por arquitectos como los Vandelvira, Rodrigo Gil de Hontañón y su alumno Simón García entre otros.

Figura 2.25 Catedral de Granada, construida en 1528 por Diego de Siloé.

Debido al poder y la importancia de España durante el siglo XVI, será común este tipo de construcciones en los territorios de la corona, y su permanencia se verá en algunos casos ya tardíos en los inicios del siglo XVIII. Las características de las bóvedas irán variando siempre buscando “LA MODERNIDAD” y así se dejarán poco a poco los conceptos godos y romanos con los que inició esta forma de expresión de nacionalidad.

Los elementos que componen una bóveda irán dando el cambio en la forma buscando una evolución. Así, los arcos de crucero que en su origen Gótico eran apuntados, evolucionaran hasta ser arcos rebajados, los nervios rampantes pasaran de ser llanos a curvos hasta convertirse en bóvedas vaídas con nervadura ó son substituidos por unos combados y pies de gallo, los cuales se aplicaron por considerar que hacían que la forma luciera mas “moderna”, como lo menciona Javier Gómez.¹⁴

14.- Javier Gómez Martínez. EL GÓTICO ESPAÑOL DE LA EDAD MODERNA, BÓVEDAS DE CRUCERIA. Universidad de Valladolid. 1998.



D.- Las bóvedas en la Nueva España durante el siglo XVI

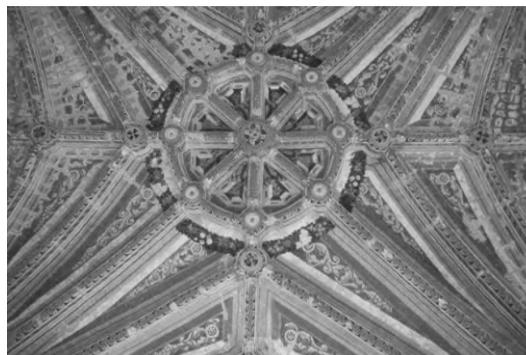
En la Nueva España, claramente llagaran estas ideas y serán aplicadas en las nuevas construcciones, esas ideas de modernidad y la tradición constructiva española dejarán huella, la construcción de bóvedas estrelladas será común en templos de gran importancia.

El primer tratado de arquitectura y construcción que data del la primera mitad del siglo XVII es escrito por Fray Andrés de San Miguel,¹⁵ carmelita que no deja atrás la tradición constructiva española y dibuja una montea de una bóveda de terceletes y da una breve explicación de la misma.

George Kubler en *Arquitectura Mexicana del Siglo XVI*,¹⁶ menciona la construcción de bóvedas, da como fecha de su aparición en 1540 por un texto de Motolinia, donde se mencionan las construidas en el templo de San Francisco de la ciudad de México y las dos capillas de Tlaxcala,

En México existen unos buenos ejemplos de bóvedas de nervadura, aunque aún no se ha realizado un estudio en forma sobre este tema, mas sin embargo, nuestro autor presenta varios ejemplos muy ilustrativos y se ve el grado de complejidad que llegan a desarrollar.

Figura 2.26 Bóveda del sotocoro de Coixtlahuaca
Figura 2.27 Nave del templo de Yanhuitlán.
Figura 2.28 Bóveda del templo de Oaxtepec.



15.- San Miguel, Fray Andres De. OBRAS DE FRAY ANDRES DE SAN MIGUEL INTRODUCCION, NOTAS Y VERSION PALEOGRAFICA DE EDUARDO BAEZ MACIAS. México : UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas, 1969.

16.- Kubler, George , ARQUITECTURA MÉXICANA DEL SIGLO XVI. Fondo de Cultura Económico. 1983.



II.- BÓVEDAS

E.- Conclusiones.

Podemos ver que la evolución de las bóvedas ha sido muy lenta a lo largo de la historia, esto habla de la complejidad que tiene construirlas. También es claro que han sido un elemento constructivo que da categoría a los edificios por el concepto y rigor geométrico que encierra una cubierta curva.

Pero más allá de la forma y atendiendo al proceso de construcción es claro que los procedimientos no cambian mucho al paso del tiempo. Así podemos decir que existe una tradición constructiva la cual va mas allá de los estilos y es evidente que ésta se va modificando y enriqueciendo con las ideologías, pero en esencia la manera de construirlas es la misma.

La tradición constructiva hace que los métodos o procedimientos trasciendan en el tiempo y no podamos encasillarlos a un estilo, así en el caso específico de las bóvedas de nervadura, no las podemos encasillar en góticas ya que su origen data de antes del periodo Gótico y se van a construir aún hasta el siglo XVII, ya muy lejos de épocas Góticas.

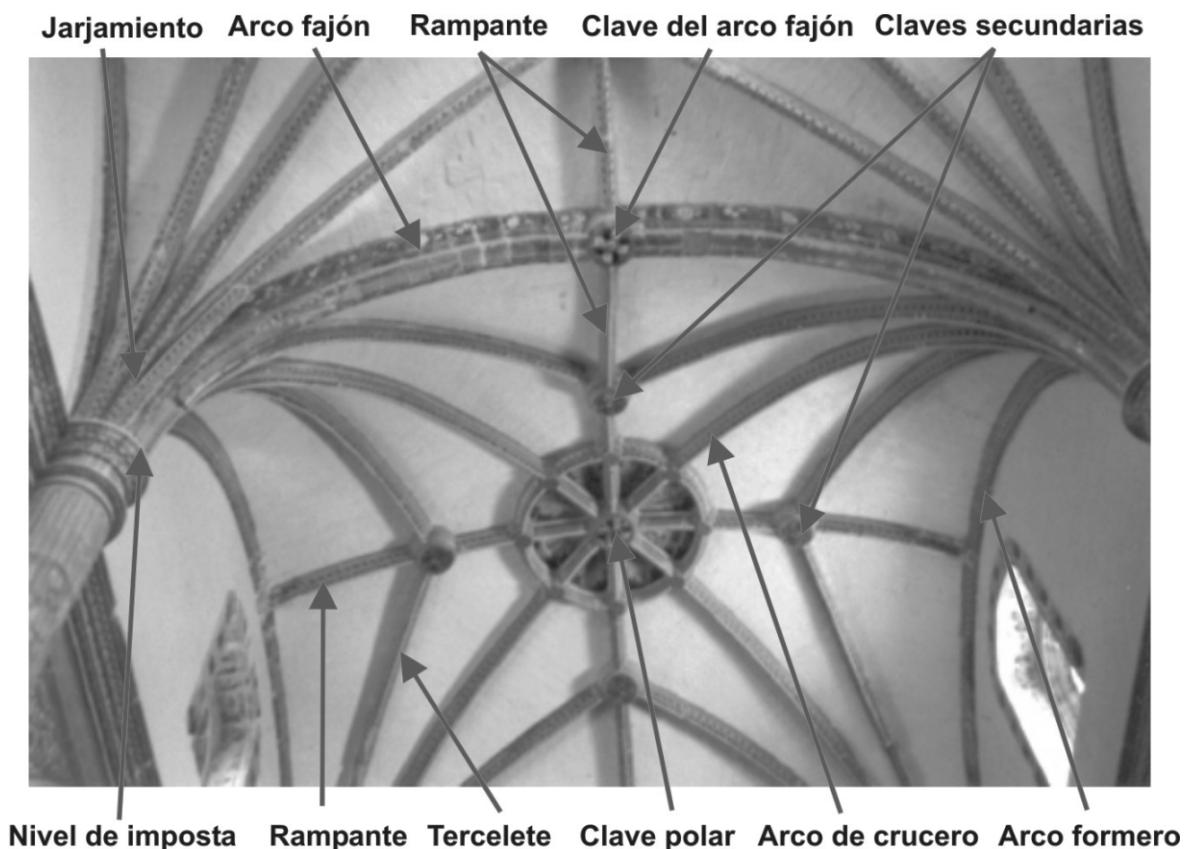


Figura 2.29 Bóveda del templo de Coixtlahuaca, donde se muestran los elementos principales que componen una bóveda de nervaduras.



Una característica importante de las construcciones Góticas y en general de los edificios europeos, es que tienen una cubierta sobre las bóvedas (ver figura 2.25), la cual tenía la función de cubrir en ciertas épocas del año los trabajos en las bóvedas y finalmente se quedaba para generar carga que ayuda a transmitir los coseos de la bóveda a la masa de los apoyos. (ver figura 2.26)

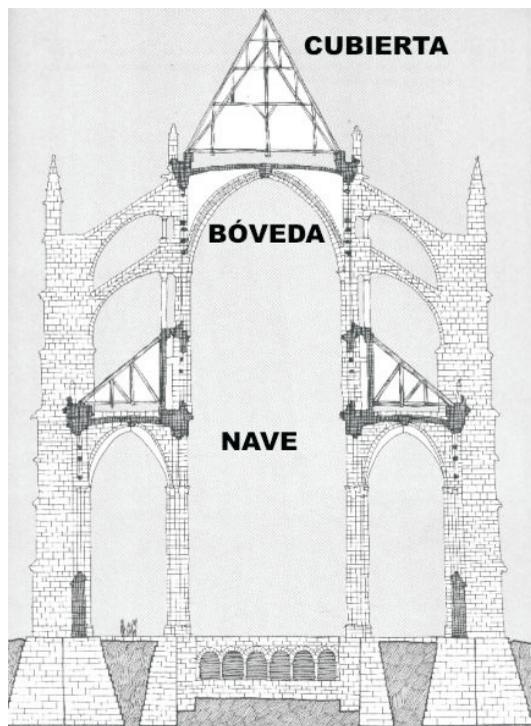


Figura 2.30 Esquema de una catedral donde apreciamos donde se ubica la cubierta

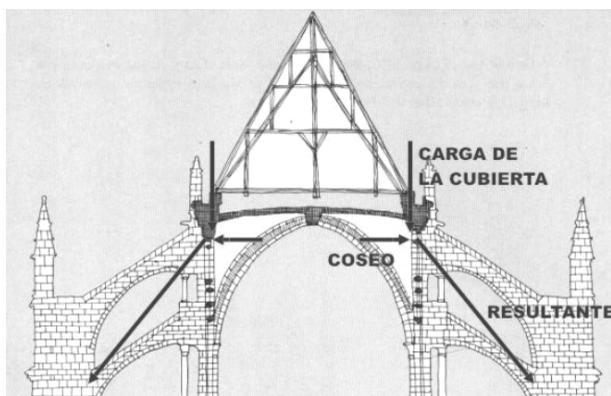


Figura 2.31 Esquema donde se explica cómo se transfieren las cargas en el edificio.

Esta solución de las cubiertas fue poco utilizada en Nueva España, por no decir que su existencia es casi nula, ya que el clima al ser menos extremo permite que no se interrumpan los trabajos y al mismo tiempo se economice en la construcción. Pero también genera el problema de no tener la carga para favorecer la estabilidad del edificio, por lo tanto los rellenos aplicados en las bóvedas en la Nueva España serán un factor importante para su permanencia.

Finalmente las bóvedas de crucería o estrelladas en el Nueva España, son utilizadas como lujo que le da mayor prestigio a un edificio, y entre mas elaborada la bóveda significa que ese espacio es mas importante. Esto lo podemos ver en muchos templos donde los presbiterios y en algunos casos los cruceros, son cubiertos con bóvedas estrelladas de mayor desarrollo que las demás utilizadas en la misma nave.

II.- BÓVEDAS



CAPITULO III

LA CAPILLA

ABIERTA DE

COIXTLAHUACA



III.- La capilla abierta de Coixtlahuaca.

A.- ¿Qué es una capilla abierta?

Las capillas abiertas también llamadas capillas de indios son un género de edificio único que se da en América a la llegada de los evangelizadores. Coincidiendo con John McAndrew,¹ podemos decir que: “Las capillas abiertas son el gran aporte del nuevo continente junto con los rascacielos a la arquitectura universal”.

Capilla proviene del latín *capella*, que quiere decir capa pequeña, esto es haciendo alusión al pedazo de capa que se quitó San Martín para entregárselo a un pobre y el santuario que se erigió para guardar esta reliquia fue llamado capilla. El termino capilla también designa a las pequeñas iglesias que no tienen pila bautismal .y generalmente tienen la función de oratorios.

¿Pero qué son las capillas abiertas?, ¿Por qué son diferentes? Primero tenemos que decir que estamos hablando de un edificio de tipo religioso, utilizado para la evangelización que se llevó a cabo en la nueva España durante el siglo XVI. Podemos atribuirle la paternidad de las capillas a los franciscanos ya que la primer capilla abierta de la que se tiene conocimiento es de la San José de los Naturales que se encontraba en el convento de San Francisco en la ciudad de México. De esta construcción no existen restos pero se sabe de ella por la descripción que hace Cervantes de Salazar en el mismo siglo XVI.

Pero no solo los Franciscanos utilizaron la capilla abierta, fue un esquema tan bien aceptado por los naturales al ser evangelizados que los Dominicos y Agustinos, órdenes mendicantes que llegaron posteriormente a la nueva España adoptaron también para su empresa evangélica.

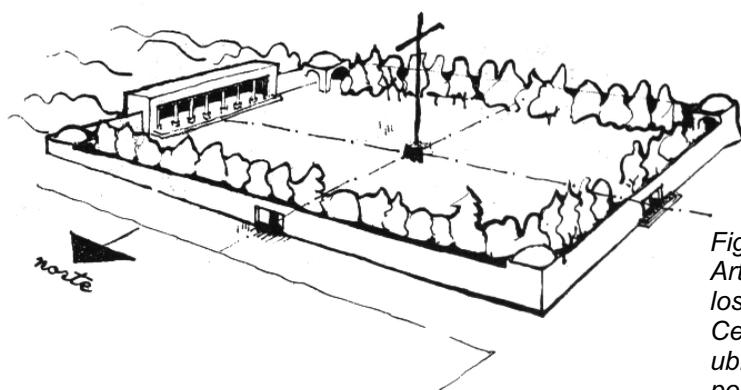


Figura 3.1 Dibujo realizado por Juan Benito Artigas, de la capilla abierta de San José de los Naturales, basado en la descripción de Cervantes de Salazar. La capilla estaba ubicada en un atrio con cuatro capillas posas con su camino procesional y una gran cruz al centro.

1.- John McAndrew. THE OPEN AIR CHURCHES OF SIXTEEN CENTURY MÉXICO. Harvard university press. 1965.

¿Que elementos forman el programa de la capilla abierta?, primero veamos cuales son los elementos mas comunes para cualquier templo católico:

- 1.- La parte principal de estos templos es el presbiterio que es el lugar donde se oficia la misa y hacia donde los asistentes observan.
- 2.- El área donde están los asistentes observando y participando de la misa.
- 3.- Las dependencias que auxilian al funcionamiento del templo.

Estos elementos los encontramos dentro de los esquemas mas representativos que sirvieron para templo desde las primeras épocas del cristianismo. Podemos mencionar que primeramente se reutilizaron edificios romanos con planta basilical de tres o más naves y posteriormente se edificaron nuevas. Este tipo de construcciones remata al fondo con un ábside que es donde se localiza el presbiterio. La otra forma es la realizada en el periodo bizantino que consta de una planta en forma de cruz con una bóveda sobre el crucero y bajo el mismo se localiza el presbiterio.

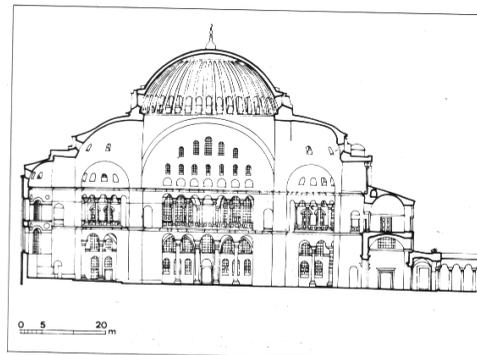
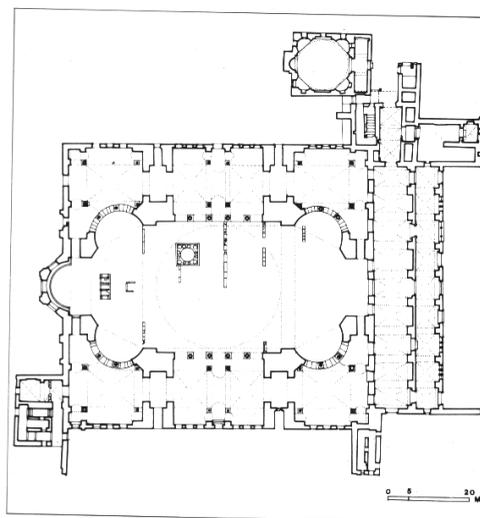


Figura 3.2 Basilica de Majencio (arriba) Planta y corte de Santa Sofia (derecha).





De estas soluciones surgen muchas variantes con el paso del tiempo, pero realmente no existe diferencia en el esquema básico.

En Nueva España se construyen los templos de nave rasa que constan de una sola nave para albergar a los fieles y que remata en un ábside donde se localiza el presbiterio y ya al paso del tiempo se construirán los templos basilicales con tres y cinco naves, por ejemplo dentro del mismo siglo XVI está la catedral de Mérida.

Podemos decir que el ejemplo más representativo de arquitectura del siglo XVI en la nueva España es el conjunto conventual; que consta de un atrio con capillas posas, capilla abierta, templo de nave rasa y el convento junto a ésta. Pero regresemos al esquema del templo.

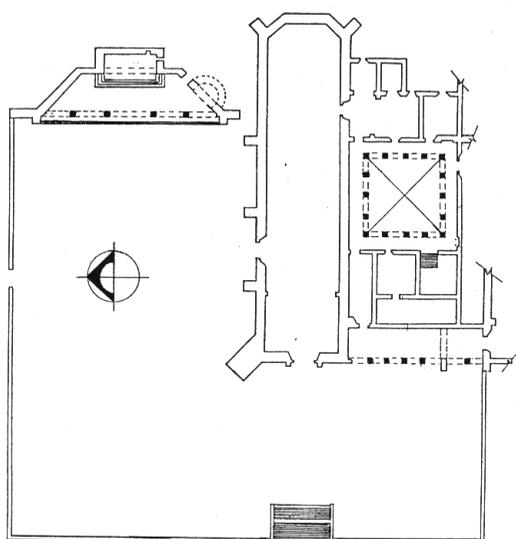


Figura 3.3 Planta del conjunto conventual de Tlalmanalco. Aquí podemos observar la capilla abierta, la nave, el claustro y el atrio, y así como este conjunta encontraremos muchos alrededor del territorio nacional, aunque ya en algunos casos algunos elementos ya no existan.

Como hemos visto en lo anterior los dos elementos que caracterizan al templo siempre están en íntima relación ya que por utilidad la composición de los espacios es completamente estrecha. De todo lo visto podemos concluir que los dos elementos que componen los templos donde se puede oficiar misa son: El presbiterio y la nave. Ahora pasemos a nuestro tema directamente.

El presbiterio que normalmente es la parte que conocemos de las capillas abiertas, es el elemento que conocemos por ser espacios tectónicos, y por sus características los podemos clasificar como veremos mas adelante, pero ¿Que sucede con la nave donde los feligreses participan de la misa?

Se ha llegado a decir que los naturales tenían miedo a los espacios interiores grandes, ¿Pero realmente podemos considerar esto como real? Ellos contaban con construcciones techadas aunque no de gran magnitud en sus claros, y ellos participan de la construcción de los templos pero eso no es lo importante.

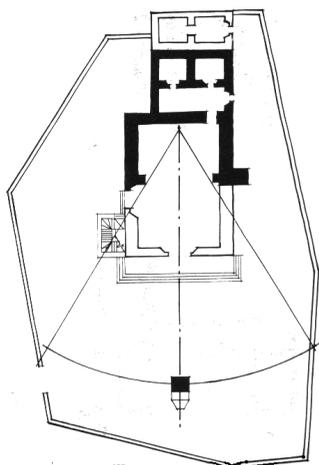


Hay que considerar que en el momento de la evangelización no existían los grandes templos, y surge la necesidad de crear los espacios para oficiar la misa, allí surge la gran idea de la capilla.

La solución realmente debió basarse en que los indios estaban acostumbrados a tener una vida al aire libre, que el clima de Mesoamérica era lo bastante benigno para estar fuera y poder realizar sus actividades cotidianas.

Primeramente la delimitación del espacio religioso, parte del atrio que como tal fue la primera expresión de lugar donde se impartía la fe, en estos atrios se dividían a los indios por género y edad, se realizaban actividades de catequización y de enseñanza de oficios.

Estos grandes espacios primeramente se delimitan con una barda y luego construyeron el presbiterio como centro del rito para la misa y de una manera muy ingeniosa se delimita una nave descubierta que es definida por el abocinamiento virtual que parte del presbiterio pasando por el arco triunfal de la capilla y se cierra a la altura de la cruz de piedra, también llamada atrial. Esta distancia estará dada en función de poder escuchar bien la misa hasta este punto, es conveniente recalcar que la nave descubierta es parte de el atrio y no el atrio en su totalidad.



3.4 Santa María Magdalena Jihuico. Hidalgo. Definición de la nave descubierta del presbiterio a la cruz.

Ahora ya tenemos definidos los dos elementos principales (presbiterio y nave) como están compuestos y como interactúan, pero también las capillas abiertas no son iguales entre sí. Existen varios tipos de capillas y el Dr. Juan benito Artigas² las divide en cinco tipos, esto nos ayudará a entender mejor:

El primero es aquel que consta sólo del presbiterio y la nave descubierta. La planta generalmente cuadrada o de proporciones casi cuadradas y que en volumen asemeja a un cubo, también tienen un arco triunfal o una pequeña arcada, de este tipo podemos mencionar a San Juan Atzonzintla en el estado de Hidalgo.

1.- Juan Benito Artigas. CAPILLAS ABIERTAS AISLADAS. UNAM. 1992.

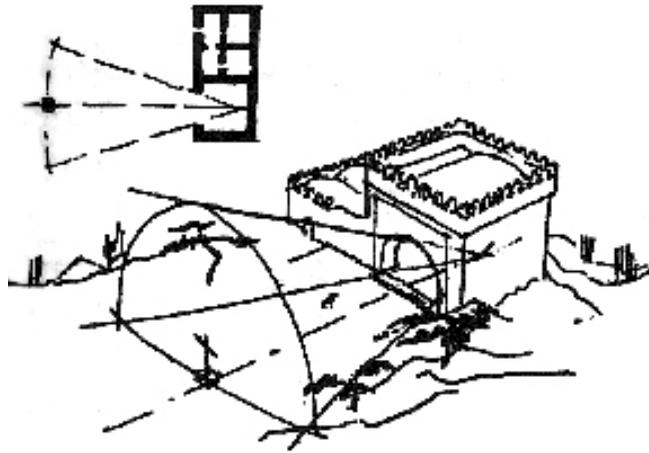


Figura 3.5 Capilla abierta de San Juan Atzonzintla, dibujo realizado por el Dr. Artigas, en el se ve la delimitación de la nave descubierta, el presbiterio de proporciones casi cuadradas y sus dependencias que en este caso no se tiene acceso al presbiterio desde ellas.



Figura 3.6 Capilla abierta de San Juan Atzonzintla, fachada de la capilla, nótese que el arco triunfal esta tapiado pero se alcanza a ver la composición y el alfiz característico de la arquitectura del siglo XVI.



El segundo consta de un presbiterio y nave transversal previa a la nave descubierta. Esta nave era utilizada para que estuvieran a cubierto los coros y la gente importante de la comunidad, como es el caso de Tzintzuntzan en Michoacán. Es importante recalcar que la capilla puede contar con varias naves transversales paralelas entre si, muchas veces aumentándose estas naves paulatinamente de acuerdo con la necesidad, de allí parte la teoría de cómo fue creciendo la capilla de san José de los naturales en la ciudad de México. Tal vez el ejemplo de capilla abierta más avanzado que se creo en la nueva España es el de Teposcolula en Oaxaca, ya que muestra una gran innovación al llevar el ábside al frente entre las naves transversales.

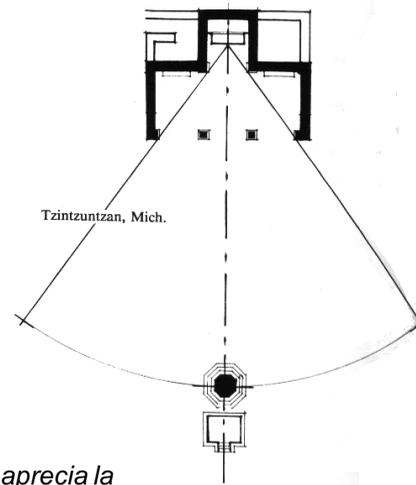


Figura 3.7 Planta y vista de la capilla abierta de Tzintzuntzan, se aprecia la nave transversal al frente del presbiterio.

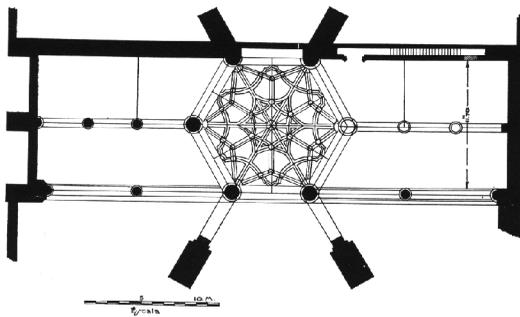


figura 3.8 Planta de la capilla abierta de Teposcolula presentada por Manuel Tousaint en su libro paseos coloniales. Aquí se aprecia bien como el presbiterio se encuentra entre las naves transversales y la fotografía donde se aprecia el conjunto.



El tercer tipo de capilla es aquella que consta de un presbiterio en forma de ábside que tiene dos espacios laterales de menor tamaño que sirven de sacristía y de bautisterio, generalmente este tipo de capillas las vemos en el sureste de México, y considerando que el clima en esas latitudes es muy caliente este tipo de edificio presentaba una ramada al frente para cubrir la nave descubierta, como es el caso de Dzibilchaltun, Yucatán o Boca en Quintana Roo.

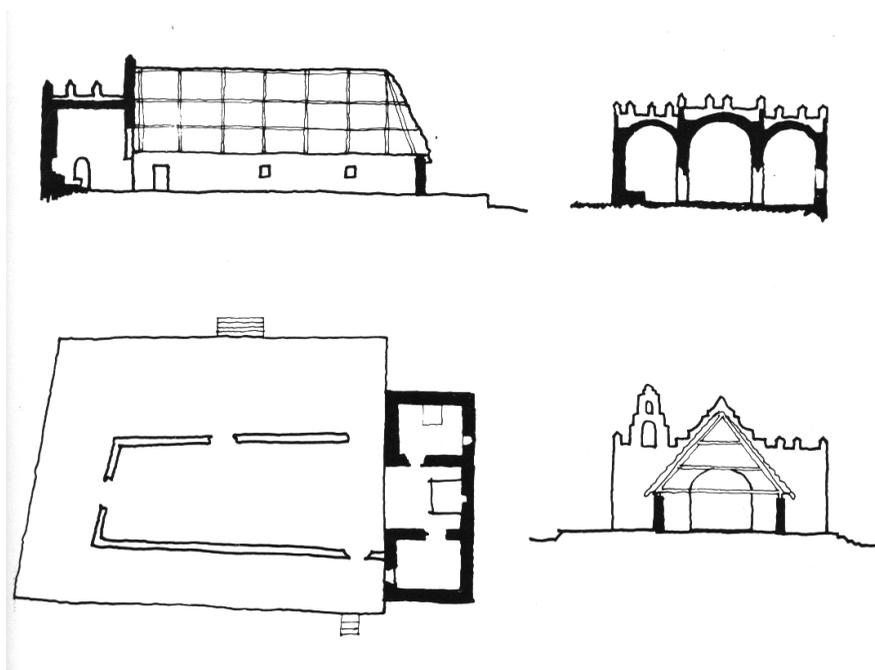


Figura 3.9 Planta de Boca, cortes y fachada en donde se aprecian las dos dependencias a cada lado del presbiterio y la ubicación de la ramada.

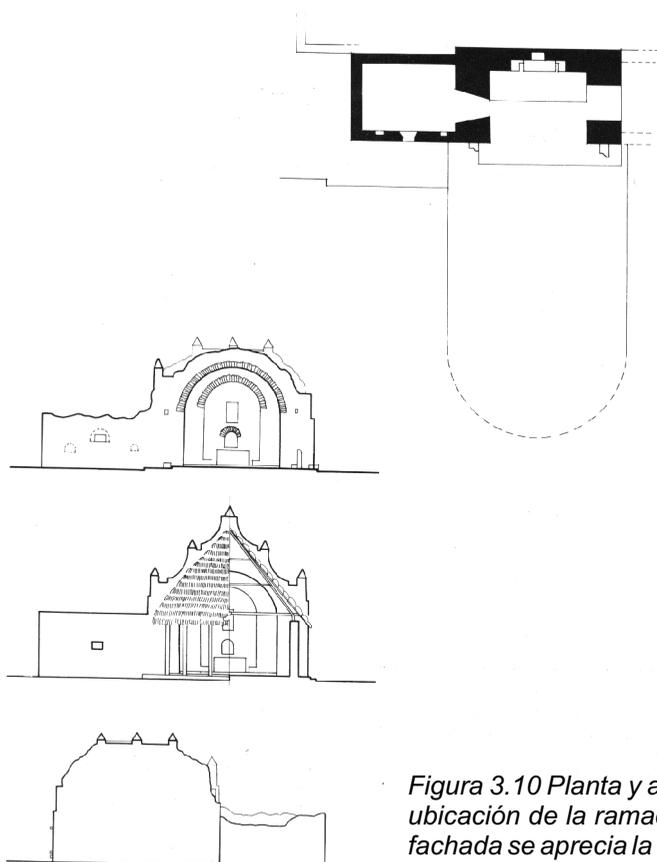
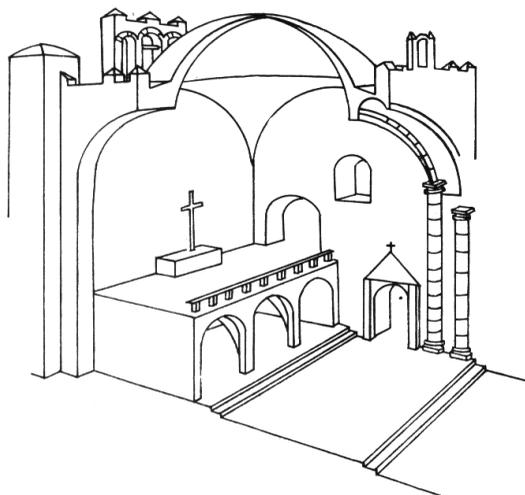


Figura 3.10 Planta y alzados de Dzibilchaltun, aquí se aprecia la ubicación de la ramada y la sacristía anexa al presbiterio en la fachada se aprecia la ramada.

El cuarto tipo de capillas abiertas esta determinado por tener el presbiterio en parte alta sobre una doble o triple arcada. De este tipo podemos mencionar la de Calkini,



*Figura 3.11 Capilla de Calkini, reconstrucción realizada a partir de la descripción de Fray Antonio de Ciudad Real, en el **Tratado curioso y Docto de las Grandezas de la Nueva España**. Aquí se aprecia el presbiterio en la parte superior sobre una arcada inferior.*

Figura 3.12 Capilla abierta de Huaquechula, Puebla,

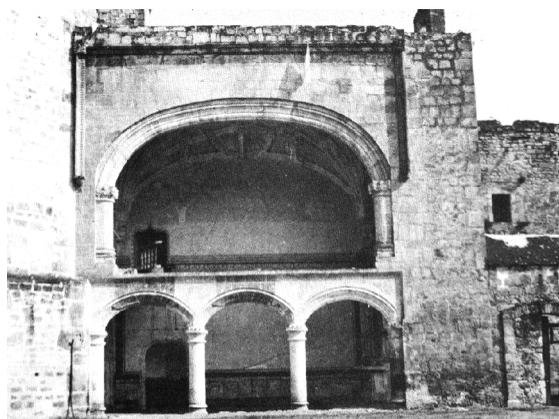
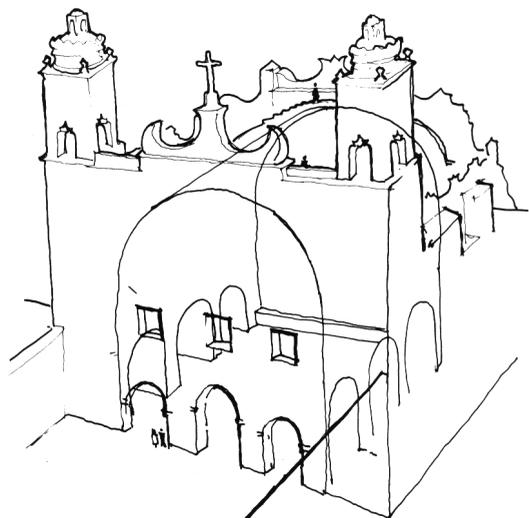


Figura 3.13 Capilla abierta de Tochimilco, Puebla.





Podemos hablar de una quinta clasificación que nos da el Dr. Artigas que son Capillas realizadas ya a fines del siglo XVI y durante el XVII, pero este tipo de edificios realmente hay muy pocos ejemplos y falta estudiarlos mas, en estas capillas ya hay variedad de soluciones y respuestas tanto en planta como en alzado, ya que se ven ya manierismos que nos alejan de lo realizado durante la mayoría del siglo XVI que es eminentemente mas mesurado y dentro de las proporciones renacentistas y también aparecen otros elementos dentro de la misma capilla.



También hay que revisar algunos casos de capillas de hospital, ya que requerían estas capillas que los enfermos graves pudieran escuchar la misa desde su cama. En este caso el programa normal que hemos visto de la capilla abierta se vería modificado ciertamente.

Figura 3.14 En este croquis de Ichnul se aprecia que el espacio del presbiterio ya tiene mayor proyección hacia arriba debido a las torres. También se aprecia que tiene tres dependencias que dan al presbiterio de cada lado del mismo, este edificio ya presenta una mayor complejidad dentro del esquema de las capillas abiertas.

Las capillas abiertas pueden ser parte de un conjunto conventual, con atrio y capillas posas o aisladas, para comprender mejor como están jerarquizadas conforme la población donde se ubican. Seguimos la siguiente clasificación del Dr. Juan Benito Artigas³:

TIPO DE POBLADO	CAPILLAS
Cabecera	Capilla abierta parte de un conjunto conventual con atrio y capillas posas.
Vicarías fijas	Capilla abierta aislada con atrio y cuatro capillas posas.
Pueblo de visita	Capilla abierta aislada.

Los materiales con los que se desarrollaban las capillas abiertas generalmente variaban con la región de su construcción, pero en sí podemos decir que eran construidas con muros de calicanto, y en sus cubiertas se utilizaron diversos sistemas constructivos de la época.

3.- Dr. Juan Benito Artigas Hernández, Tema selecto de la Maestría en Arquitectura, Campo del conocimiento Restauración de Monumentos: **Historia de la arquitectura en México siglo XVI**, Ciudad Universitaria, México 2003.



Bóvedas planas: constaban de una vigería empotrada en los muros, tejamanil para contener los terrados que en su parte superior recibían entortados de mortero y un enladrillado en la parte superior. Como ejemplo podemos mencionar las naves transversales de Teposcolula.

Bóvedas de cañón corrido: realizadas en cantera, se utilizaban normalmente en los presbiterios y en naves transversales, podemos mencionar San Juan Atzonzintla como un ejemplo muy sencillo y Atlatlaucan como uno donde se utilizan varias bóvedas de medio cañón.

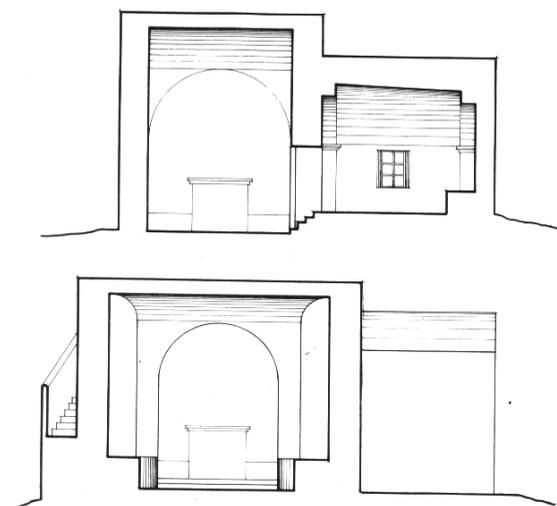


Figura 3.15 Cortes de San Juan Texcalpan realizado por el Dr Artigas. Ejemplo donde se aprecia el uso de las bóvedas de cañón corrido.

Bóvedas nervadas: Estas son muy escasas realmente dentro de las capillas abiertas, ya que las construcciones realizadas de esta manera eran muy costosas como lo asegura Kubler⁴ y requerían de una mayor capacidad técnica por parte de los constructores y realmente donde observamos su mejor desarrollo es en los templos realizados después.

En el caso de la Capilla del Rosario de Tlaxcala (donde coincido con la apreciación del Dr. Artigas, en clasificarla como humilladero y no como capilla abierta), su bóveda fue construida al estilo de las bóvedas nervadas que vienen desde la tradición constructiva del gótico isabelino y que se reinterpreta en el nuevo continente con nervaduras gruesas en una planta de hexágono irregular y es considerada la primera en su tipo en la Nueva España.

4.- Kubler, George , ARQUITECTURA MÉXICANA DEL SIGLO XVI. Fondo de Cultura Económico. 1983.



Figura 3.16 Detalle de la bóveda y vista exterior de la capilla del rosario, Tlaxcala.

La capilla de San Pedro y San Pablo Teposcolula tiene una bóveda en el presbiterio que es una media naranja con nervaduras, y las naves transversales están realizadas con vigería.



Figura 3.17 Bóveda nervada de Teposcolula, tal vez esta capilla sea la mejor lograda en toda la Nueva España.

Para finalizar esta parte de la investigación podemos decir que:

Las capillas abiertas surgen en 1527 con San José de los naturales y este género de edificios cumple tan bien con las necesidades planteadas en el momento, que trasciende más de cien años, llegan algunas capillas hasta el siglo XVII ya con otra expresión e idea en la concepción de la arquitectura.

Estas construcciones no desaparecieron de la noche a la mañana, simplemente fueron dejando de cumplir con las nuevas formas e ideas planteadas después de la evangelización y en muchos casos se adaptaron a las nuevas necesidades que se fueron generando y en otros fueron olvidadas o destruidas, pero los ejemplos que nos han llegado hasta nuestros días nos muestran la importancia y la trascendencia que tuvieron.

Son un producto del mestizaje, el primer género de edificios que da el nuevo continente al contacto de las dos culturas, más allá del tamaño que puedan tener, de los materiales, es la idea en la composición de los espacios (presbiterio y nave) y las grandes ejecuciones las que las convierten en un ejemplo único.

En este espacio se encuentra el conjunto conventual que data del siglo XVI y que consta de convento, huerta, templo de nave rasa y capilla abierta. Esta se encuentra ubicada en la parte Norte de la plataforma, su fachada ve al Poniente como la mayor parte de las iglesias del siglo XVI en la Nueva España y desde allí se tiene buena vista del atrio. Al Sur de la capilla y en forma de L, contiguo a ella se encuentra la nave del templo y mas allá, el claustro.

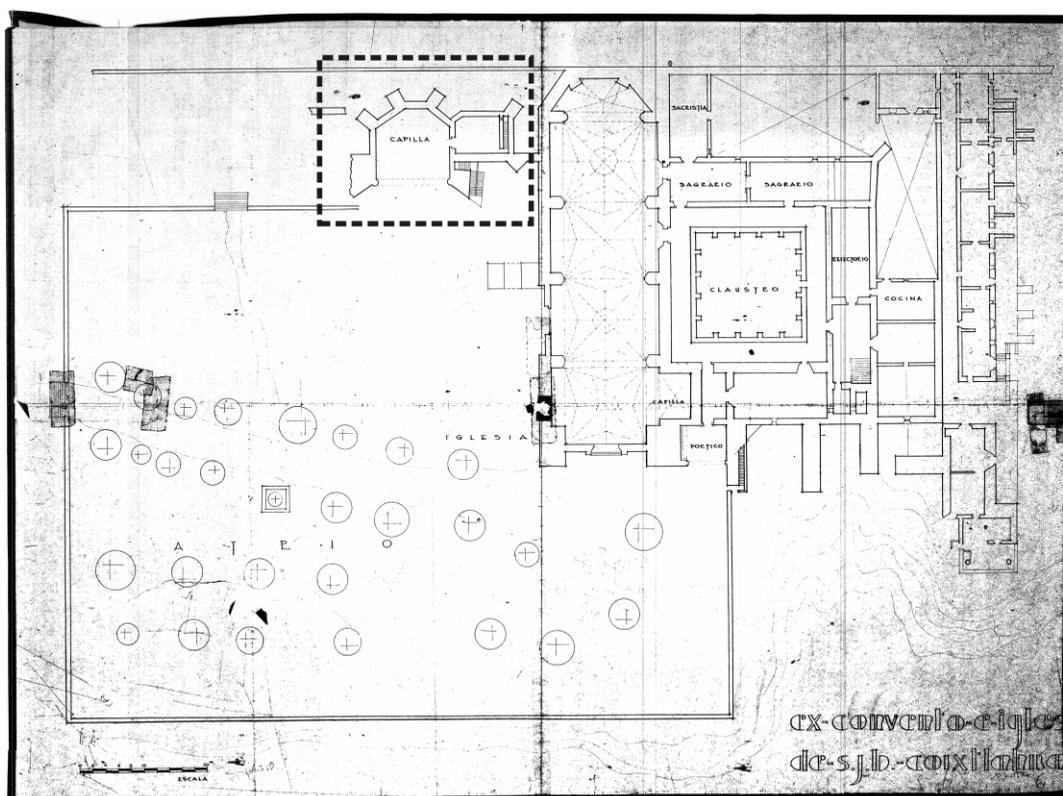


Figura 3.19 Plano del conjunto conventual de Coixtlahuaca, CNMH, INAH.

Es la capilla abierta estructuralmente independiente de la nave del templo, cuenta también con una habitación que en planta baja cumple las funciones de sacristía, y en planta superior era utilizada como coro y celda del fraile guardián de la capilla.

C.- Características de la capilla.

***“The most elegant of the single-cell chapels is surely that at Coixtlahuaca”
Jonh McAndrew.⁶***

“La mas elegante de las capillas de espacio sencillo es seguramente la de Coixtlahuaca”

Esta capilla única en su género fue empezada a construir durante el siglo XVI, a la llegada de los monjes dominicos, quienes tenían a su cargo la evangelización de la zona.



Figura 3.20 Fachada de la capilla abierta de Coixtlahuaca

La capilla fue realizada a manera de ábside, con su nave descubierta al frente, es decir, vista en planta su parte posterior es ochavada con contrafuertes y dos arcos que se abrían a los lados, al frente un arco triunfal con otros dos arcos botareles frontales en ángulo aproximado a los cuarenta y cinco grados con respecto a la fachada. Originalmente estos arcos estaban abiertos, pero suponemos que al descubrir los frailes que la zona es altamente sísmica, decidieron tapiar anexando grandes macizos de cantera los arcos laterales y rellenando los arcos botareles que están frente del arco triunfal de la fachada.

“En términos generales la planta y el alzado de esta capilla fueron el antecedente de la de Teposcolula de planta hexagonal, construida por alguien con mas experiencia en obras arquitectónicas, A la de Coixtlahuaca se le ha calificado de extraordinaria y audaz para la época en que debió iniciarse entre 1546, 1548”.⁷

6.- John McAndrew. THE OPEN AIR CHURCHES OF SIXTEEN CENTURY MÉXICO. Harvard university press. 1965.

7.- Magdalena Vences Vidal,. EVANGELIZACIÓN Y ARQUITECTURA DOMINICANA EN COIXTLAHUACA. Monumenta histórica iberoamericana de la orden de los predicadores volumen XVIII. Salamanca España. Editorial San Esteban, 2000.





III.-LA CAPILLA ABIERTA DE COIXTLAHUACA

Al igual que Magdalena Vences, George Kubler, da como anterior a Teposcolula la capilla de Coixtlahuaca, por lo cual tomaremos lo anterior como verdad.

También nuestra autora nos dice que este diseño es atribuido a Francisco Marín, fraile dominico con conocimientos de arquitectura que en el año de 1541 hace la incursión y la fundación de Coixtlahuaca junto con Martín de Santo Domingo. "Para 1546 Francisco Marín es nombrado vicario de Coixtlahuaca".⁸

Actualmente la capilla no cuenta con la cubierta, de la cual no se tiene hasta el momento un antecedente gráfico, pero se supone fue realizada a la manera de las bóvedas nervadas de origen gótico dado que se aprecian sobre los pinjantes que tiene en cada esquina interior el arranque de las nervaduras que conformaron esta bóveda, así como también existe la bóveda de la sacristía, que ya fue reconstruida durante los años 80s, pero de la cual sí se tenía el antecedente fotográfico realizado por Manuel Toussaint⁹ que fue utilizado para realizar la restitución. También podemos decir que fue el estilo utilizado por los dominicos en la zona, ya que vemos este tipo de trabajo en el templo del mismo Coixtlahuaca y en conventos cercanos como Yanhuatlán y Teposcolula como veremos más adelante.



La construcción de la capilla abierta de Coixtlahuaca fue realizada en piedra blanca del lugar, cuya cantera se encuentra a unos doscientos metros sobre la ladera al oriente del conjunto conventual.

Figura 3.21 Imagen del libro *Paseos Coloniales* de Manuel Toussaint,

Los muros tienen un espesor promedio de 1.90 m y cuentan con estribos en cada vértice del fondo de forma ochavada. Estos estribos son de una sección un poco mayor de 2.00 m. Al sur se encuentra la sacristía de doble altura que tenía un tapanco el cual ve desde la parte superior al presbiterio y cumplía las funciones de coro. Sus muros son de dimensiones similares y en la esquina sureste ingeniosamente la carga que genera la bóveda de la sacristía es transferida con un arco adosado al muro de la capilla al estribo siguiente hacia el sur.

8.- Magdalena Vences Vidal, EVANGELIZACIÓN Y ARQUITECTURA DOMINICANA EN COIXTLAHUACA. Monumenta histórica iberoamericana de la orden de los predicadores volumen XVIII. Salamanca España. Editorial San Esteban, 2000.

9.- Manuel Toussaint, PASEOS COLONIALES. Ed. Porrúa. 1983.

La sacristía tiene forma rectangular y cuenta al sur con escaleras para comunicar la parte baja con el coro, la bóveda esta formada por cuatro arcos formeros que arrancan desde la imposta que recorre el perímetro y en las esquinas encontramos pinjantes de los cuales nacen nervaduras en forma de terceletes y en la clave de cada arco formero nace una nervadura. Al Oriente hay una ventana que ilumina el coro y al norte el gran vano que permite la vista hacia el presbiterio.

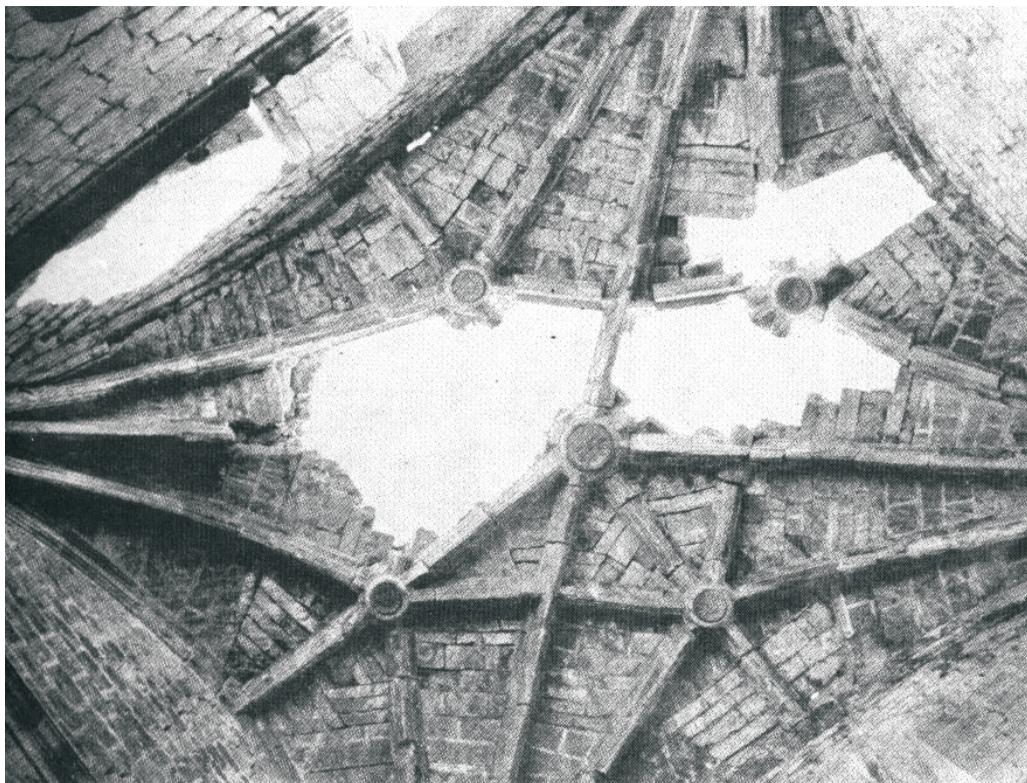


Fig. 3.22 Bóveda de la sacristía, imagen del libro paseos coloniales.

El presbiterio en su interior cuenta con una moldura que recorre la mayoría de la imposta y de la cual suponemos debió ser en todos los muros ya que en la parte superior del arco triunfal no tenemos ya toda la moldura. En cada vértice interior del presbiterio también existe un pinjante, los dos pinjantes que dan al poniente por la forma de la planta no son muy vistosos y ya no cuentan con los arranques de las nervaduras de la bóveda. Los pinjantes que se encuentran en la parte oriente son muy vistosos y en ellos si se aprecia el arranque de las nervaduras.

Los arcos formeros a excepción del ubicado al oriente no están completos, en los dos arcos ubicados al Norte y Sur se alcanza a notar que fueron de forma rebajada y son de cuerda muy larga. Los arcos Nororiente, Oriente y Sur - Oriente son más chicos y tomando como referencia el que aún está completo, también tenían en su clave el vértice de una nervadura.





Ya estando en la parte superior de la capilla se alcanza a apreciar restos de pintura mural en los tímpanos y en el entablamento que tenemos se ven restos ya muy poco legibles de una inscripción.

El muro sur del presbiterio tiene tres vanos, el primero esta mas al poniente formado por la columna sur del arco triunfal y una columna adosada con un arco rebajado en su parte superior, que se encuentra tapiado por los problemas de estabilidad ya mencionados. El siguiente vano es el acceso a la sacristía, el cual es una puerta con arco de medio punto que tiene decoración de flores de ocho pétalos. Arriba de la puerta esta el vano del coro compuesto por un par de columnas adosadas y un arco de tres centros.

Los muros Nororiente, Oriente y Sur Oriente no cuentan con vanos. El muro Norte cuenta con un vano que se forma con la columna Norte del arco triunfal, una columna adosada con un arco y que al igual que su simétrico al Sur esta tapiado.

El arco triunfal de la capilla abierta esta formado por dos columnas de orden dórico, con una talla de un ángel que trae cargando una corona. El arco es rebajado, las dovelas están cortadas de manera que tienen cuatro caras visibles, la cara que da al interior del presbiterio no tiene decoración alguna, en el intradós, la cara que genera un abocinamiento y la cara frontal de la dovela están decoradas con unas figuras que se entrelazan y tienen la inscripción INIR, resultado de una errónea interpretación del cantero, seguramente natural de la zona. Estas figuras se han descrito como una representación de delfines, dragones o algún otro animal fantástico, en especial se ha hablado de una representación de Quetzalcoatl por parte de McAndrew,¹⁰ aunque también podría ser una representación del toponímico del pueblo “Coixtlahuaca” que quiere decir llano de culebras, lo que si es importante mencionar es la calidad de estos trabajos en cantera realizados por los naturales, que aún conservan pintura de color azul celeste, muestras claras del mestizaje cultural que se realizó en la Mixteca Oaxaqueña.



Fig. 3.23 Detalle de las dovelas del arco triunfal de la capilla abierta de Coixtlahuaca

10.- John McAndrew. THE OPENAIR CHURCHES OF SIXTEEN CENTURY MÉXICO. Harvard university press. 1965.



Las enjutas tienen dos escudos de la orden de los predicadores en forma circular tallados en cantera, aunque no están centrados dentro del espacio de la enjuta. Se aprecia esa intención del renacimiento de tener una figura circular en ese lugar. Después viene una cornisa que termina el cuerpo hasta donde hoy lo conocemos, el arco triunfal en su parte superior está cubierto por mezcla de concreto de una intervención anterior en el monumento y por el lugar de esta acción es difícil acercarse a ver si se le realizó algún refuerzo.

Los arcos botareles están prácticamente destruidos, solamente nos queda una parte de los arcos que se sostiene por el relleno que se les puso al ser tapiados y las bases de las pilas, pero se alcanza a interpretar la idea original.



Figura 3.24 Imagen del arco botarel sur en su estado actual.

Gloria Espinosa Spínola presenta una descripción de la capilla abierta de Coixtlahuaca en el libro *Historiografía Iberoamericana*.¹¹ En donde dice: “Destaca, principalmente la capilla abierta constituida por un presbiterio poligonal, **nave transversal rectangular** y sacristía anexa...”

Nos llama la atención que se haga mención de una nave transversal, ya que mencionamos en este capítulo que John McAndrew clasifica la capilla por su espacio sencillo y coincidimos con esta apreciación. Nuestro argumento para decir que es una capilla de espacio sencillo, parte de la concepción del espacio en el renacimiento (*capítulo 1*). En el próximo capítulo analizaremos como esta manera de concebir el espacio permite comprender la forma y su uso (*ver figuras 4.12 y 4.13*).

Pero antes revisemos nuestro levantamiento fotográfico en donde apreciamos lo poco profundo del ochavo para considerarlo un espacio independiente, de igual manera no es lógico el subdividir el espacio por la existencia de los arcos laterales que están cegados ya que hablaríamos de un espacio muy angosto para una nave transversal y los pinjantes marcan los nacimientos de las nervaduras y los arcos formeros nos dan continuidad.

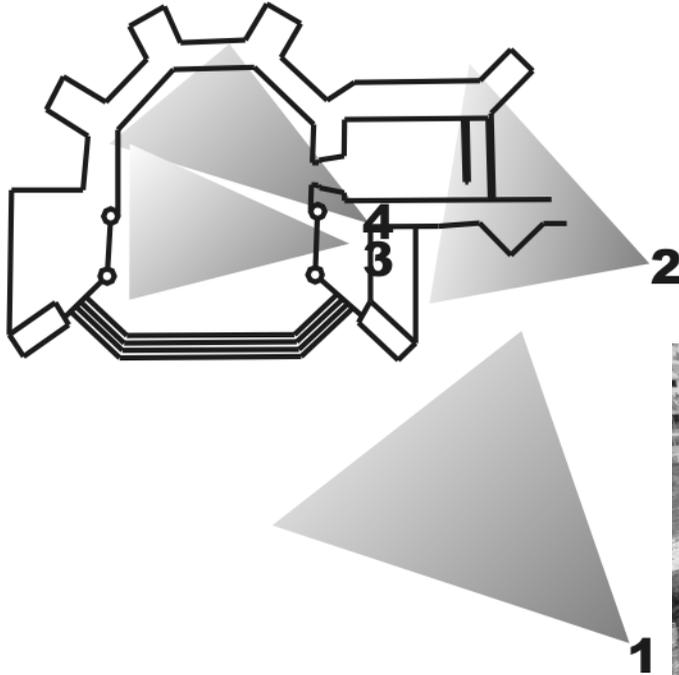
Finalmente, si analizamos los casos mostrados en este capítulo, existe una clara separación de la nave transversal y el presbiterio, la cual en Coixtlahuaca no es aplicable ya que estaríamos infiriendo que había personas tomando misa sin una separación física o virtual en el presbiterio y si nuestro análogo más cercano es Teposcolula (*ver figura 3.8*), apreciamos que la ubicación del presbiterio es al centro del espacio abovedado donde convergen los ejes de la construcción y en este caso sería similar si analizamos los ejes de la figura 4.1 del siguiente capítulo.

11.- HISTORIOGRAFÍA IBEROAMERICANA. ARTE Y ARQUITECTURA (XVI-XVIII). Fundación Carolina y CEDODAL. España. 2005

COIXTLAHUACA

Capilla abierta

Levantamiento fotográfico



1.- Vista de la capilla desde las bóvedas del templo



2.- Vista de los arcos formeros desde las bóvedas del templo



4.- Vista de los arcos formeros Nororiente y Oriente vistos desde la parte superior de la capilla abierta



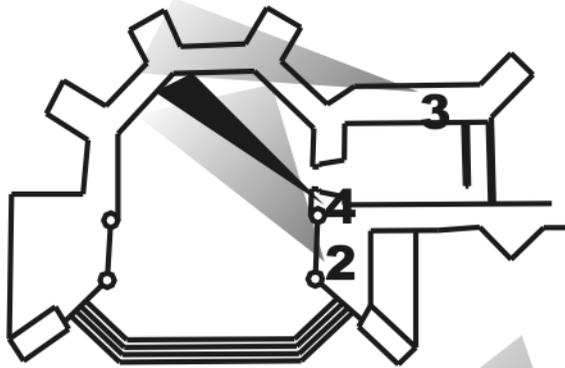
3.- Vista del arco formero Norte visto desde la parte superior de la capilla abierta

COIXTLAHUACA

Capilla abierta

Levantamiento fotográfico

B



1.- Vista de los arcos formeros desde las bóvedas del templo



2.- Arco formero oriente visto desde la orilla superior de la capilla



4.- Detalle del pinjante y salmer del arco formero Oriente



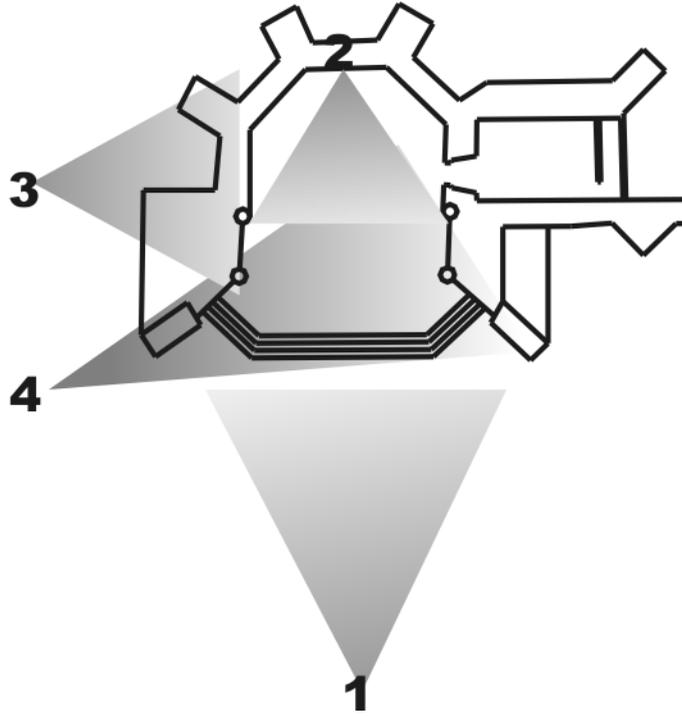
3.- Vista superior del contrafuerte Nororiental tomada desde la bóveda de la sacristía

III.-LA CAPILLA ABIERTA
DE COIXTLAHUACA

COIXTLAHUACA

Capilla abierta

Levantamiento fotográfico



1.- Fachada Poniente de la capilla abierta



2.- Vista del arco triunfal tomada desde el interior de la capilla



4.- Vista en perspectiva de la capilla tomada del Norponiente



3.- Vista de la capilla desde el Norte

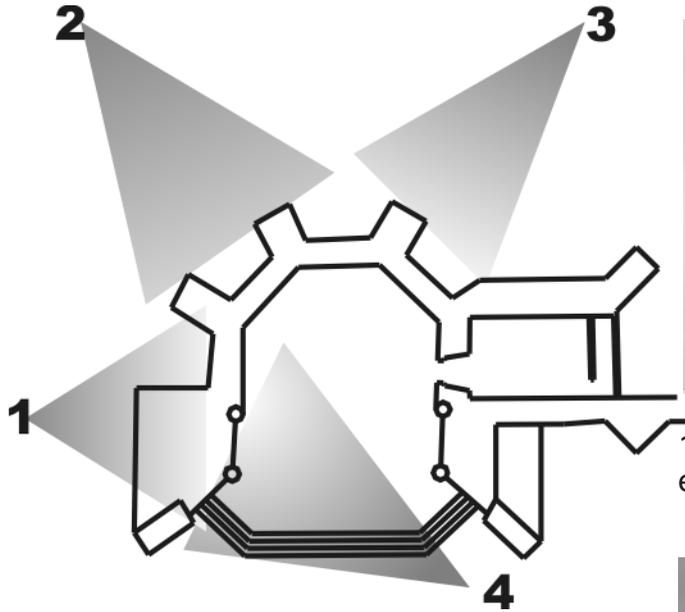
III.-LA CAPILLA ABIERTA
DE COIXTLAHUACA

COIXTLAHUACA

Capilla abierta

Levantamiento fotográfico

D



1.- Relleno y contrafuertes vistos desde el Norte de la capilla



2.- Vista nororiente de la capilla en la calle de Atonaltzin

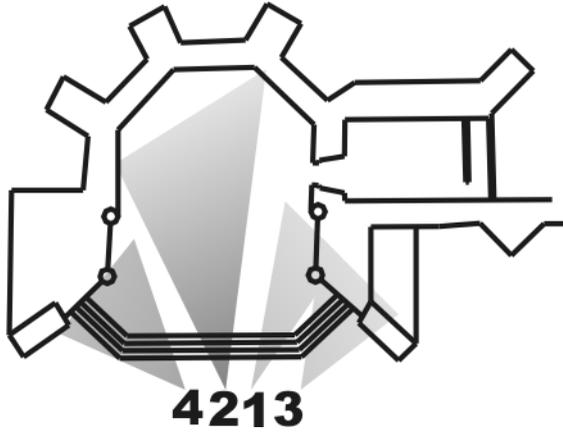


4.- Vista del arco triunfal y el arco botarel del lado Norte



3.- Vista del arco que descarga parte del peso de la bóveda de la sacristía al contrafuerte Suroriente de la capilla abierta

III.-LA CAPILLA ABIERTA
DE COIXTLAHUACA



1.- Vista de la sacristía desde el frente de la capilla



2.- Arcos formeros vistos desde las escaleras de la capilla



4.- Columna del arco triunfal del lado Norte



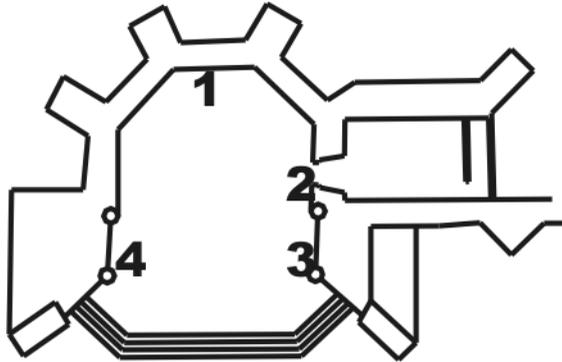
3.- Arco botarel tapiado del lado Sur

COIXTLAHUACA

Capilla abierta

Levantamiento fotográfico

F



1.- Arcos formeros del lado Oriente vistos desde el interior de la capilla



2.- Detalle de la puerta de la sacristia

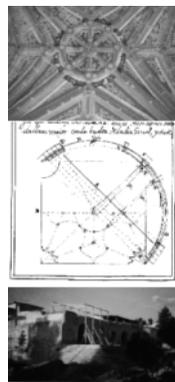


4.- Arco tapiado del lado Norte

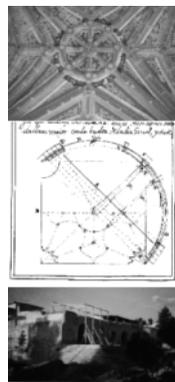


3.- Vista del arco triunfal desde el interior para ver el pinjante y la cornisa del lado Sur.

III.-LA CAPILLA ABIERTA
DE COIXTLAHUACA



CAPITULO IV PROYECTO DE RESTITUCIÓN



IV.- Proyecto de restitución de la bóveda.

A.- Principios para realizar la intervención

Para realizar el proyecto de restitución partimos del problema de la falta de antecedentes gráficos, por lo mismo tendremos que buscar la mejor opción por medio de varias propuestas, pero requerimos de establecer los siguientes principios.

- 1.- La intención es realizar el proyecto de restitución de la bóveda faltante en Coixtlahuaca, para tener un sustento científico que permita la mejor solución arquitectónica.
- 2.- De acuerdo con este trabajo se debe de llegar a una propuesta aproximada a lo que debió ser. Podemos llegar a hablar de un estado ideal como en las teorías de Eugene Emanuel Violet Le Duc ya que también es importante que la solución propuesta sea lo suficiente sólida para no tener problemas estructurales posteriores.
- 3.- La intención de restituir debe de ser en primera instancia con los sistemas constructivos originales y con la mínima participación de elementos de nuevas tecnologías (concreto, acero, etc.), lo cual mas adelante podremos definir apoyados en un estudio estructural.
- 4.- En caso de llegar a una propuesta no satisfactoria con lo antes mencionado, existe la posibilidad de realizar la restitución con un elemento cien por ciento contemporáneo que se integre y no demerite al monumento, sino al contrario lo enaltezca.

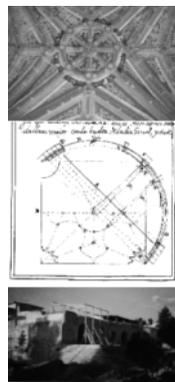
De los ejemplos análogos que analizaremos más adelante consideremos que:

El diseño de la capilla de Teposcolula por tener en planta un hexágono regular, la bóveda es más estable. Y considerando que es posterior a la de Coixtlahuaca, es un buen referente más no es la mejor solución por las diferencias existentes entre ambas.

La capilla de Mosén Rubí de Bracamonte en Ávila España, es una solución más aproximada debido a que es similar en forma y en tamaño e inicialmente figura como más estable y responde a la temporalidad de nuestro caso.

Las analogías que analizaremos, **todas en algún momento estuvieron en riesgo de colapso** por lo tanto quiere decir esto que el mantenimiento preventivo es pieza fundamental en la conservación de este tipo de monumentos.

La sismicidad de la Mixteca Oaxaqueña es un punto que no se debe descuidar ya que el no tomarlo en cuenta puede conducir a tener problemas posteriores de estabilidad, como ya sabemos paso en la misma historia de la capilla abierta de Coixtlahuaca.



B.- Análisis de forma.

a.- Primer análisis.

Para realizar el proyecto de restitución de la bóveda de la capilla abierta de Coixtlahuaca, se realizó un levantamiento in situ de los muros, tomando medidas y fotografías. Esto permitió encontrar las dimensiones de muros y espacios para obtener la planta arquitectónica (ver plano L1). Las alturas generales se midieron con metro (flexómetro) y verificado con ayuda de las fotografías se definieron las alturas que no pudieron ser tomadas en el sitio con escalera a partir del banco de nivel localizado en la base de la columna Sur del arco triunfal. Para entender la capilla se realizaron las fachadas interiores como del arco triunfal y un corte transversal. (ver planos correspondientes),

Después del levantamiento de la capilla abierta se analizó la planta y se obtuvo que la capilla está compuesta por ejes que coinciden al centro de la misma (ver Fig. 4.1). De esto se deduce que es posible que la bóveda de la capilla pudo ser de una piedra clave al centro, lo cual mas adelante analizaremos.

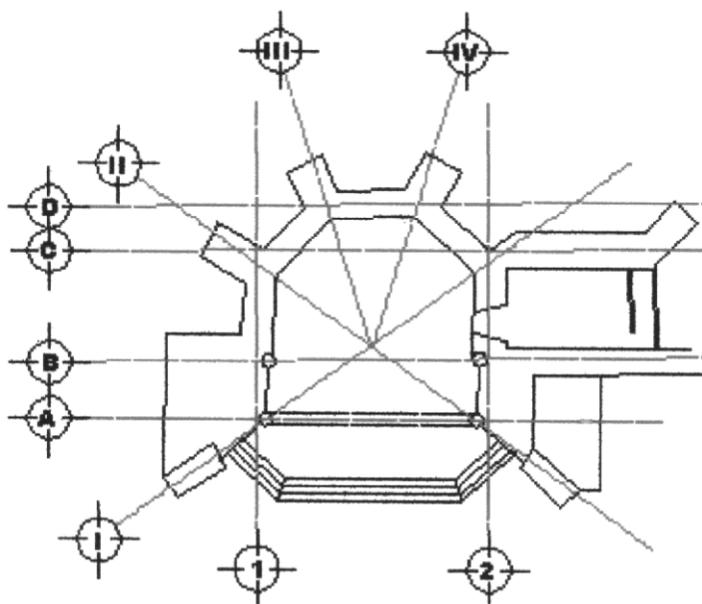


Fig.4.1 análisis de ejes en la capilla abierta.

Pero debido a la duda de la forma de esta bóveda, se buscó alguna analogía que permitiera corroborar la idea anterior. Pero algunos ejemplos encontrados no fueron muy convincentes formalmente y en otras el área a cubrir era menor a la que tenemos. El área a cubrir es de 106.33m^2 y siguiendo el trazo generado por el plano de ejes tenemos que se crean seis gajos de la bóveda con áreas a cubrir que van desde los 14.32m^2 hasta los 21.16m^2 en planta. (ver Fig. 4.2).

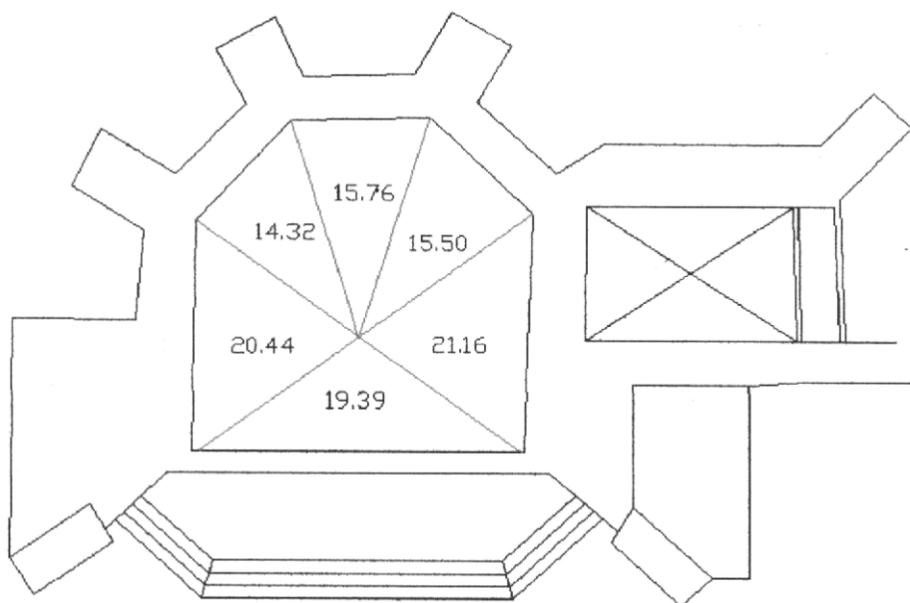
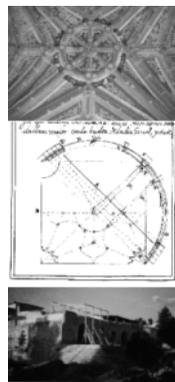


Fig. 4.2 Áreas en planta suponiendo una piedra clave

b.-Analogías.

En la realización de un proyecto de restitución es importante buscar ejemplos análogos, así que iniciamos la búsqueda en libros de plantas arquitectónicas que tuvieran semejanza con la de Coixtlahuaca y fueran contemporáneas a la misma o por lo menos muy cercanas en tiempo, lo más representativo que consideramos sirve para nuestro trabajo es lo siguiente:

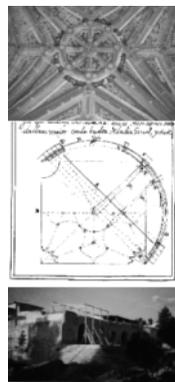


Al estar buscando los ejemplos análogos formalmente llamó mucho la atención la capilla de Mosén Rubí de Bracamonte en Ávila España, ya que la planta tiene un parecido con nuestro caso, el volteo de las bóvedas es de la misma época y tiene dimensiones similares. Esto abrió la posibilidad de realizar una bóveda de dos piedras clave cuestión que no se había contemplado seriamente.
(ver Fig.4.3)

" Se encuentra situada en la plaza del mismo nombre y muy cerca de la puerta del Mariscal Primero colegiata, en 1872 pasó a ser convento de dominicas".¹

Fig. 4.3 Retablo de la capilla de Mosén Rubí.

1.- [Http://www.avilavirtual.com/iglesyconv/paginas/mosenrubi.htm](http://www.avilavirtual.com/iglesyconv/paginas/mosenrubi.htm)



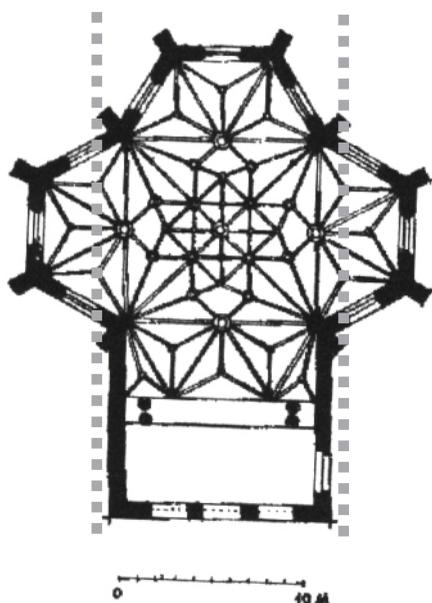
Se iniciaron las obras de construcción en el siglo XV por doña Aldanza de Guzmán, siendo continuadas a su muerte por su sobrina doña María Herrera hasta su terminación en el siglo XVI. Doña María Herrera nombra patrono de la misma a don Diego de Bracamonte, que muere, como se indica en la historia, decapitado por negarse a pagar los impuestos reales a su hijo Mosén Rubí de donde toma el nombre.

El 25 de marzo de 1983 es declarada Monumento Nacional y en 1986 fue necesario restaurar la cubierta que amenazaba ruina.

El ábside es Gótico Tardío de planta poligonal, un tanto extraña, con machones, pinjantes de los cuales arrancan las nervaduras en las esquinas adornados en su parte superior con bolas, en ellos nos encontramos diversos escudos de armas. Se abren, igualmente, en su tramo superior sendos ventanales de arco de medio punto con parteluz.

"La nave, es de estilo renacentista, así como la portada realizada con columnas corintias y arco de medio punto con sillería almohadillada y rematada en cornisa con balaustrada, atribuida según Antonio Veredas a Pedro de Tolosa y Pedro del Valle .

En el interior con planta de cruz griega, la única nave queda cubierta con bóveda semiplana separada de la capilla mayor por tres grandes arcos renacentistas apoyados sobre columnas corintias. La capilla mayor tiene bóveda nervada y su retablo barroco de tres cuerpos es del siglo XVII"²



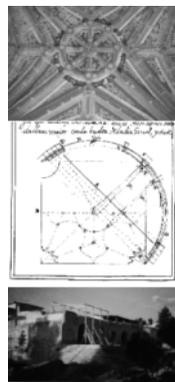
La planta de la capilla de Mosén es de en forma de cruz (ver Fig. 4.4), pero la solución del ábside y el crucero dan respuesta formalmente a nuestro caso de estudio y la solución de este tipo comenta Fernando Chueca Goitia:

"El espacio cueviforme precedido por las bóvedas estrelladas es tan frecuente en interiores cristianos que es obvio citar ejemplos. Este sentimiento cueviforme se trasladó a una escala mayor -occidental- en las cabeceras de todas las iglesias del gótico tardío español".³

Figura 4.4. Planta de la Capilla de Mosén Rubí de Bracamonte.

2.- <http://www.avilavirtual.com/iglesyconv/paginas/mosenrubi.htm>

3.- Fernando Chueca Goitia. INVARIANTES CASTIZOS DE LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA .Dossat. Madrid, 1947



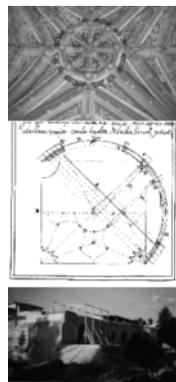
Otro ejemplo que podemos mencionar es el de la nave rasa del convento dominico de Oaxtepec (ver fig 4.5), para ser precisos el crucero y el ábside, están realizados con bóvedas de terceletes, es importante recalcar que la forma del arco triunfal y fajón es ojival al igual que en Mosén Rubí cuestión que es diferente en nuestro caso por las razones que expondremos más adelante.



Figura 4.5 Vista de la nave del templo de Oaxtepec. Se aprecia el apuntamiento de los arcos fajones.

Santo Domingo Yanhuitlán; lugar de donde partió la evangelización para Coixtlahuaca, aquí es importante ver la solución de las bóvedas nervadas del templo (ver fig. 4.6), las cuales podemos decir son el antecedente mas cercano de las de nuestro caso.

San Pedro y San Pablo Teposcolula es realmente la capilla mas bella e imponente de la Nueva España. También es la mejor resuelta funcionalmente al estar incrustado el presbiterio entre la nave transversal y permite una muy buena vista desde el exterior, la bóveda es de media naranja con nervaduras (ver fig. 4.7). Y siguiendo los datos de Magdalena Vences al seguir a Francisco Marín como Fraile arquitecto en su trabajo en la Mixteca Oaxaqueña, el pasa de Coixtlahuaca a ser el vicario de Teposcolula, de allí que sostengo junto con nuestra autora la teoría de que Coixtlahuaca es antecesora de la capilla abierta mas importante de la zona y del país.



IV.-PROYECTO DE RESTITUCIÓN

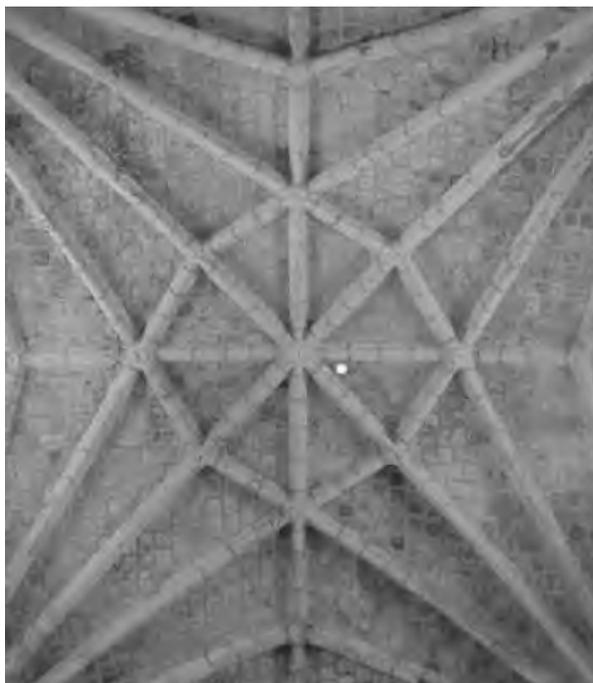
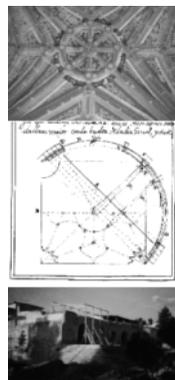


Fig. 4.6 bóveda de Yanhuitlan.

Tomando en cuenta que la solución en el templo y de la bóveda de la sacristía de Coixtlahuaca, así como templos y ex conventos cercanos, podemos decir que es la interpretación de los monjes dominicos de la arquitectura que vieron en su lugar de origen, gótico español, arquitectura renacentista y todo esto mezclado con la mano de obra de los indios, nos dan el llamado TEKITKI, que es aportación de la nueva España a la arquitectura.



Fig.4.7 bóveda de la capilla abierta de Teposcolula

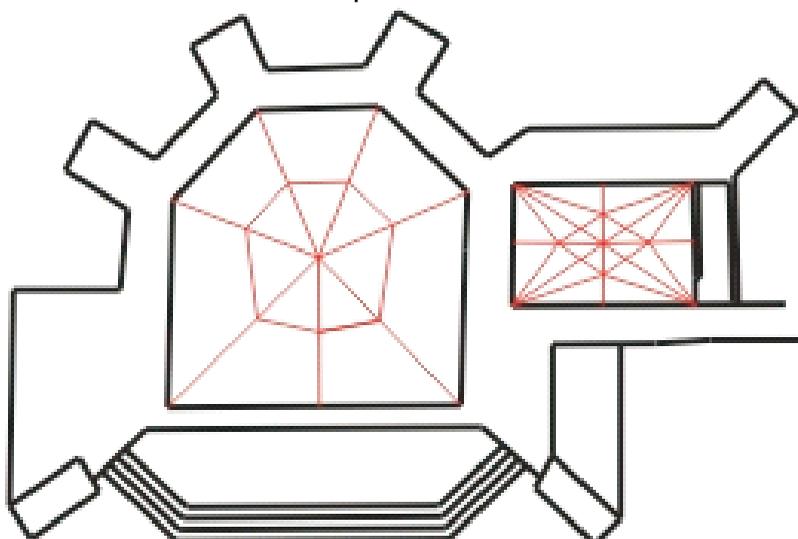


c.- Proceso de búsqueda.

Primero analizaremos en planta la posible forma de la bóveda con una sola piedra clave, partiendo del análisis de ejes que se mostró en la figura 4.1 de este capítulo, encontramos el centro para ubicar la piedra clave donde convergerán los nervios que forman la bóveda, iremos analizando las propuestas obtenidas.

Primeramente se contempló la idea de un nervio saliente de cada pinjante y convergiendo en el centro, con un anillo formado por otros nervios (*propuesta A1*).

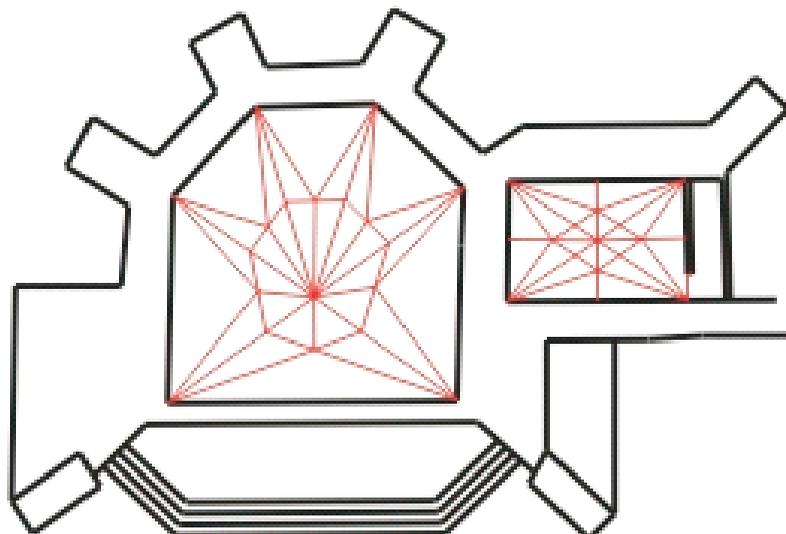
Pero considerando que los claros entre nervios son muy amplios comparado con la bóveda de la sacristía. La piedra clave en este caso recibe siete nervios.

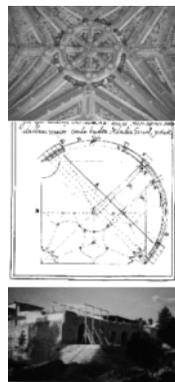


Propuesta A1

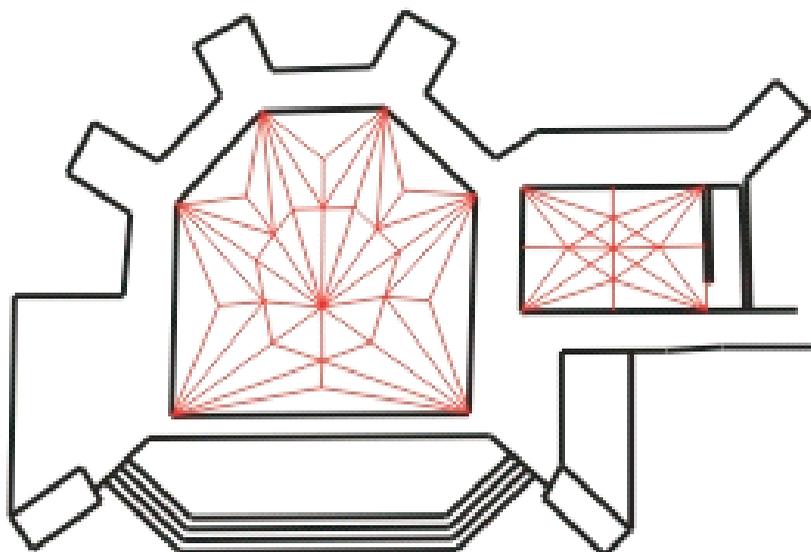
Luego si agregamos un origen en los pinjantes de tres nervios podemos ver que se forma una estrella (*ver propuesta A2*), pero aún así los plementos lucen amplios y convergen doce nervios en la clave polar .

Propuesta A2



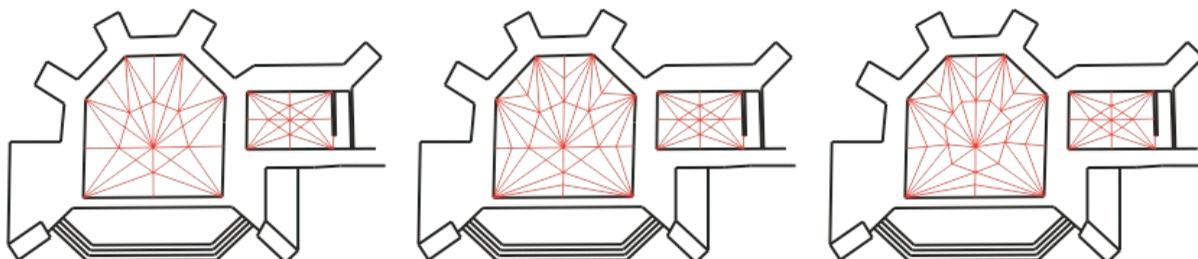


Ya en la tercer propuesta se reconoce que los plementos son más cortos. Finalmente trabajando las formas de las nervaduras al centro de la bóveda llegamos a tres propuestas muy similares a las anteriores, pero la forma de las bóvedas no son lo suficientemente convincentes como lo es la A3.



Propuesta A3

De todas las propuestas podemos decir que la propuesta tres es la mas acertada en su forma, aunque el hecho de la llegada de doce nervios a la clave parece excesivo, pero el diseño tiene un mejor diálogo con la bóveda de la sacristía.

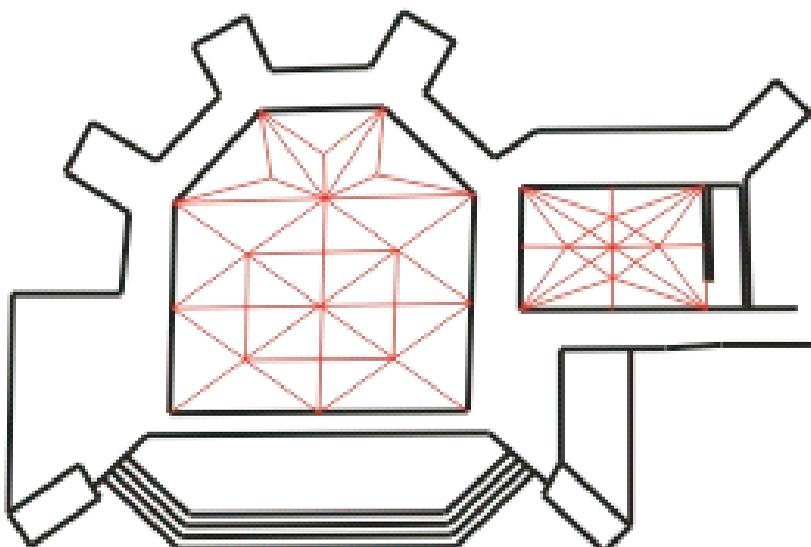
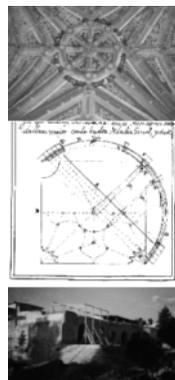


Propuestas A4, A5 y A6

Al igual que con la idea de una bóveda de una piedra clave, se realizaron propuestas con dos piedras clave que vayan acorde con la geometría de la capilla, y los resultados del análisis serían:

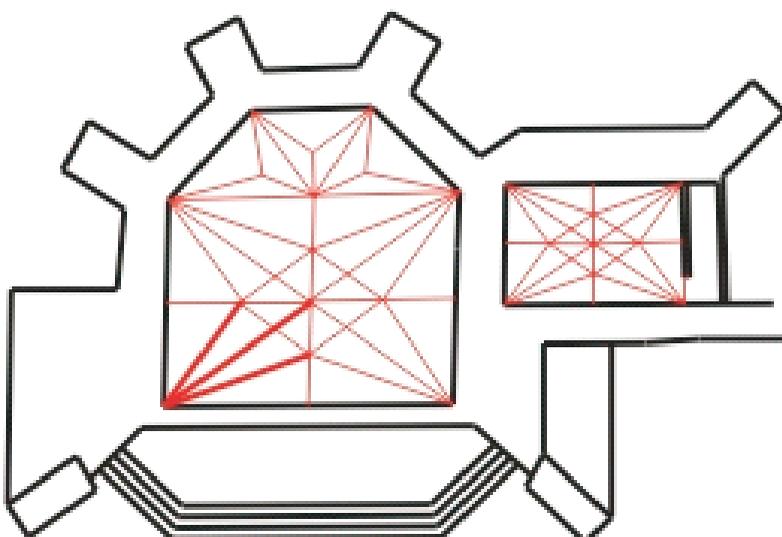
La primer propuesta se realizó siguiendo la forma del ábside, como está en el templo y se desarrolló la bóveda de planta cuadrada sacando un nervio de cada pinjante y de la mitad de cada uno de los arcos que forman los cuatro lados.

Esta propuesta se ve aceptable y aparenta mayor estabilidad, sin embargo no tiene relación con la de la sacristía en su forma (ver figura B1).



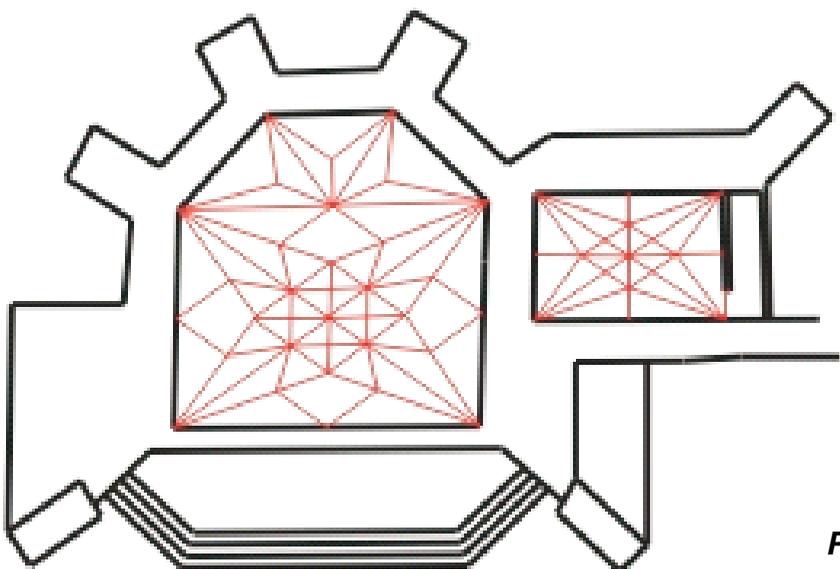
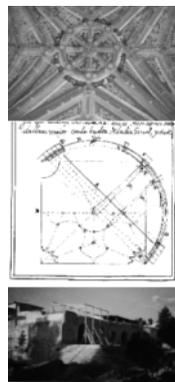
Propuesta B1

Para solucionar el problema anterior, pasamos el diseño de la bóveda de la sacristía a la capilla, en la sección de la planta que tiene forma rectangular, el resultado parece bastante acertado (*ver figura B2*), de no ser, por que en principio los claros entre los nervios son grandes (2.31 m) comparándolos con las dimensiones de la sacristía, pero ya al comparar con otras bóvedas de nuestras analogías este factor se vuelve poco importante.

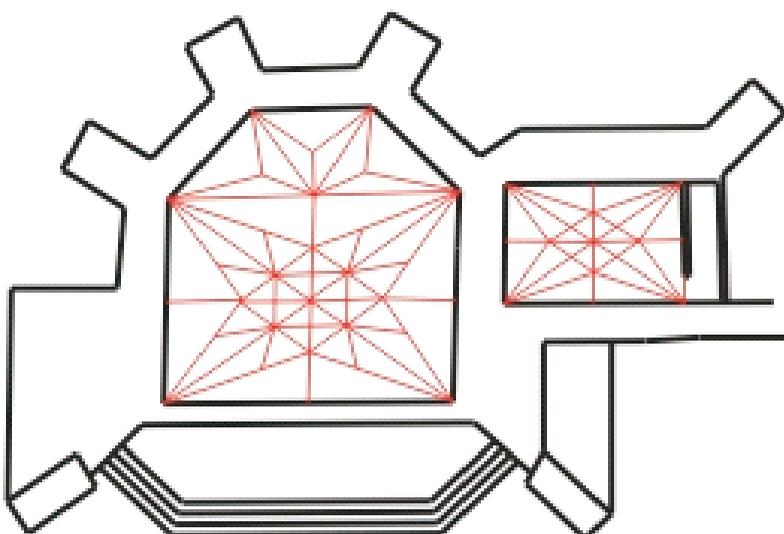


Propuesta B2

Pero al sobre poner en nuestra planta el trazo de la capilla de Mosén Rubí, vemos que se ajusta bastante bien (*propuesta B3*), la base del trazo es igual a la de la sacristía. Solo nos queda duda por el hecho de que en la sacristía y en el único arco fornero que nos queda en la clave se origina un nervio. Esto nos lleva a la propuesta cuatro (*ver figura B4*).

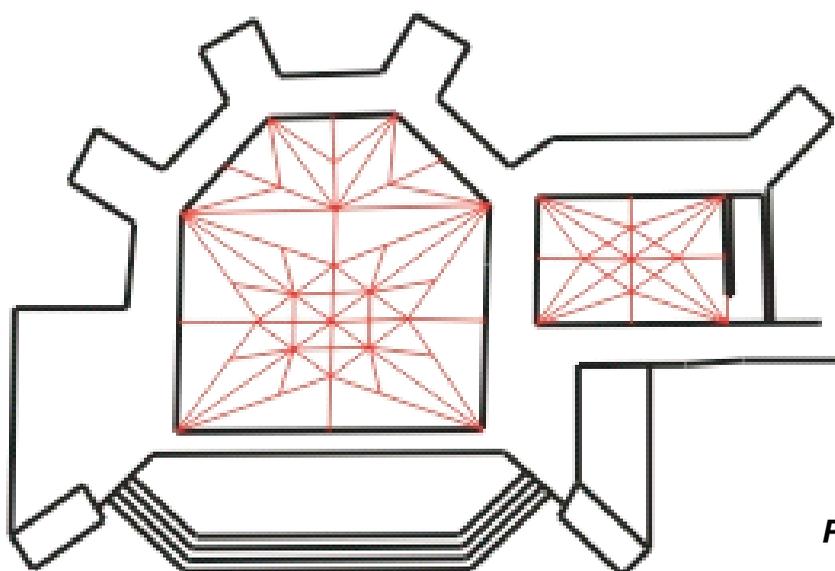
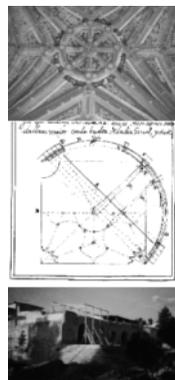


Propuesta B3



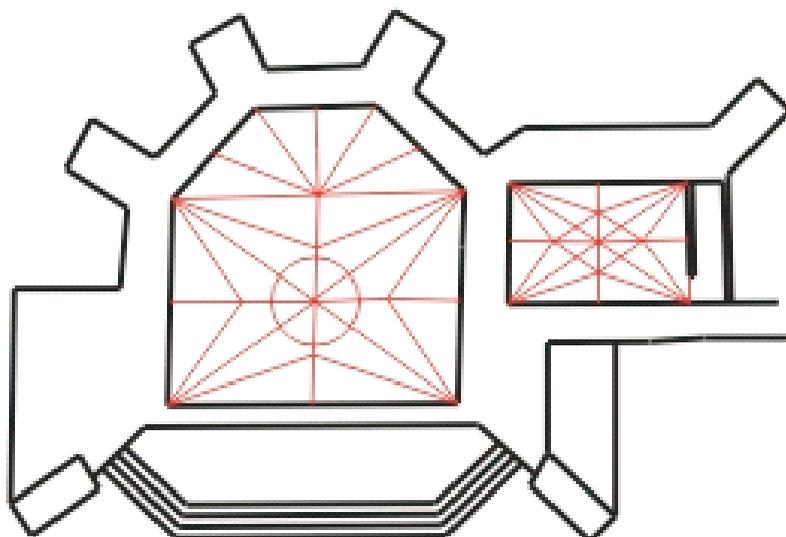
Propuesta B4

Hasta este punto de nuestras hipótesis, en el fondo del presbiterio y siguiendo nuestros arcos formeros y el fajón, tenemos propuestas las nervaduras como en muchos de los templos que mencionamos en nuestras analogías, pero esta respuesta se enfrenta nuevamente al hecho de tener un nervio originado desde la clave del arco formero, para dar solución a este problema en la propuesta B5 proponemos ese nervio faltante.



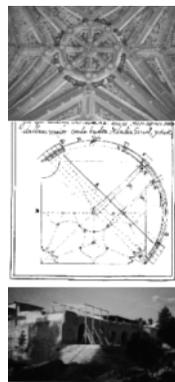
Propuesta B5

Finalmente la ultima propuesta que ponemos en esta parte de nuestra investigación, está fundamentada en las bóvedas del interior del templo. Las cuales son posteriores a la construcción de la capilla por la cronología en el proceso constructivo del conjunto conventual que hemos visto con autores como George Kubler y Magdalena Vences. Pero aclaremos que por esta razón y que al nuevamente comparar la forma de este trazo con el de la sacristía, no podemos considerarla como la más viable para nuestro objetivo.

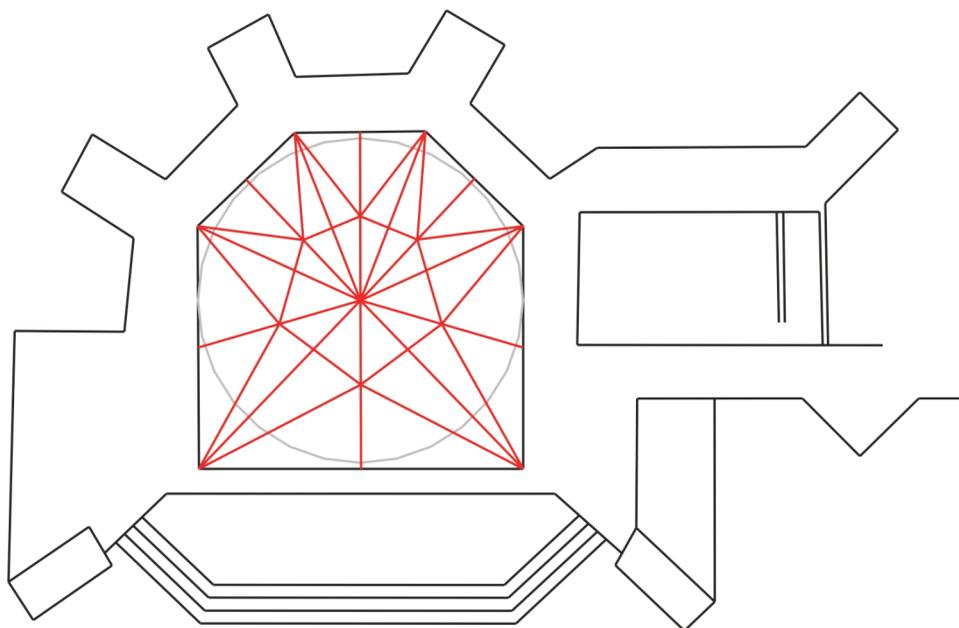


Propuesta B6

Por el análisis expuesto anteriormente es de considerar que la propuesta numero cinco resulta ser la mas acertada, tal vez parezca en primera instancia que la mejor idea seria la propuesta dos, pero hay que tomar en cuenta que la jerarquía de los espacios es diferente y el repetir el mismo diseño no parece lógico ya que el presbiterio es la parte mas importante dentro de la estructura de la capilla abierta, y en general en otros ejemplos dentro de nuestras analogías, las nervaduras son la manera de marcar esta diferencia dentro de la composición de los espacios.



De todo lo que hemos visto de la relación geométrica de los trazos, es interesante destacar, que si revisamos la solución de nuestra analogía más cercana que es la capilla de Teposcolula, podemos generar otra propuesta en planta, este diseño surge de la idea del espacio esférico que se utilizaba desde épocas romanas (caso concreto el panteón de Agripa en Roma). Esto nos servirá para otros análisis más adelante en este capítulo.

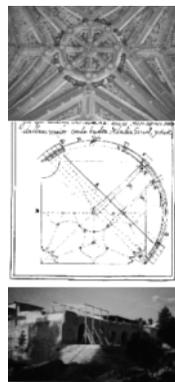


Propuesta C1

La propuesta C1, parte de tomar como polo, el centro del círculo inscrito en la estructura de la capilla, a este punto podemos hacer llegar los arcos que parten de los pinjantes, que seguiremos llamando cruceros a pesar de que realmente ya no cumplen la función real de crucero. Los rampantes saldrán de las claves de los arcos formeros para coincidir en nuestra clave polar.

Los terceletes los trazaremos a la mitad de los rampantes dado que no tenemos elementos para poder trazarlos de la manera que se hace en bóvedas con nervaduras de planta cuadrada o perlongada.

Ya teniendo definida una proyección de la bóveda en planta, necesitamos tener una aproximación de sus dimensiones, esta parte de la investigación es importante ya que la nueva tecnología y la capacidad de los especialistas dentro de nuestro país, permiten que una bóveda de estas dimensiones sea resulta de muchas maneras y platicando con el Doctor Agustín Hernández Hernández quien nos asesora en este trabajo, *“Requerimos primero definir la forma de la bóveda por sus características físicas actuales y un análisis histórico”*.



Hasta este punto ya tenemos claro que:

La capilla abierta de Coixtlahuaca está realizada a mediados del siglo XVI.

Que las características del espacio son de tipo renacentista.

Las nervaduras son un elemento constructivo que trascendió en el tiempo mas no son de construcción gótica.

Está la estructura basada en arcos formeros y fajones, con pinjantes de los cuales nacen las nervaduras.

En planta la opción mas convincente es la de dos bóvedas compuestas formando el presbiterio, de manera que una es nervada de planta rectangular y otra un ábside.

Estas bóvedas se unen por un arco fajón.

d.- Aplicación de reglas de la época.

Ahora necesitamos definir algunas alturas como las de los arcos de crucero, pero esto será con procedimientos del siglo XVI o cercanos en tiempo, para que después al someter este trabajo al análisis del especialista con cálculos, podamos llegar a la propuesta final de nuestro trabajo.

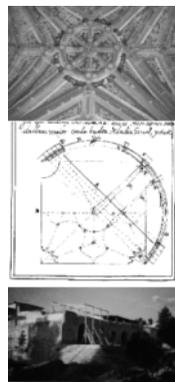
Primero mencionaremos que las reglas de diseño y dimensionamiento de tipo empírico son un valioso documento al que podemos recurrir para conocer los métodos antiguos de diseño. Estas reglas sirven básicamente para dimensionar estribos, arcos y contrafuertes. Utilizaremos algunas construcciones gráficas para poder obtener las dimensiones que buscamos.

“Las bases de las reglas no las conocemos con precisión aunque la mayor parte de los investigadores en este tema, se inclinan por una combinación de sencillos métodos gráficos progresivamente refinados con las enseñanzas de las obras construidas. Esto quiere decir que se combina un método de tipo geométrico derivado de la geometría de la estructura gótica con un método de aprendizaje de tipo empírico. Tanto uno como otro indican que la validez de estas reglas se encuadra en el campo de validez del principio de escala. Es decir tanto las reglas geométricas como las racionales tienen un fundamento cierto en cuanto sea válido que el aumento de escala de una estructura no modifique de modo apreciable su seguridad.”⁴

Miguel Ángel Cobreros a quien citamos anteriormente hace un estudio llamado “Elementos estructurales en la obra de fábrica”, y este estudio nos permite entender algunos principios que aplicaremos a continuación.⁵

4.- http://www.us.es/gta114/ma_cobreros/cap05.htm

5.- http://www.us.es/gta114/ma_cobreros/cap05.htm



La duda que surgió primeramente, es la altura al centro de la bóveda, para esto pues no contamos ya con los restos de la misma, mas sin embargo al ver la regla de Gines Martínez de Aranda⁶ en el siglo XVI podemos encontrar la altura del intradós de nuestra bóveda.

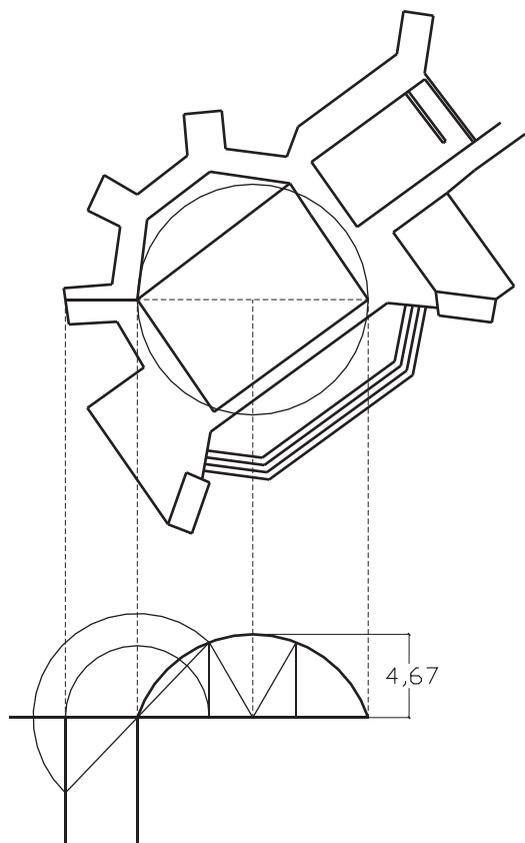


Figura 4.8 Trazo para encontrar la altura de la bóveda.

La regla nos dice que: al dividir en tres el arco del intradós y proyectar estos puntos en la flecha del mismo nos dará el punto del cual partirá un trazo de compás este con centro en el arranque de el arco y a los 180° encontraremos el espesor del estribo.

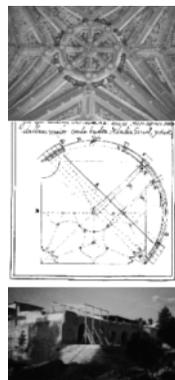
Ahora para nuestro caso lo realizaremos a la inversa para encontrar el tercio del intradós. Tomaremos la medida del estribo la llevaremos en 180° al interior de nuestra bóveda y de allí buscaremos el trazo del intradós el cual corroboraremos con la regla de Blondel⁷ que es del siglo XVII que es equivalente con la antes mencionada y que al trazar una línea desde el tercio del intradós pasando por el origen y terminando con la línea final del estribo, nos debe de formar un arco de medio punto con centro en el origen del intradós, es decir que la distancia del punto establecido en el estribo al arranque de la bóveda, será la misma al tercio de la bóveda. (fig. 4.8)

Ya aplicando lo anterior en nuestro caso partiremos de nuestra planta donde tenemos la dimensión de el estribo y el claro a cubrir, como se aprecia en la ilustración 4.8, el arco de cruceo lo calcularemos con el estribo nororiental, la altura que obtuvimos al centro de la bóveda es de 4.67 m con este método.

Ahora si nuestro claro Máximo es de 12.93 m y lo dividimos entre el promedio de espesor de muros que es de 1.59 m, nos dará una proporción de 1/8.13 en muros, en los estribos el promedio es de 3.53 m, la proporción será de 1/3.66. Comparándolo con reglas de la época veremos que:

6.- Martínez De Aranda, Gines. CERRAMIENTOS Y TRAZOS DE MONTEA. Comision de estudios historicos de obras publicas y urbanismo, Madrid 1986.

7.- http://www.us.es/gta114/ma_cobrerros/cap05.htm



Autor	Muro	Estribo	Nuestro muro	Nuestro estribo
Palladio		1/3	1/ 8.13	1/ 3.66
Ungewitter Gótico tardío		1/ 4.14	1/ 8.13	1/ 3.66
Fray Lorenzo de Nicolas	1/6	1/3	1/ 8.13	1/ 3.66
Lechler	1/10	1/5	1/ 8.13	1/ 3.66

En esta tabla observamos que el promedio del espesor de nuestros contrafuertes esta cercano a varias de las reglas de arquitectos de la época, no así coincidiendo en los muros, aunque para muros de naves adinteladas Alberti dice que debe de ser de 1/ 10 y Fray Lorenzo de Nicolas de 1/ 7.

Ahora para los arcos de crucero como para los arcos formeros y fajón seguiremos la solución de Don Rodrigo Gil de Hontañón para una cúpula vaída con nervaduras.

Arco perpiaño	L/ 20
Arco de crucero	L/ 24
Arco formero	L/ 30
Terceletes	L/ 28

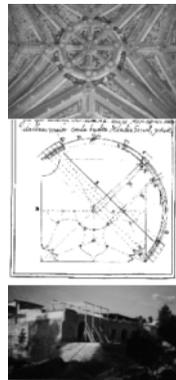
*“El espesor del arco o bóveda suele estar valorado en el décimo de la luz, lo que resulta excesivo estando además los ejemplos construidos con espesores muy por debajo de este valor, Frezier y Belidor en el siglo XVIII dan el valor de la luz dividido por veinticuatro para el espesor del arco; la formulación de Sejourne da valores mas ajustados en torno al veinteavo de la luz”.*⁸

Hasta aquí contamos con dimensiones de la altura máxima de la bóveda al intradós y el peralte de las nervaduras, ahora siguiendo la formula de Sejourne, buscaremos el peralte de la bóveda en la clave, también el espesor de los apoyos. Esta formula es muy posterior a la época, pero nos servirá guiarnos con un sistema numérico para compararlo con sistemas gráficos como son la mayoría de los del siglo XVI.

Dada la forma de la bóveda, volveremos a tomar como referencia para nuestro cálculo el arco formado en el sentido nororiente sur oriente de la nervadura de crucero. De aquí tomaremos las siguientes dimensiones:

F=	Flecha o peralte al intradós	= 4.67
L=	Luz o claro del arco	=12.93
Ec=	Espesor de la bóveda en la clave	
Ea=	Espesor del apoyo	
a=	Factor para edificaciones	=0.1
	Factor para puentes	=0.25

8.- http://www.us.es/gta114/ma_cobrereros/cap05.htm



Fórmulas:

Para arcos de medio punto:

$$E_c = a(1+L)$$

Pero para nuestro caso que es un arco rebajado utilizaremos:

$$E_c = a b (1+L) \quad \text{Donde : } b = \frac{3}{4} (1 + \frac{F}{L} + (\frac{F}{L})^2)$$

Desarrollando:

$$b = \frac{3}{4} (1 + \frac{4.67}{12.93} + (\frac{4.67}{12.93})^2)$$

$$b = 0.75 (1 + 0.36 + (0.36)^2)$$

$$b = 0.75 (1 + 0.36 + 0.13)$$

$$b = 0.75 (1.49)$$

$$b = 1.11$$

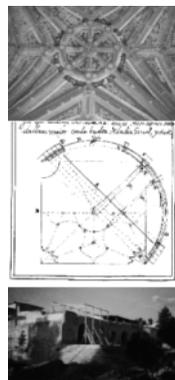
$$E_c = 0.1 \times 1.11 (1+12.93)$$

$$E_c = (0.1) (1.11) (13.93)$$

$$E_c = 1.54$$

Observemos que el espesor de la clave según Sejourne es de 1.54 m y que siguiendo la fórmula de un décimo del claro tendremos 1.29 m, esta diferencia de veinticinco centímetros entre una y otra será importante para nuestra solución mas adelante, ya que nos ayudara a que sea un poco mas ligera nuestra bóveda y visualmente no afecta en nada.

Ahora calcularemos el espesor del apoyo de acuerdo con Sejourne, para comparar con los espesores de nuestros muros.



K= el factor K esta dado en relación al claro y la flecha:

$$F/L = 0.5 \quad k = 1.8$$

$$F/L = 0.25 \quad k = 1.6$$

$$4.67 / 12.93 = 0.37$$

$$F/L = 0.36 \quad K = 1.74$$

Ea= espesor del apoyo

$$Ea = k(Ec)$$

$$Ea = 1.74 \times 1.56$$

$$Ea = 2.71 \text{ m}$$

Si consideramos la media de nuestros muros que es de 1.59 m, es de considerar que los apoyos están escasos según Sejourne. Comparemos en una tabla de acuerdo con nuestro edificio lo que tenemos y lo que debería medir el apoyo según los tratadistas.

	Coixtlahuaca	Sejourne	Alberti	Fray Lorenzo
proporción	1/ 8.13	1/ 4.77	1/10	1/7
medida	1.53 m	2.71 m	1.29 m	1.84 m

Apreciemos en la figura 4.9 los trazos de acuerdo con nuestras suposiciones:

Primero en la nombrada Coixtlahuaca se muestra el esquema realizado con el espesor promedio de los muros de la capilla abierta y el espesor de la bóveda de 1/10 de acuerdo a las reglas de la época.

Después de acuerdo con los resultados de la fórmula de Sejourne, apreciamos que deberíamos tener una bóveda con apoyos mas robustos al igual que en la clave.

Según las reglas de León Batista Alberti la bóveda debería ser mas delgada, aunque en estas no se especifica el tipo de arco, por lo cual tal vez nuestro tratadista se refería a arcos de medio punto, y claro que por la esbeltez a simple vista uno siente que faltan los estribos.

La propuesta según las reglas de Fray Lorenzo de Nicolás, muestran una mayor dimensión en los apoyos.

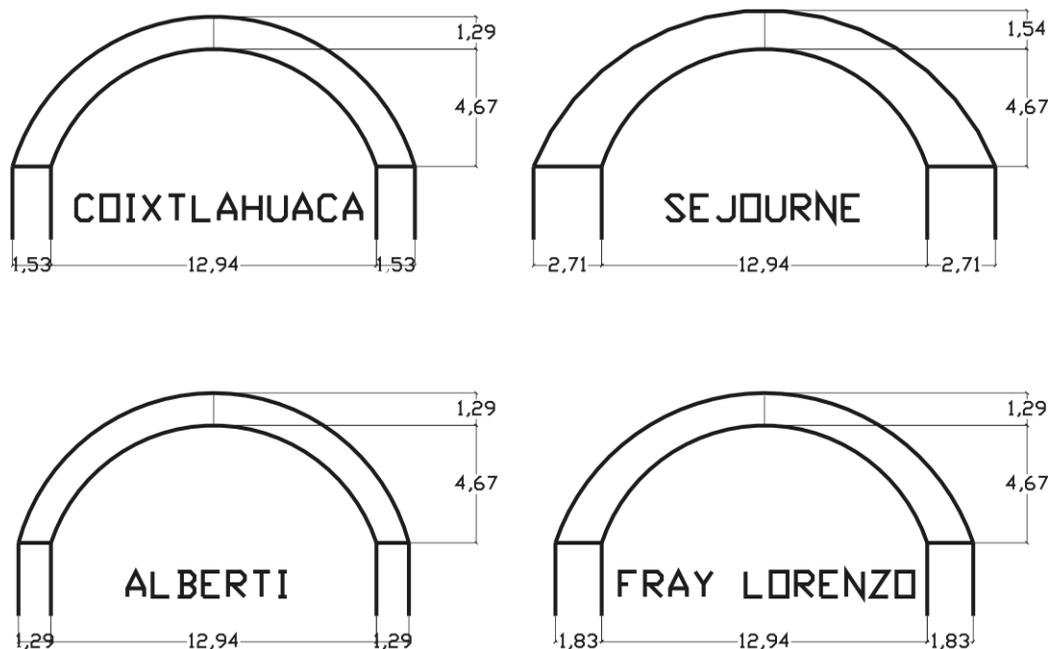
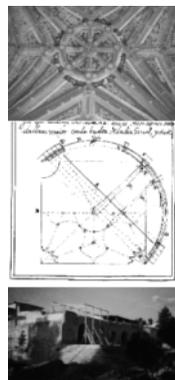


Figura 4.9

En resumen de este análisis podemos ver que es muy posible que la proporción de los muros de nuestra capilla sea menor de lo que debería, tomando en consideración que el trazo de la bóveda es con un arco rebajado. El resultado con la fórmula de Sejourne nos resulta muy masiva y al seguir el tratado de Alberti resulta muy esbelta la propuesta, por lo tanto con las reglas de Fray Lorenzo de Nicolás parece encontramos una solución mas aceptable y cercana a nuestro caso.

Respecto al trazo de los terceletes, seguiremos a Javier Gómez Martínez⁹ que analiza trazos como el de Alonzo de Guardia, quien fue alumno de Rodrigo Gil de Hontañón, Tomas Vicente Tosca y Juan de Portor y Castro; en donde a partir de la planta de la bóveda trazan en los costados arcos que parten de la clave polar y al centro de estos se traza a la esquina contraria el tercelete. (fig. 4.10)

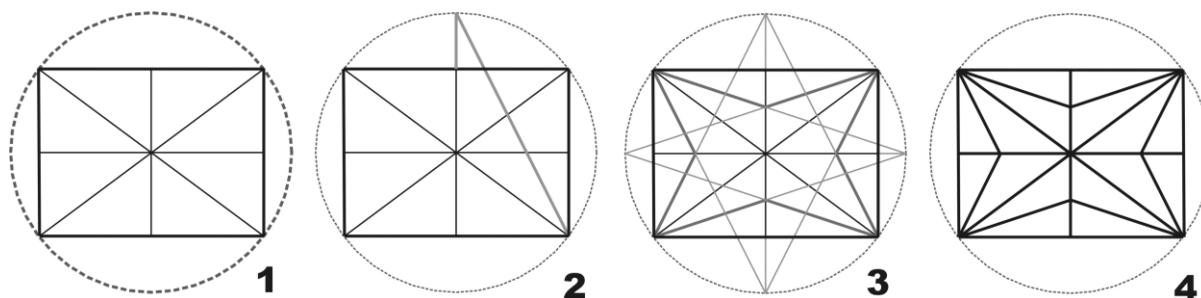
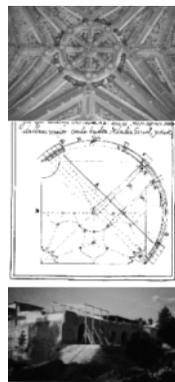


Figura 4.10. Trazo de los terceletes en una sección perlongada

9.- Javier Gómez Martínez. EL GÓTICO ESPAÑOL DE LA EDAD MODERNA, BÓVEDAS DE CRUCERIA. Universidad de Valladolid. 1998.



También dentro de estas reglas empíricas encontramos una posible solución a la piedra clave que menciona Simón García en su compendio y que es atribuida a Rodrigo Gil de Hontañón. Con un método matemático sencillo nos explica como calcular una clave con el ejemplo que ponemos a continuación:

*“Pues queremos saber vna capilla que tiene de lado 20 pies, tiene crucero de 28 pies y de circunferencia 44. Y otros 44 del otro arco crucero son 88 pies. Resta de lo que es sustentado como el rampante, y hallo en sus 4 medios 12 pies, quitados de 88 quedan 76 de esto se saca raíz cuadrada. Y bienen a la raíz 8 pies y 12/17 abos. Si pesare quintal el pie de cruçero, la clave maior pese 8 quintales y 12/17 abos de quintal”.*¹⁰

Analizando el ejercicio descrito, nos dice el autor que debemos sustraer lo que es sustentado, como es el caso de los rampantes, sin embargo nos menciona que de los cuatro nervios suma 12 pies, cuestión que no alcanzamos a entender dado que la dimensión mínima de un rampante del ejercicio descrito es de 10 pies, es decir un rampante llano directo de la clave al arco formero, de los cuatro nervios serian 40 pies.

En este punto dado que la substracción de los rampantes no está clara, proseguiremos el ejercicio en nuestra bóveda sin la substracción de estos nervios rampantes, como si se tratara de una bóveda con solo dos arcos que cruzan. Así en nuestro caso tenemos:

Circunferencia del arco de crucero	=17.0491 mts.
Suma de la circunferencia de los dos arcos de crucero	=34.0982 mts.
Convertido a pies (0.2786 mts.)	=122.3912 pies.
Raíz cuadrada de la suma de los cruceros	=11.0630

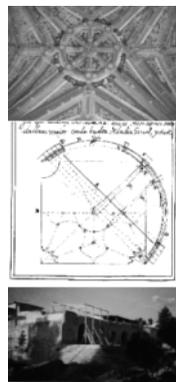
Entonces el peso aproximado de nuestra clave debe de ser de 11.0630 quintales, que al ser multiplicado por 46.009 kg que es el valor de un quintal nos da un peso de 509.00 kg en la clave, esto es convertido a metros cúbicos de cantera, la cual pesa 2,200 kg por m³ esto nos da un total de 0.2314 m³ de material.

No debemos de olvidar que la clave debe ir barrenada en su interior como lo menciona Simón García¹¹ y nos lo ejemplifica Javier Gómez¹² en su libro de bóvedas de crucería de la edad moderna, con la finalidad de poder tener un registro para colgar lámparas y otras cosas incluidos andamios para el mantenimiento de las mismas bóvedas.

10.- García, Simón. COMPENDIO DE ARQUITECTURA Y SIMETRIA DE LOS TEMPLOS. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid. Valladolid, España 1991.

11.- García, Simón. COMPENDIO DE ARQUITECTURA Y SIMETRIA DE LOS TEMPLOS. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid. Valladolid, España 1991.

12.- Javier Gómez Martínez. EL GÓTICO ESPAÑOL DE LA EDAD MODERNA, BÓVEDAS DE CRUCERIA. Universidad de Valladolid. 1998.



Todo lo anterior en cuanto a la bóveda, ahora pasaremos a la fachada ya que como mencionamos en la descripción de la capilla abierta, la altura actual de la fachada no es la original como se ve en la fotografía tomada por Manuel Toussaint y tomando comparativo con la capilla abierta de Teposcolula, se aprecia que hay un faltante. También McAndrew realiza una reconstrucción en su libro y lo presentamos en la figura 4.11.

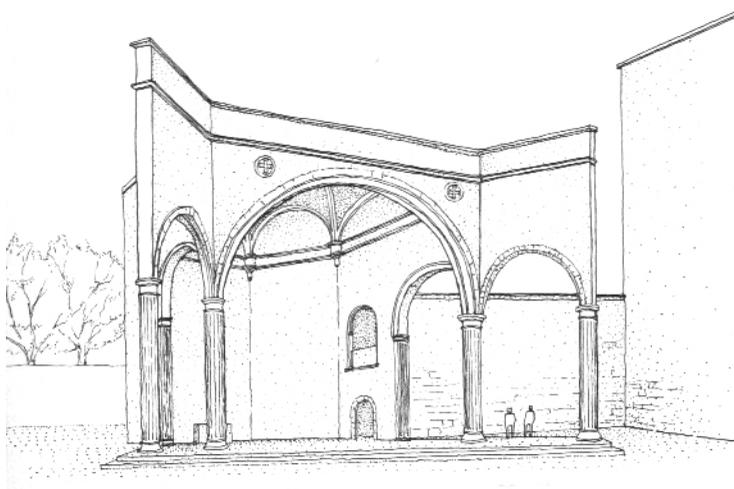


Figura 4.11. Reconstrucción hipotética de McAndrew

Pero de esta reconstrucción que hace nuestro autor, da constancia de unas alturas y diferimos en ellas al igual que la manera en que da solución a los arcos botareles ya que los ejemplos encontrados en México, como Cuernavaca y Teposcolula no son por nada similares, sin contar con lo esbelto de las columnas para recibir la carga.

Para encontrar una respuesta mas adecuada a la fachada, primeramente se recurrió a la apreciación del espacio renacentista, el cual es esférico recordando el estudio realizado en algunas obras clásicas como lo es el panteón de agripa, donde se inscribe una esfera virtual dentro del edificio. Así primeramente sobre la planta sobreponemos un circulo que representa la esfera en el espacio de el presbiterio y por pocos centímetros realmente queda inscrita dentro de la planta (fig. 4.12).

Posteriormente este trazo se lleva al alzado, donde busca referencia alguna, la esfera al estar colocada sobre la altura del presbiterio no da referencia con algún elemento tanto en fachada como en el interior con la altura estimada para nuestra bóveda, posteriormente se baja a la altura de la línea de tierra, luego se duplico y elevó el centro de la esfera a la altura máxima de la esfera anterior así obteniendo una proporción de 1/1.5. (ver fig. 4.13)

13.- John McAndrew. THE OPENAIR CHURCHES OF SIXTEEN CENTURY MÉXICO. Harvard university press. 1965.

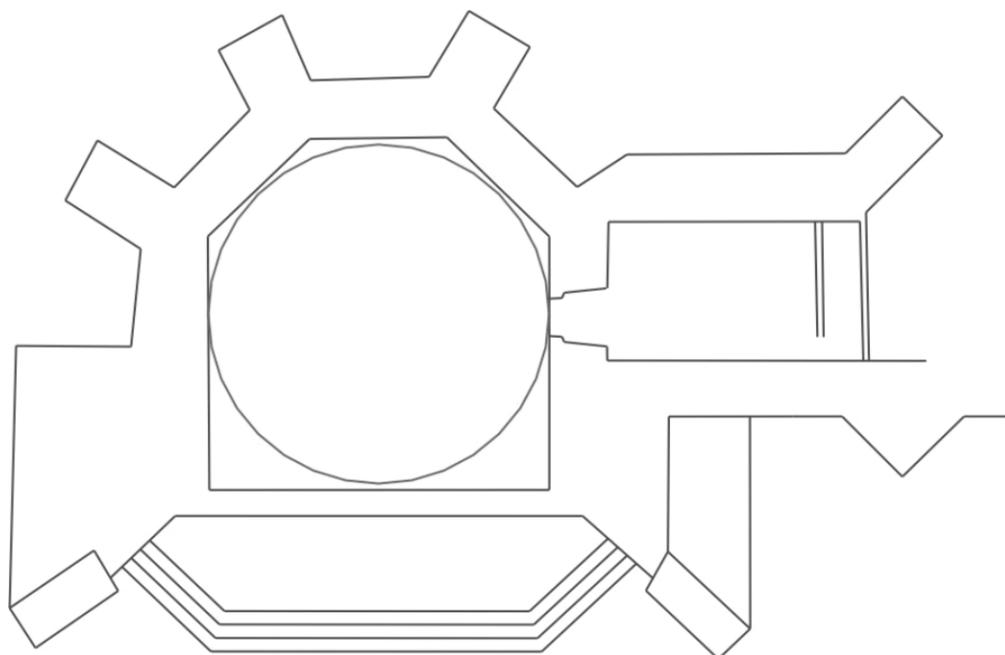
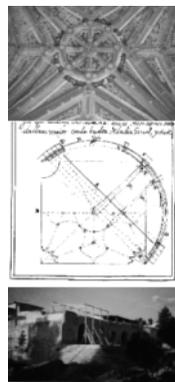


Figura 4.12 esfera inscrita en la planta

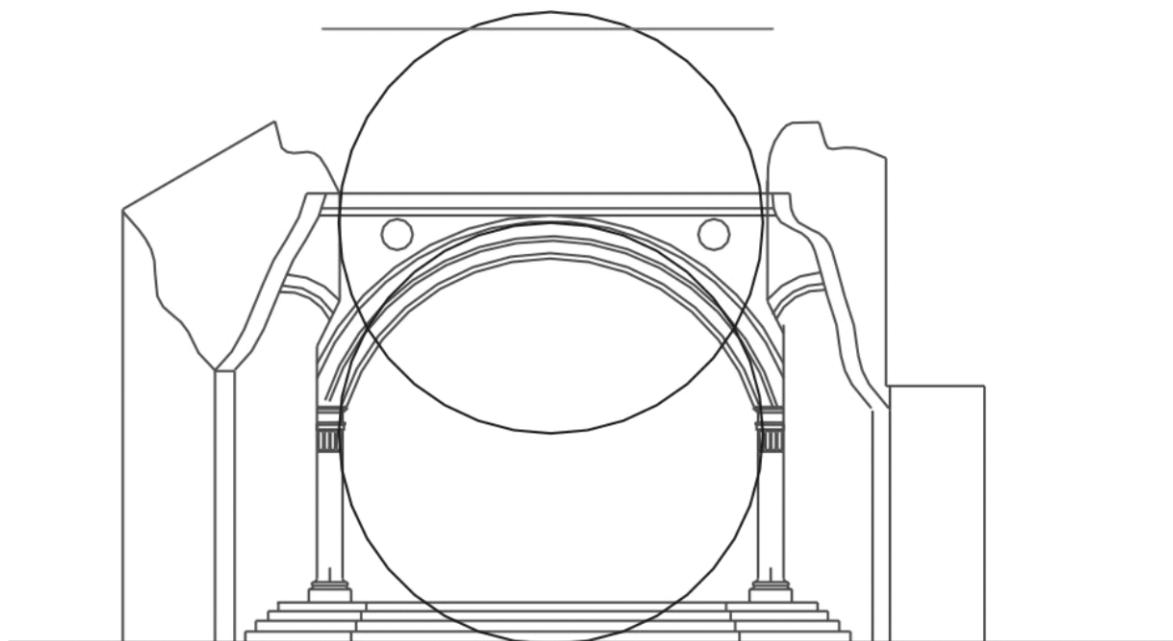
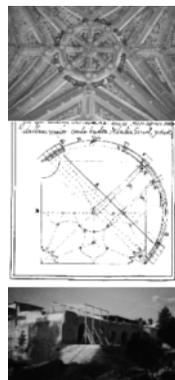


figura 4.13 esferas proyectadas en la fachada, la línea roja representa la altura propuesta de la bóveda de acuerdo con el estudio mostrado en este capítulo.

Al hacer esto apreciamos que el primer círculo marca cercano la altura del extradós del arco triunfal y el segundo queda muy cercano a la flecha que predimensionamos en la bóveda, a partir de esto encontramos que:



IV.-PROYECTO DE RESTITUCIÓN

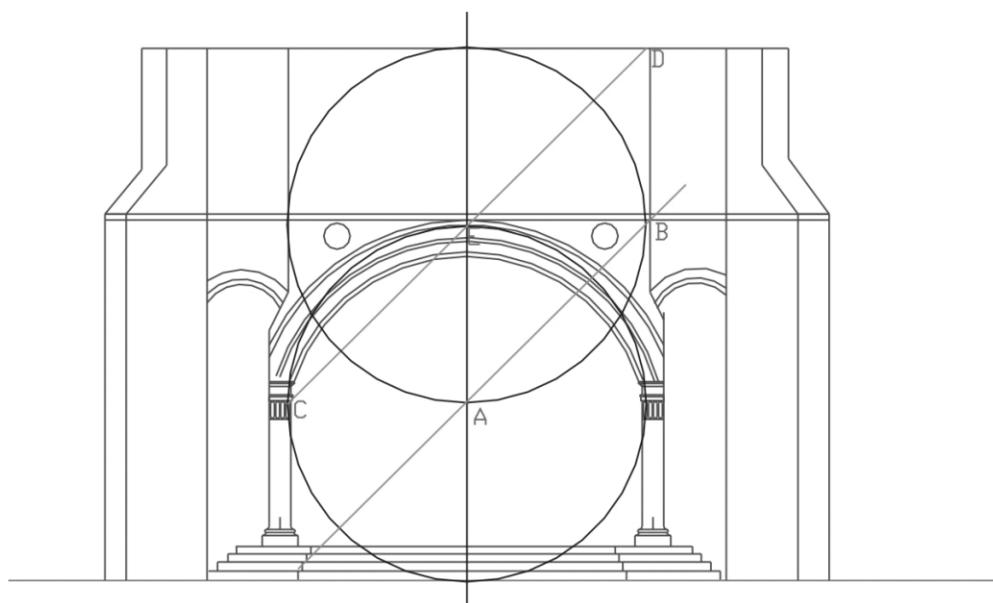


figura 4.14

Partiendo del centro **A** pasamos una línea diagonal y esta nos coincide con la cornisa en donde empieza el arco botarel **B**, al pasar otra diagonal en **E**, que es el centro del segundo círculo nos coinciden; **C** que es la base del capitel con **D** que es la altura que suponemos de la fachada, luego partiendo de la basa de la columna **F** como centro y su simétrico en la fachada **G** como radio, obtendremos **H** que es la altura de la cornisa. Igualmente tomamos como radio el punto **I** y el **J** al inicio de los fustes de las columnas, al cruzar con el eje central de la composición nuevamente nos da el alto de la cornisa, ahora partiendo de los finales de los capiteles que sería la línea **L, M** que es el radio que genera el punto **N** que es la altura del edificio.

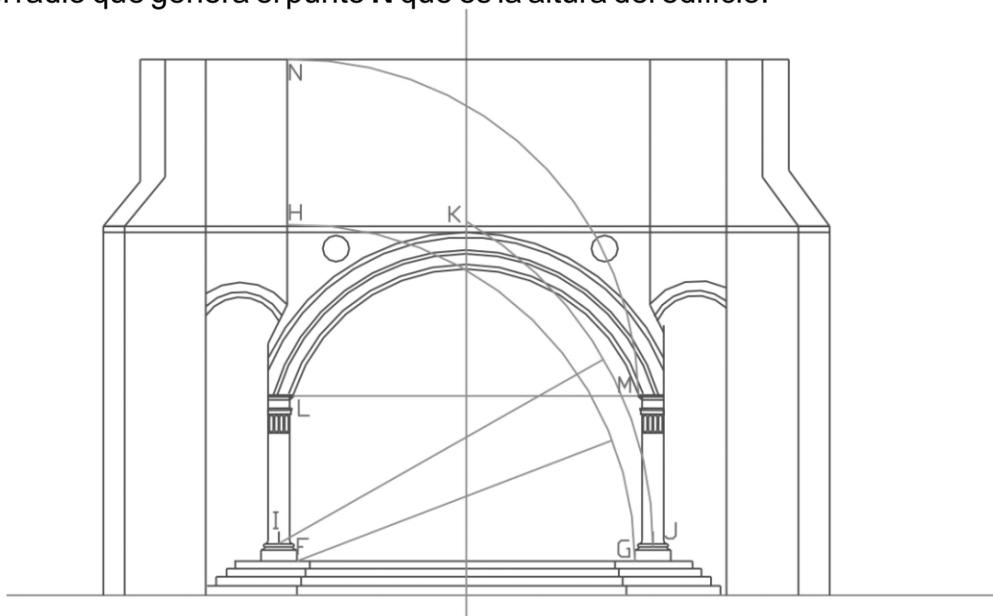


figura 4.15

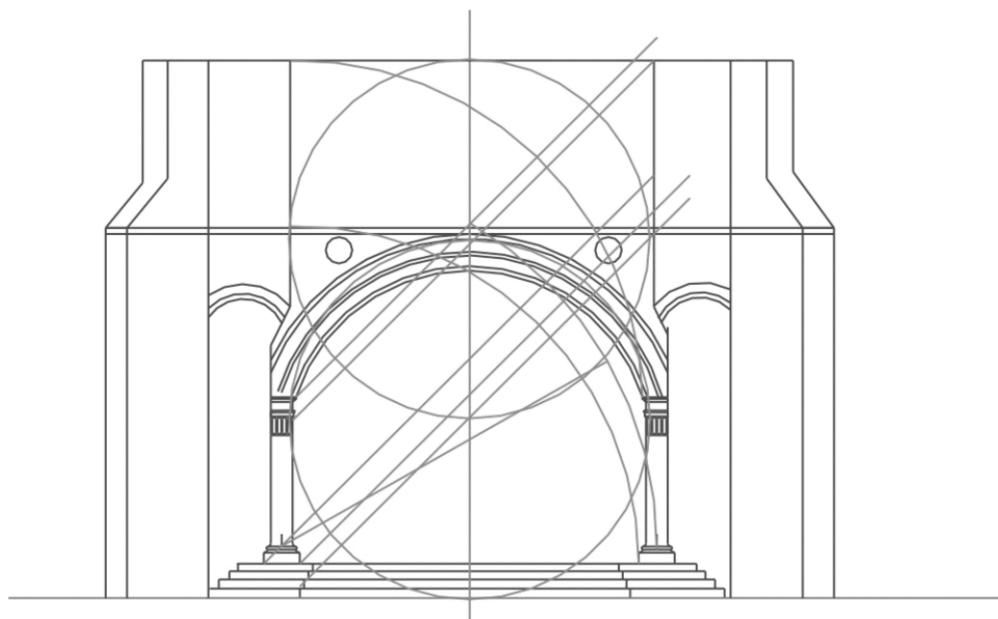
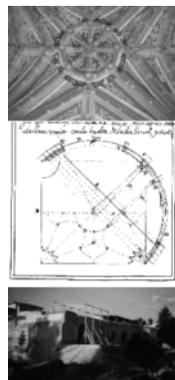


figura 4.16

En esta última figura están todos los trazos analizados donde encontramos aun más coincidencias.

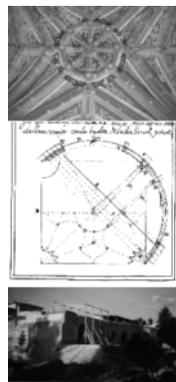
Antes de proseguir hablemos un poco sobre trazos armónicos. Ya mencionamos que los análisis presentados previamente en esta investigación sobre las dimensiones y trazo de la capilla abierta, están fundamentados en escritos y tratados de arquitectura, principalmente del siglo XVI. Pero hay que recordar que estos tratados y muchos de los conocimientos utilizados durante el periodo de nuestro objeto de estudio, responden a estudios que datan de muchos siglos antes del Renacimiento y que fueron retomados y aplicados por grandes artistas y pensadores como Leonardo Da Vinci y León Batista Albertti.

Desde la antigüedad los hombres han buscado la explicación al mundo que le rodea. En Grecia, los sistemas matemáticos de proporcionalidad surgidos del concepto de Pitágoras que dice: "todo es número" y la creencia de que ciertas relaciones numéricas reflejan la estructura armónica del universo.

Una de estas relaciones, en vigencia desde la antigüedad hasta nuestros días es la proporción conocida como sección áurea. Los griegos descubrieron su importante cometido en la proporción del cuerpo humano y al pensar que el hombre y los templos debían pertenecer a un orden universal.

Ya en tiempos del imperio romano Vitruvio definió así esta proporción: "*Para que un espacio dividido en partes desiguales resulte estético y agradable debe haber entre la parte más pequeña y la mayor la misma relación que entre esta parte mayor y el todo*".¹⁴

14.- <http://www.cnice.mecd.es/eos/MaterialesEducativos/bachillerato/arte/arte/pintura/aurea2.htm>



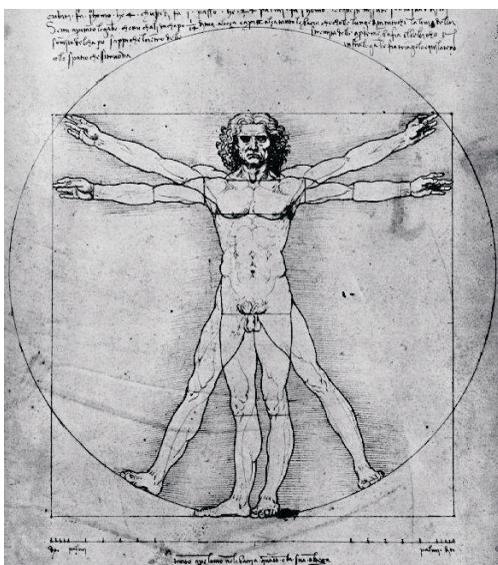
En 1497, el fraile italiano Lucca Pacioli escribió el libro *De divina Proportione*, y su tema central es lo que los escolares de nuestros días conocen como "regla de tres". Pacioli se inspiraba en las ideas de Piero della Francesca, un hombre que hoy conocemos a través de su obra pictórica, pero que en su tiempo era más conocido por ser el autor de *De Abaco*, un manual de matemática para comerciantes.¹⁵

Tal vez la más común de las reglas pitagóricas aplicadas durante el Renacimiento fue la que se expresa: 6 8 9 12 o lo que sería $6:8 = 9:12$, una regla de tres como la que actualmente se enseña en las escuelas a los niños.

Pero la aplicación de éste conocimiento fue utilizada dentro de los análisis de la música y Andrea Palladio aseguró que los espacios pueden ser compuestos musicalmente.

Cuando Lucca Pacioli escribió *La Divina Proporción*, lo que hizo fue tomar otro tipo de regla de tres, que, partiendo de una unidad arbitraria permitía la construcción de proporcionalidades tanto de múltiplos como de submúltiplos (intervalos mayores y menores). Su expresión matemática es: $a:b=b:a+b$

Pacioli decidió que esta relación era una expresión de armonía divina. Este cura había educado a muchos hijos de ricos comerciantes, y sus libros sobre aritmética, regla de tres y geometría fueron exitosos textos de estudio durante muchas décadas.

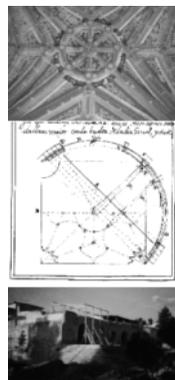


El dibujo titulado *Las proporciones del hombre*, procede de un cuaderno de apuntes de Leonardo da Vinci. Basado en las teorías del arquitecto romano Vitrubio sobre la aplicación de la sección áurea y ser humano: "La proporción entre la distancia desde la cabeza hasta el ombligo y desde éste hasta los pies, debe ser la misma que la proporción entre la distancia desde el ombligo hasta los pies y desde la cabeza hasta los pies".¹⁶

figura 4.17. *Las proporciones del hombre*. Leonardo Da Vinci.

15.- <http://members.fortunecity.com/teoria1/AUREA.htm>

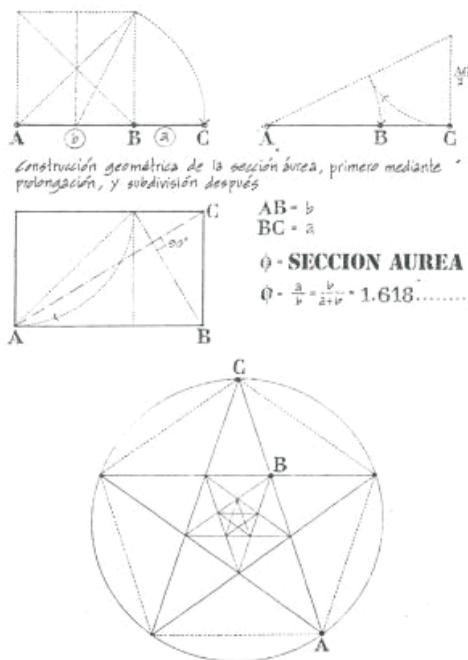
16.- <http://www.cnice.mecd.es/eos/MaterialesEducativos/bachillerato/arte/arte/pintura/aurea2.htm>



El hecho de que este sistema de relaciones armónicas, también conocido como la proporción divina, pudiera trasladarse a la figura humana, tuvo una gran importancia durante el renacimiento.

Su difusión contemporánea se debe en gran medida a su adopción axiomática por parte de Le Corbusier, a través de su método científico de componer el modulator.

En su libro *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes*, Matila C. Ghyka¹⁷ asume a la belleza como expresión de aptitud y la atribuye por tanto, a las formas útiles en general. En este sentido, la ley de selección natural que determina a la evolución de las especies, hace de las formas naturales, formas bellas por excelencia. Según nuestro autor el sentimiento de la belleza tiene lugar en el hombre cuando sus ideas sobre la razón de la existencia de los objetos naturales encuentran correspondencia en la forma de éstos, lo cual produce ciertas sensaciones lógicas o afectivas.



Se dice que las pinturas de Salvador Dalí están potenciadas matemáticamente, calculando la armonía de las referencias por un estudio de Matila C. Ghyka.¹⁸ El estudio de las proporciones armónicas va desde los objetos artísticos más variados: pinturas, esculturas, cerámica, pasando por la arquitectura. Pero el origen está en las proporciones que tiene la naturaleza, así mencionaremos al arquitecto György Doczi¹⁹, que en su libro *El poder de los límites*, analiza las relaciones y proporciones tanto de objetos naturales como plantas y animales, objetos artísticos de escala colectiva y personal y las relaciones del cuerpo humano.

figura 4.18 Construcción geométrica de la Sección Aurea.

Finalmente, después de ver la importancia de estas proporciones, realizamos trazos en nuestro edificio basados en rectángulos aureos y en el pentágono y pentágono, que son base de la teoría de los triángulos de Pitágoras y la cual retomó Leonardo Da Vinci, junto con los diez libros de la arquitectura de Vitruvio Polión para realizar *Las proporciones del hombre*. Después de este ejercicio encontramos varias coincidencias, más no podemos considerar definitivo algún trazo de los que exponemos a continuación.

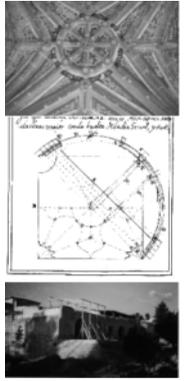
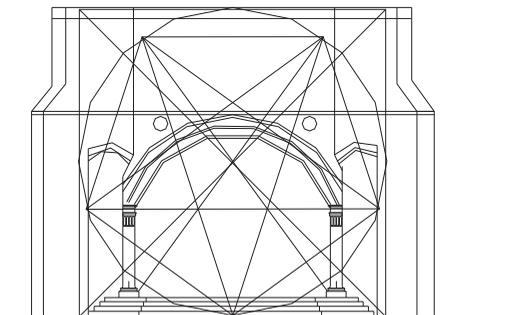
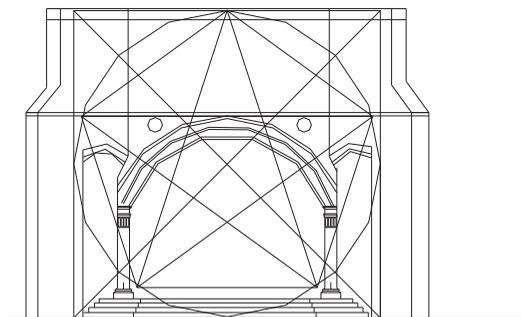
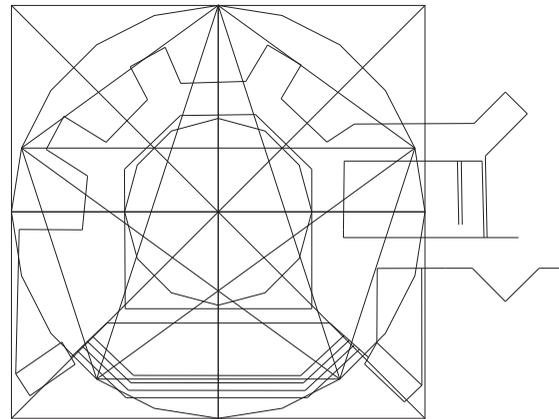
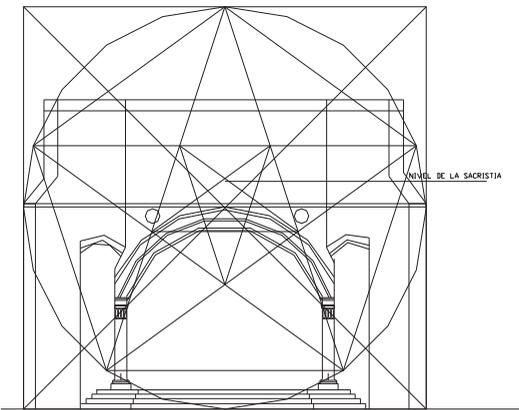
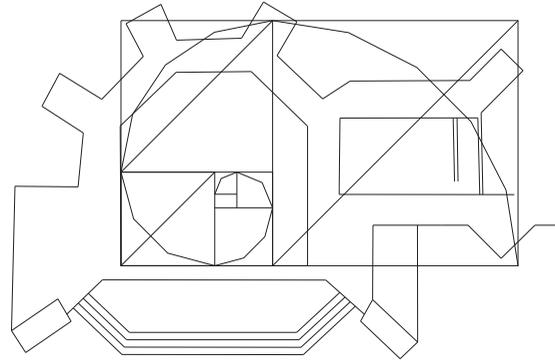
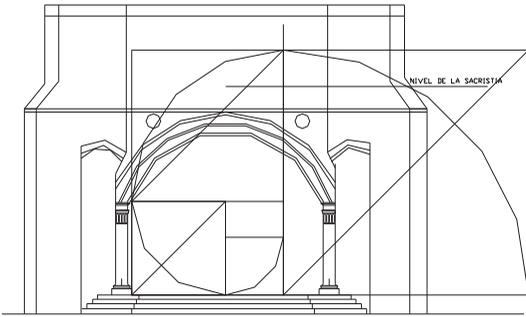
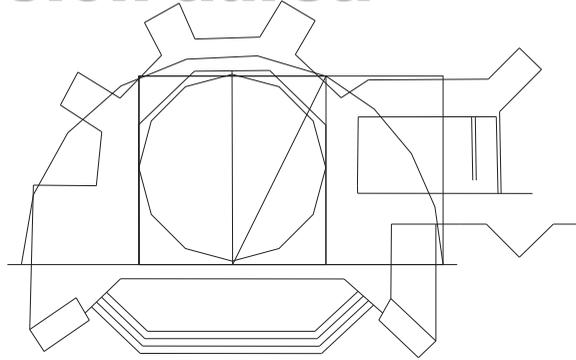
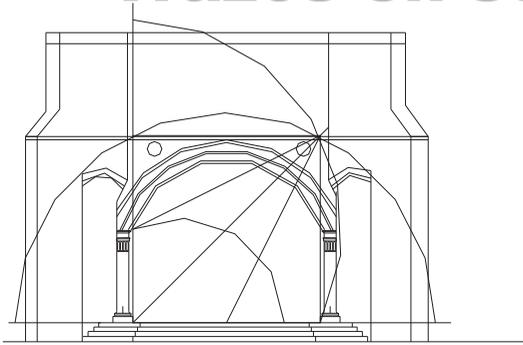
17.- Ghyka, Matila C.: ESTÉTICA DE LAS PROPORCIONES EN LA NATURALEZA Y EN LAS ARTES.

Buenos Aires, Editorial Poseidón, 1973.

18.- www.galeon.com/nueva-org/blogger/leda-atmica.pdf

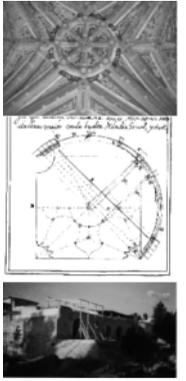
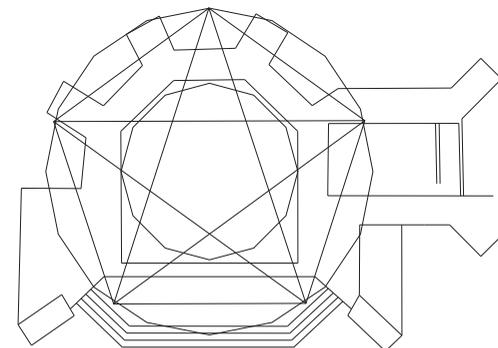
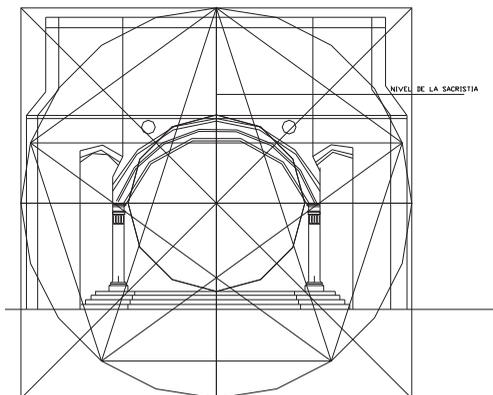
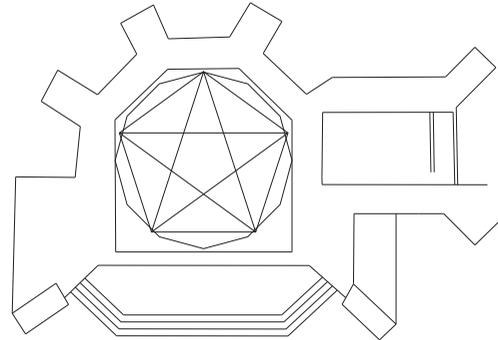
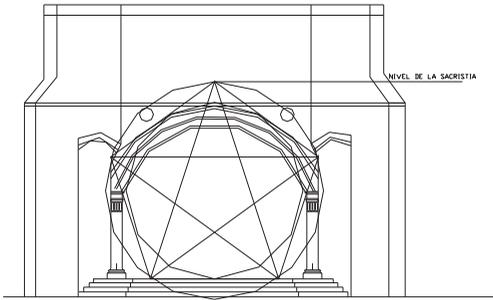
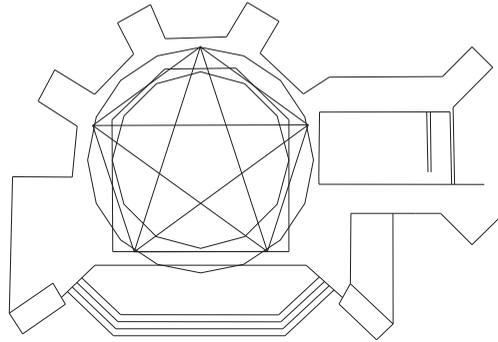
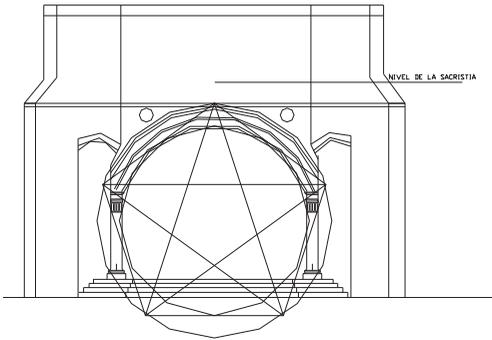
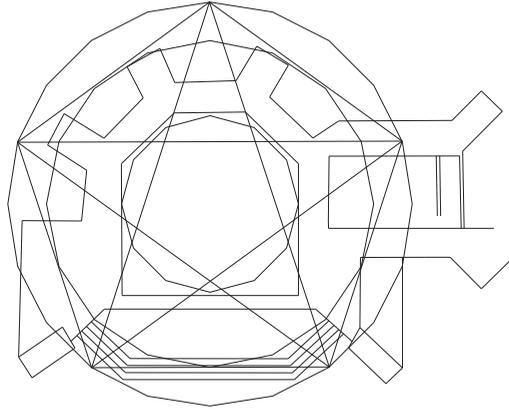
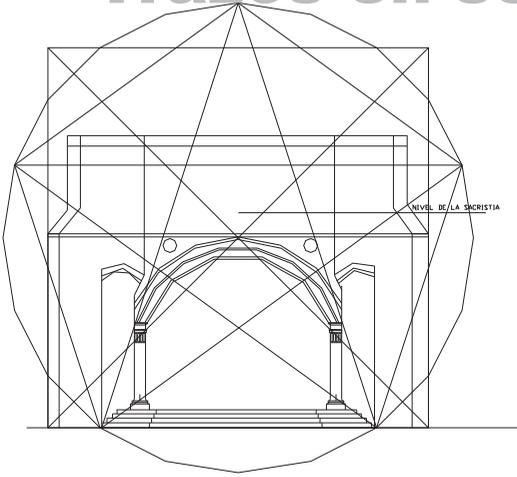
19.- György Doczi. EL PODER DE LOS LÍMITES. Ed. Troquel. Buenos Aires, 1996.

Trazos en sección áurea

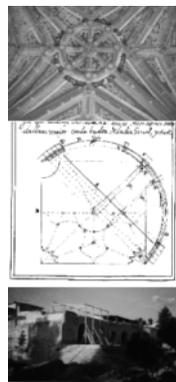


IV.-PROYECTO DE RESTITUCIÓN

Trazos en sección áurea



**IV.-PROYECTO DE
RESTITUCIÓN**



e.- Consideraciones finales.

Ya hemos definido tres propuestas viables para la forma de la bóveda, de las cuales vamos a definir una como la mejor.

Caso 1.- Bóveda de una sola clave siguiendo los ejes analizados. *(ver Fig. A3)*

Dentro de nuestro estudio no ha sido fácil encontrar ejemplos como esta bóveda, lo mas cercano son bóvedas de la escuela francesa de acuerdo a la descripción de Javier Gómez, pero estos son escasos dentro de territorio español y por consecuencia considero que será mas difícil que existieran en Nueva España. El uso de este tipo de nervaduras se trabajaba comúnmente en cimborrios que se dejaban calados y de los cuales no hay ejemplos en el siglo XVI Novohispano que por el momento podamos mencionar.

La característica es que los nervios rampantes son llanos, es decir van más hacia arcos formeros de trazo apuntado, cuestión que no es viable por las formas de los restos que tenemos de los formales y en general de los arcos realizados en todo el monumento que tienen forma rebajada.

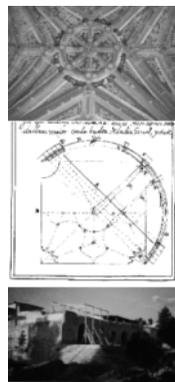
Caso 2.- Bóveda con dos claves. *(ver Fig. B5)*

Esta propuesta ha resultado ser la más atractiva formalmente ya que es fácil suponer su ejecución, hay mas ejemplos análogos realizados en templos del siglo XVI tanto en Europa como en la Nueva España y la aplicación de las reglas empíricas nos hacen suponerla de mejor manera.

Analizando el objeto de estudio con mas detenimiento en fotografías de acercamientos al nacimiento de las nervaduras y complementando arcos con métodos digitales nuestra idea original de bóveda se ve un poco modificada de la propuesta B5, aunque realmente no son modificaciones muy drásticas, y que responden aún mejor a nuestro objetivo. Esto se apreciará en los planos para la ejecución de nuestra restitución.

Caso 3.- Bóveda de una clave resuelta como cúpula. *(ver Fig. C1)*

Esta solución es muy interesante dado que formalmente la planta de la capilla, permite la inclusión de una cúpula apoyada en los seis arcos formeros, esto corresponde en mucho a la idea de una bóveda de media naranja como en Teposcolula, pero la forma en planta de nuestro caso favorece que existan problemas de estabilidad, es compleja la transición de circulo a cuadrado. Siguiendo la transferencia de la carga en en las esquinas de la parte frontal del edificio , Las pechinas que se generan son de mayores dimensiones que las que están en la parte ochavada, esto debe de generar un problema dado que el comportamiento va a ser diferente al frente que en la parte posterior, esto rompe la simetría en el sentido oriente poniente en la manera como recibe la bóveda nuestra estructura portante.



C.- Proyecto de restitución.

Ya teniendo decidido que la restitución que se realizara de la bóveda será el modelo de dos piedras clave, es decir realizaremos dos bóvedas, una la podemos describir como una bóveda de crucería de planta perlongada, compuesta en sus cuatro lados por: tres arcos formeros repartidos en los costados sur, poniente y norte, un arco fajón en su lado oriente. De cada una de las esquinas nacerán arcos de crucero y también terceletes, los rampantes serán curvos y tendrán continuidad desde la clave polar hasta la clave del arco formero.

La mayoría de las nervaduras y claves auxiliares que se utilizan son para seguir el principio de que a más nervios, mayor rigidez tendrá la bóveda y permiten continuar nuestro diseño analizado.

a.- Consideraciones de la estructura y cálculos.

Antes de proceder con el desarrollo de la bóveda es conveniente con los datos de geometría definidos realizar unos cálculos que nos permitan entender los problemas estáticos presentados por los cuales la bóveda no pudo mantenerse en pie hasta nuestros días, así como las consideraciones para solucionar esos problemas para el comportamiento de nuestra bóveda en el futuro.

Cimentación.

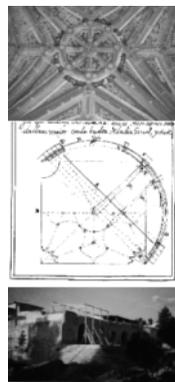
Después de realizar un análisis de cargas de la bóveda propuesta y la estructura (*ver anexo análisis de cargas*), calculamos la cimentación y en el punto de mayor carga nos resulto:

451.56 Toneladas, en un área de 8 metros, es decir que en un metro cuadrado llegan 54.445 toneladas, considerando una zapata de proporciones 1:3 con respecto al muro, tenemos un área de contacto de 4.77 metros cuadrados recibiendo una carga de 54.445 toneladas, tomando en cuenta la resistencia de terreno de 10 T / m² vemos que es insuficiente esta cimentación.

Ahora considerando que el peso total del monumento es de 3595.95 toneladas. Si la resistencia del terreno es de 10 toneladas por metro cuadrado, podemos, considerando el buen estado del monumento usar la hipótesis de que esta sostenido en un pedraplen, que se predimensiona al dividir el peso entre la capacidad del terreno y nos da 359.6 m², en una superficie de 19.00 m por 19.00 m aproximadamente en la cual podemos inscribir la planta de la capilla abierta.

Estructura portante.

Corroboraremos que la idea anterior es confiable dado que los muros no sufren desplomes, y analizando con fotografías de diversas épocas, la velocidad de los desplazamientos de las dovelas del arco triunfal, no son realmente significativas, de igual manera las consolidaciones realizadas en los años 80's ayudan a la conservación en buen estado de la estructura portante.



Cubierta.

Para la cubierta es importante valorar después del cálculo estático, que la estructura de la bóveda cumple con la estabilidad, ya que al ser analizada con el peso estimado de cantera y concreción a la manera como se construía en el siglo XVI y también calculando con un peso menor considerando aligerar la concreción y usar relleno poroso, el resultado con respecto a la excentricidad es muy similar.

Consideremos como atenuantes de este problema el hecho de que en el punto crítico (el riñón), la sección es más amplia para absorber la excentricidad, la cual según nuestros cálculos esta dentro del tercio medio de la sección de la bóveda, y que las nervaduras mas allá del papel decorativo ayudaron a recibir la carga de la bóveda, (*ver cálculos anexos*).

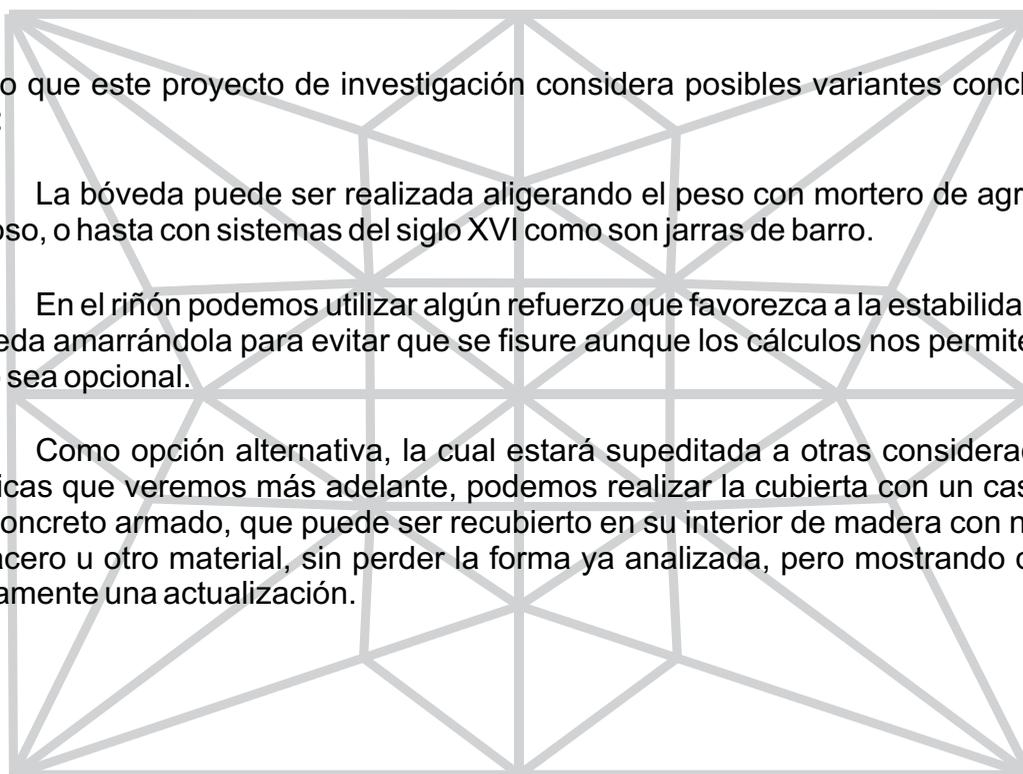
Finalmente de este cálculo desprendemos nuestra teoría de que al existir movimientos telúricos, la bóveda sufrió de fisuras a la altura del riñón en el extradós, ya que la bóveda está trazada en arcos rebajados lo que la hace más sensible al sismo, y se presentan en las bóvedas un coceo mayor. Todo esto al paso del tiempo y al no tener el mantenimiento adecuado, provocado por el desuso del edificio, en algún movimiento de tierra terminó por colapsar la bóveda. Seguramente este proceso fue lento, lo cual apoya la idea de que la bóveda no colapso en el siglo XVI, sino un par de cientos de años después.

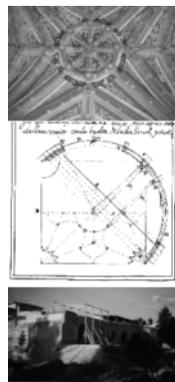
Dado que este proyecto de investigación considera posibles variantes concluimos que:

La bóveda puede ser realizada aligerando el peso con mortero de agregado poroso, o hasta con sistemas del siglo XVI como son jarras de barro.

En el riñón podemos utilizar algún refuerzo que favorezca a la estabilidad de la bóveda amarrándola para evitar que se fisure aunque los cálculos nos permiten que esto sea opcional.

Como opción alternativa, la cual estará supeditada a otras consideraciones teóricas que veremos más adelante, podemos realizar la cubierta con un cascarón de concreto armado, que puede ser recubierto en su interior de madera con nervios de acero u otro material, sin perder la forma ya analizada, pero mostrando que es claramente una actualización.





b.- Preliminares y liberaciones.

Primeramente debemos realizar la limpieza de el edificio ya que en algunas partes tiene flora que es nociva para el mismo, esta deberá ser retirada y ya al terminar los trabajos deberá de ponerse un herbicida que permita no regrese este problema.

Deberán ser liberadas algunas piezas de cantera que se encuentran en mal estado, y que deberán de ser restituidas, también se prepararan los muros y las partes existentes donde se reconstruirá y completaran los muros de acuerdo con el proyecto establecido.

c.- Consolidaciones.

Antes de efectuar las reconstrucciones, debemos consolidar el único elemento que ha tenido a lo largo del tiempo pequeñas deformaciones, es decir el arco triunfal el cual ha sufrido leves desfases en sus dovelas.

Es importante recalcar que esta consolidación del arco es pertinente debido a que se va a recuperar la altura original del edificio, por tanto va a existir un incremento en la carga sobre el arco triunfal y por tal motivo esta acción es primordial para no tener problemas posteriores en la estabilidad del edificio.

El procedimiento a seguir es similar al que indica el doctor Ricardo Prado en el libro procedimientos de restauración y materiales²⁰:

Primero apuntalamos el arco teniendo mucho cuidado en asegurar que los puntales no vayan a realizar empujes de manera que deformen el arco. (*ver planos anexos*)

Posteriormente se liberara cada junta de la dovela (*fig. 4.17*), se le pondrán cuñas de latón y calzas regresando la pieza a su lugar con ayuda de un gato hidráulico. (*fig. 4.18*).

Finalmente se inyectará mortero cal y arena con un aditivo expansor que permita que quede bien colocada la dovela en su lugar (*fig. 4.19*) y se junteará con mortero cal y arena. (*fig. 4.20*)

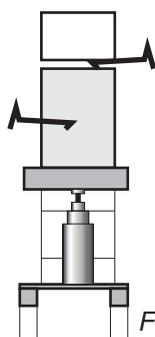


Figura 4.17

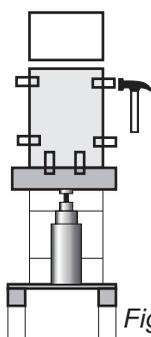


Figura 4.18

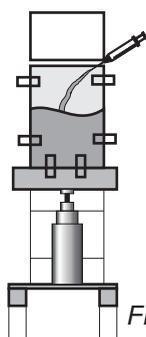


Figura 4.19

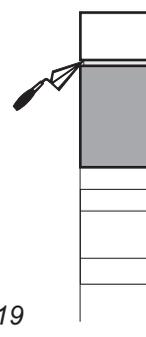
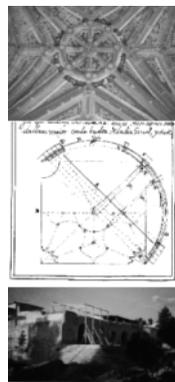


Figura 4.20

20.- Prado Núñez, Ricardo. PROCEDIMIENTOS DE RESTAURACIÓN Y MATERIALES. Trillas. México 2000.



d.- Restituciones.

Antes de la restitución de la bóveda hay que recuperar los elementos perdidos de acuerdo con el proyecto que estamos ejecutando (*ver anexo, planos proyecto*). Primeramente debemos reconstruir los arcos botareles, conservando el tapiado de los vanos ya que este relleno existe desde el siglo XVI, que como ya fue mencionado en este trabajo, indica que hubo problemas de estabilidad desde el diseño de origen y para compensarlo fueron rellenos y se le incrementó masa cegando también los arcos laterales.

Posteriormente se completarán los estribos y los muros realizando los arcos formeros faltantes y completando los existentes, así como también se sustituirán piezas de los jarjamientos debido a que ya están muy dañados.



Figura 4.21 estado actual y modelo con los muros y arcos botareles completados

a) Propuesta en cantera

Como siguiente paso se colocarán las cerchas para los arcos de crucero y los terceletes, posteriormente se realizará la colocación de las claves y desde la imposta se irán completando los arcos hasta cerrarse en la clave. (*ver anexo, planos de cerchas y estereotomía*)

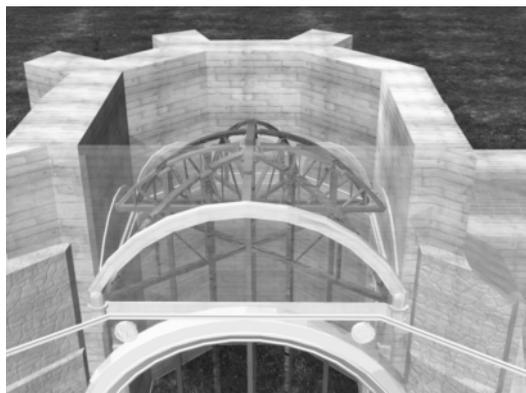


Figura 4.22 Cimbras para nervaduras

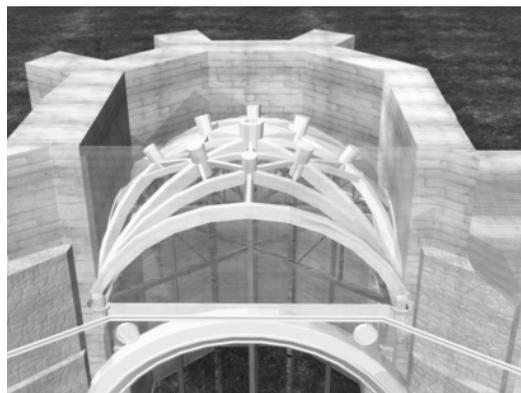
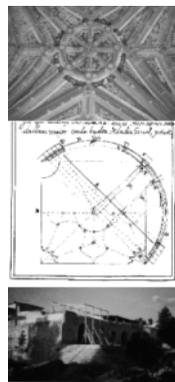


Figura 4.23 Tracería de cantera



La plementería será realizada con lajas de cantera con un espesor de 20 cm aproximadamente, iniciando de la imposta siguiendo todo el perímetro y terminando en la clave. Posteriormente con una concreción realizada con cantera, cal y arena, complementaremos los espesores diseñados para la bóveda. (ver anexo, planos de estereotomía)

Finalmente se pondrá un relleno aligerado para completar el nivel y se realizará un enladrillado y la impermeabilización de la bóveda.

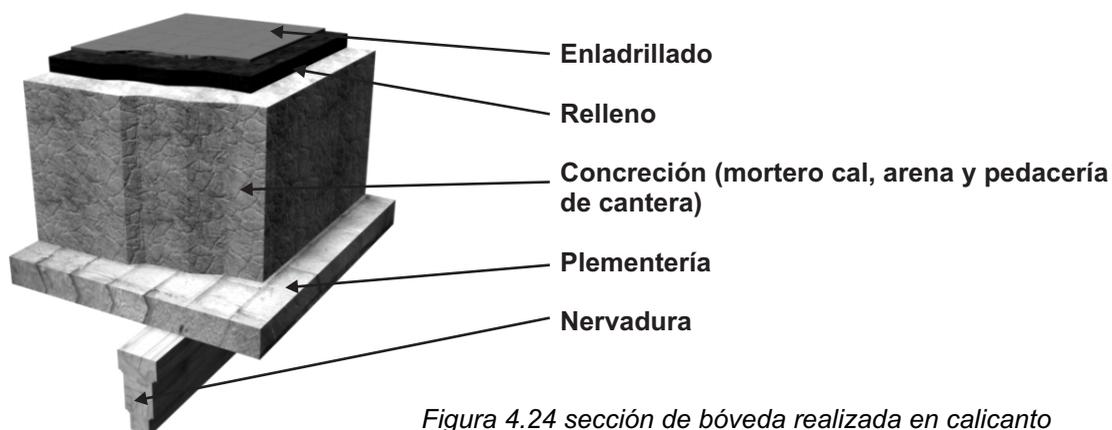


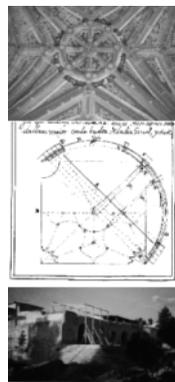
Figura 4.24 sección de bóveda realizada en calicanto

Debemos mencionar que esta propuesta trata de repetir lo más cercano a lo que debió de existir tanto en forma como en materiales, esto nos lleva a recordar que la bóveda estáticamente no presenta problemas. Contrariamente, el diseño realizado con arcos rebajados es sensible a las acciones dinámicas (sismo), ya que presentan originalmente mayor empuje lateral (coseo), contra el que podemos observar en arcos de medio punto y arcos apuntados.

Ahora al someter un arco o en este caso un sistema estructural que basa su funcionamiento en la descarga de arcos rebajados a una fuerza de sentido horizontal como es el sismo, nos amplifica el empuje lateral en el riñón de manera que compromete nuestra estructura.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario que nuestra restitución tenga refuerzos a la altura del riñón de la bóveda. No podemos exponer nuestra estructura a que falle nuevamente, por que eso le quitaría sentido a nuestra restitución al repetir íntegramente un sistema que ya presentó problema en algún momento ante el sismo.





b) propuesta con materiales actuales.

Debido a que actualmente es difícil el poder realizar una obra en cantera a la manera del siglo XVI, dado el alto costo del material y que los obreros deben ser personal especializado, verdaderos artistas en este tipo de trabajo, que ya no es muy común dentro de la construcción en nuestros días, Todo esto eleva el costo y aumenta los tiempos enormemente.

Es importante considerar que una propuesta con materiales de nuestra época, respetando todo nuestro estudio formal puede ser una opción viable, ¿Pero qué parámetros podemos seguir para tomar una decisión? Por el momento sólo comentaremos que dada la función didáctica de los edificios, de mostrarnos su época, debemos valorar el uso que se pretende dar al inmueble y el tipo de intervención que pretendemos realizar de acuerdo con los principios que hayamos establecido. Ahora sigamos con nuestra propuesta:

Partiremos de que ya están restituidos los muros y arcos faltantes, solo debemos mencionar que tendremos que preparar los jarjamientos de manera que puedan recibir unas nervaduras realizadas en acero inoxidable.

La idea de usar el material antes mencionado es presentar una imagen completamente representativa del siglo XXI, que a primera vista se reconozca que no es un elemento original del edificio, este material permite disminuir cargas muertas y realizar la forma original de las nervaduras y claves con un numero menor de piezas.

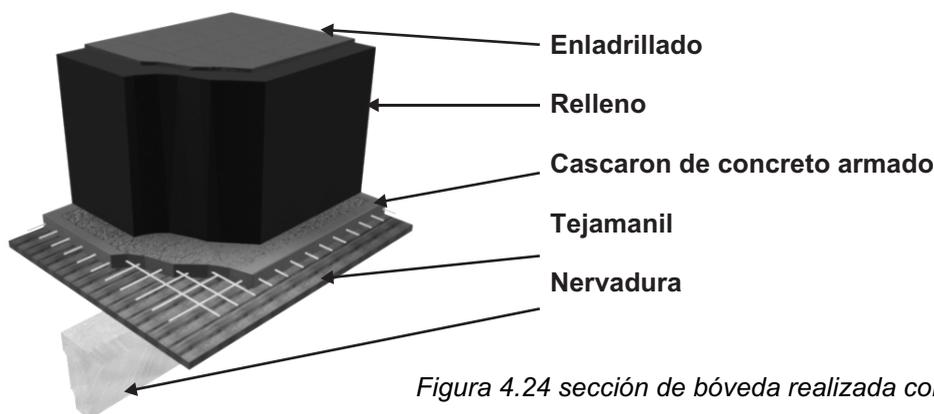
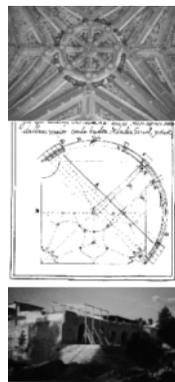


Figura 4.24 sección de bóveda realizada con concreto

Encima de la tracería se colocara a manera de plementos, un tejamanil de enebro, siguiendo el sentido de colocación del diseño de la plementería de cantera. El uso de este tejamanil es retomado del propio Coixtlahuaca, las cubiertas de las construcciones desde el propio siglo XVI, encima de las vigas se colocaba la madera para recibir una concreción de cal y arena y piedra terminada con un aplanado de mortero con cal y arena.

En nuestro caso sobre el tejamanil se realizará una bóveda con un cascarón de concreto armado con malla electro soldada 20 x 20, 10 - 10. Encima de ésta se rellenará hasta obtener el nivel de la azotea estimado en el proyecto original y se pondrá el enladrillado e impermeabilizante. (ver anexo, planos segunda propuesta)



c) Propuesta basada en un óptimo desempeño de la estructura.

Recordemos que las dos propuestas anteriores, están basadas en el trazo obtenido de nuestro análisis de la forma, considerando: tratados contemporáneos al edificio, restos físicos existentes, y trazos coherentes con la concepción espacial. Pero esta forma como ya lo mencionamos anteriormente presenta una falla en su diseño original, por tal motivo presentamos una última opción que se basa en el mejor desempeño de la estructura desde el punto de vista geométrico.

Conservaremos primeramente la forma encontrada en planta de nuestro estudio al igual que la altura de la piedra clave, la diferencia que presenta esta propuesta esta en los arcos formeros Norte y Sur, que en vez de conservar su forma rebajada, pasarán a ser de trazo apuntado, aunque en nuestro caso es muy cercano a un arco de medio punto.

Esta acción permite que la carga horizontal de la bóveda sobre el arco formero se disminuya y a su vez al igualar la altura con el arco fajón y el formalete Poniente, se favorezca la transmisión de la carga por el crucero a los apoyos.

Así al disminuir la carga horizontal en sentido Norte Sur y favorecer la transmisión de las fuerzas verticales a los apoyos podemos dejar abierta la opción de los materiales utilizados para restituir, ya que esta es una forma más estable y prácticamente cualquier material tendrá un buen comportamiento.

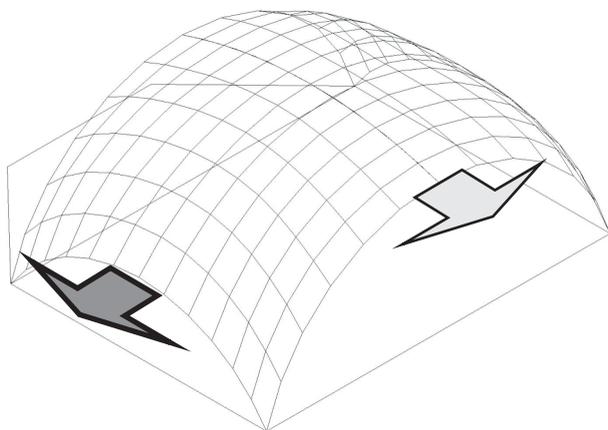
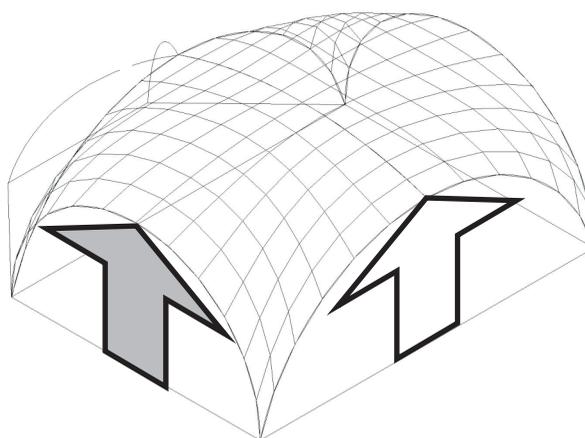


Figura 4.25 Esquema de la bóveda de acuerdo a nuestro análisis histórico. Se señalan los empujes laterales, debemos mencionar que el coseo en el sentido largo es mayor que en el corto.

Figura 4.26 Al elevar la cuerda de los arcos formeros del sentido longitudinal se pretende disminuir el coseo generado por el rampante tan pronunciado.



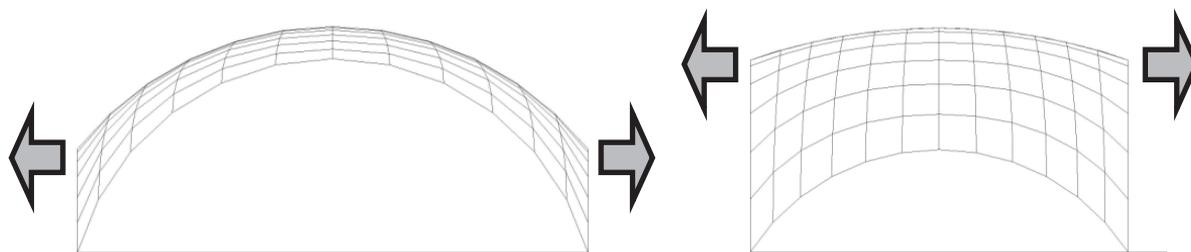
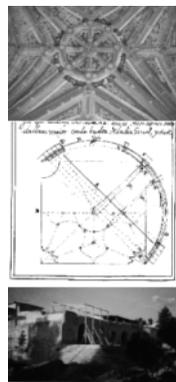


Figura 4.27 Vista frontal y lateral de la bóveda donde se aprecia el rampante en los dos sentidos y se explica el mayor empuje.

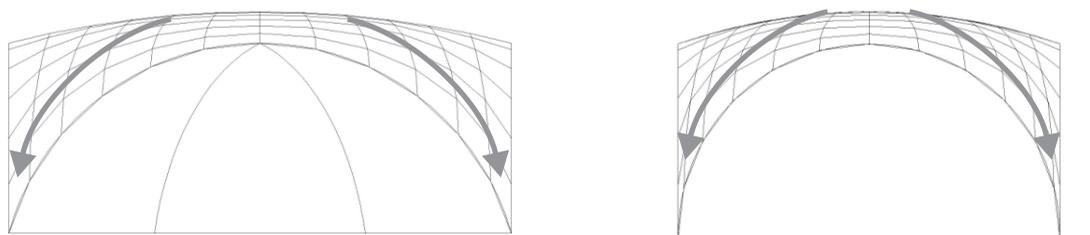


Figura 4.28 Vistas frontal y lateral de la propuesta final donde se aprecia el rampante en los dos sentidos y se señala la dirección en que descarga la bóveda.

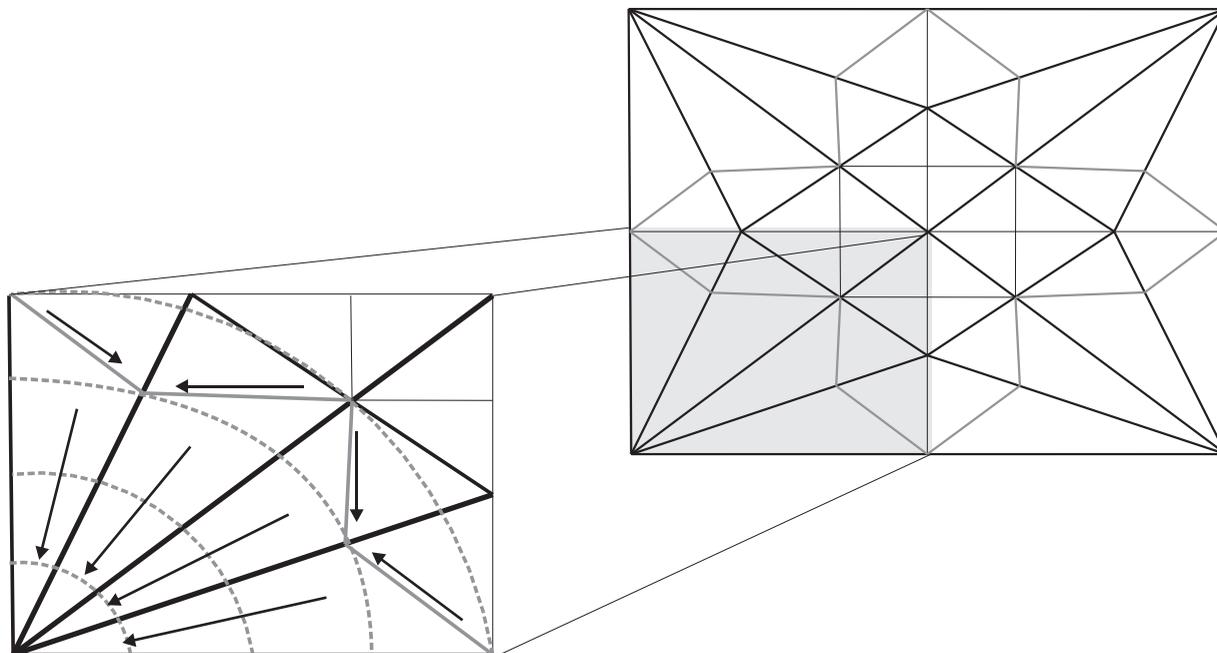
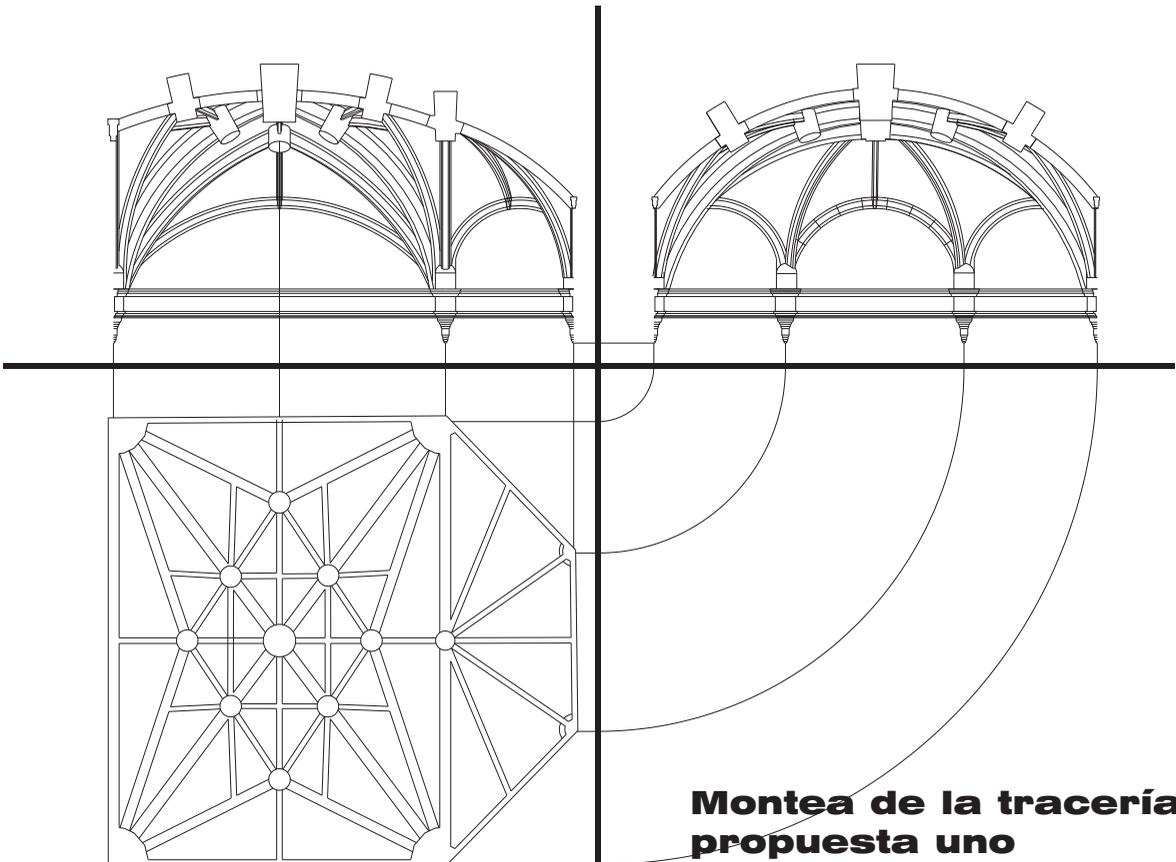
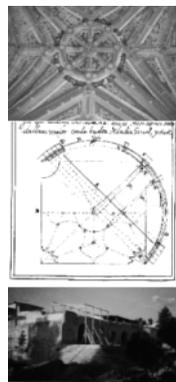
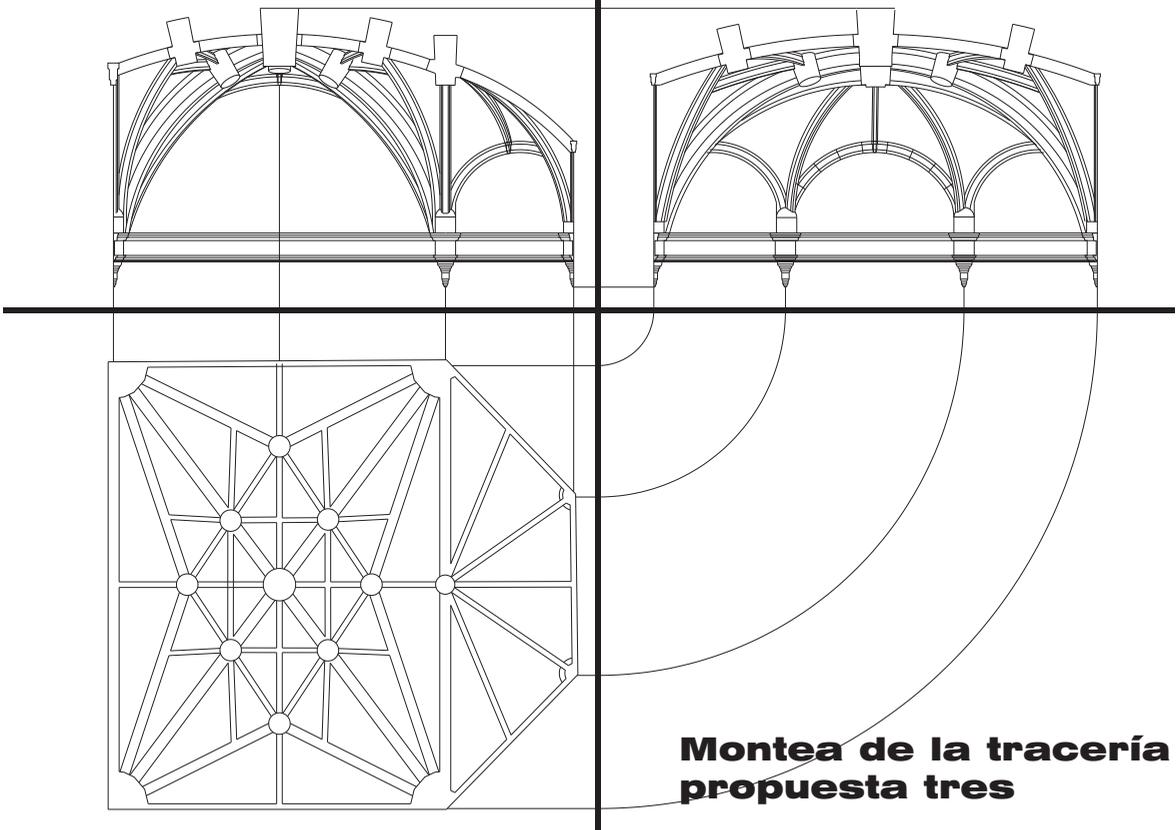


Figura 4.29 Trazo de la última opción de bóveda, en donde con las líneas punteadas se señalan niveles, los cuales convergen al tercelete y al crucero favoreciendo la descarga al apoyo. También se marcan unos nervios que convergen en los arcos formeros llamados patas de gallo, los cuales también ayudan a descargar de manera más óptima la carga

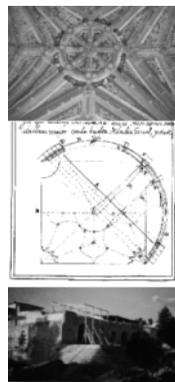


Montea de la tracería propuesta uno



Montea de la tracería propuesta tres

**IV.-PROYECTO DE
RESTITUCIÓN**



D.- Programa de mantenimiento preventivo.

Es muy raro que después de una intervención en cualquier edificio se realicen actividades para continuar manteniéndolo en óptimas condiciones, debido en primera instancia a que no existen programas que indiquen qué hacer. Caso muy concreto son los conventos del siglo XVI que en su gran mayoría se encuentran en poblaciones alejadas y en algunos casos hasta olvidadas como lo es Coixtlahuaca.

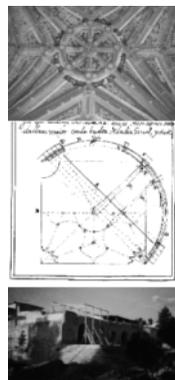
Es de nuestro conocimiento que las autoridades municipales y en muchos casos las mayordomías tratan de dejar marca de su paso como autoridad en el templo de la localidad, pintura, resanes, añadidos, etcétera. Estas acciones que independientemente de su lado político, terminan siendo limitadas o canceladas por una autoridad federal, caso concreto el Instituto Nacional de Antropología e Historia o CONACULTA, todo esto culmina en la no acción sobre el inmueble y el redireccionamiento de los recursos designados a cualquier otra actividad.

Todo lo anterior es producto del hecho de que no existen manuales prácticos y de fácil comprensión que indiquen a los usuarios del inmueble como deben de cuidar su edificio y hasta donde pueden realizar reparaciones y en que momento ya debe existir el contacto con la autoridad correspondiente para acciones de carácter correctivo y emergentes.

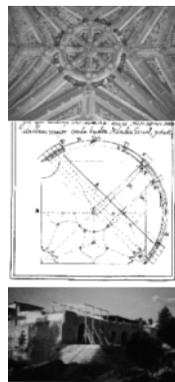
Así, este pequeño manual pretende dar a la comunidad un grupo de acciones preventivas que deben de realizarse cada determinado tiempo, y en caso de ciertas eventualidades como se debe proceder en edificios de carácter patrimonial como es el caso de nuestro objeto de estudio.

Manual de mantenimiento preventivo.

REVISIÓN	ACCIÓN
Limpieza del edificio	<p>Es importante conservar los edificios limpios y libres de elementos que puedan generar problemas posteriores así debe de evitarse:</p> <p style="padding-left: 40px;">Tener las azoteas limpias y libres de hojas, basura y tierra que tapen las bajadas de agua.</p> <p style="padding-left: 40px;">Limpiar la cantera con cepillo para liberarla de excremento de aves.</p> <p style="padding-left: 40px;">De nidos y demás suciedades producidas por animales.</p>



Instalaciones	Deben revisarse las instalaciones periódicamente para estar seguros de que están en buen estado y que aparte de no fallar en su desempeño, no vayan a generar problemas posteriores como fugas de agua, cortos y hasta incendios.
Flora nociva	Debe revisarse el edificio una vez al año preferentemente antes del periodo de lluvia, se tiene que remover la flora cuidando no dejar raíces en los aparejos y colocar un poco de biocida donde fue removida como el cloro, el borax y el agua oxigenada.
Impermeabilización	Anualmente deben revisarse el estado de las azoteas, normalmente la colocación de impermeabilizante se realiza cada cuatro, cinco años al terminar la vigencia del producto, debido a la gran variedad de marcas y garantías de los mismos, es recomendable su selección con asesoría de los especialistas del centro INAH local. En caso de la necesidad imperante de impermeabilizar, es recomendable la impermeabilización con agua, jabón y alumbre.
Pintura	Se debe pintar solo en lugares donde haya existido previamente pintura, el uso de pintura vinílica debe ser restringido y aprobado por la autoridad competente, es recomendable usar pintura a la cal con baba de nopal, siguiendo las gamas de color que han sido ya autorizadas previamente por las instituciones competentes.
Pinturas murales	Cualquier problema de humedad disgregación o daño deben ser intervenidos por un restaurador, con conocimiento y aprobación del INAH.
Humedades	En el momento de su aparición llevar registro de como se van desarrollando, tratar de ver cual es el origen del problema y dar aviso al INAH.
Aplanados	En caso de que algún aplanado resulte dañado por: Sismo.- se debe revisar el muro si no existe una grieta, terminado esto y si se tiene conocimiento de la técnica empleada originalmente se repondrá, en caso de no saber la técnica se debe solicitar el apoyo del instituto. Humedad.- En el momento de su aparición llevar registro de como se van desarrollando, tratar de ver cual es el origen del problema y dar aviso al INAH.



Cuartheaduras y fisuras	La aparición de estas señales es indicativo de alguna falla estructural, la cual puede estar comprometiendo la estabilidad, por tal motivo debe de ser revisado por un especialista que indicará el procedimiento a seguir. Una grieta que se presenta en los dos lados del muro o elemento constructivo ya requiere de seguimiento y llevar registro, en una lesión donde pase la luz de lado a lado es importante ya la intervención por parte de los especialistas del INAH.
Graffiti	Para limpiar un muro de cantera después de ser graffiteado, se debe de utilizar jabón neutro con agua y cepillo de cerdas naturales, cualquier otro procedimiento como puede ser el uso de xixi o solventes debe de ser avalado y supervisado por el INAH.
Exfoliaciones y de la cantera	Al presentarse en la cantera desprendimientos en pequeñas capas de diverso espesor, pulverizaciones de la pieza y en algunos casos manchas, se debe tener registro ya que deberán ser atendidas dependiendo del daño substituidas o en otros casos completadas por moldeo, supervisado por la autoridad.
Fauna nociva	Existen algunas clases de animales que viven en las juntas de la cantera por lo tanto es necesario utilizar algunas veces insecticidas como el Malathion y el Lindano, siempre hay que usar estos químicos con permiso del INAH.
Sismo	El análisis de daños en las estructuras portantes y portadas, se realizara con cuidado, primeramente revisar grietas en muros, posteriormente las lesiones que aparezcan en el intradós de las bóvedas, y finalmente en el extradós especialmente a la altura del riñón. Ya en los casos que requieran apuntalamiento debe realizarse esto con la guía de algún especialista para no generar daños mayores a la estructura con esta acción.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Para terminar nuestra investigación comentaremos que:

El espacio es el motivo de la composición arquitectónica, ya que siempre la utilidad de los espacios es lo que manda y no necesariamente requerimos de elementos tectónicos para definirlo.

Los espacios exteriores en poblaciones trazadas en damero, como es el caso de las fundadas durante el siglo XVI, se componen de manera que nos van llevando de un ambiente a otro hasta un punto final como puede ser entrar en algún espacio cubierto. Por lo tanto la arquitectura **no solo es cubierta**.

El análisis histórico de los espacios nos permite comprender las características compositivas básicas de cualquier lugar, ubicar las ideas en el tiempo en que fue concebido, para así poder valorar los todos los elementos existentes, comprender la función de los faltantes y como en nuestro caso llegar a restituir un elemento.

La evolución de los procedimientos constructivos, en especial los que podemos estudiar dentro de los tratados de arquitectura que corresponden a la época de nuestro caso de estudio, los podemos comparar con nuestro objeto y encontrar como estas maneras de trazar y construir son aplicadas evidentemente, pero aún falta algo.

Todo esto no puede tener sentido si no analizamos los elementos que existen en el edificio como hecho materializado de un conjunto de procesos que ocurrieron hace ya muchos años y como tal, también al estudiarlo nos va a dar respuestas que combinadas con los estudios históricos espaciales y técnicos antes mencionados darán veracidad a nuestro trabajo.

Así como en una excavación en algún sitio arqueológico, busca encontrar restos y objetos, que son hechos materializados de una actividad, para poder entender las estructuras sociales, de fabricación y demás procesos que llevan a su creación, nosotros sin necesidad de realizar calas, estamos estudiando un objeto de escala colectiva, resultado de varios procesos de carácter social, político, económico, constructivo e ideológico, y al conocer estos procesos podemos imaginar que elementos se han perdido y poder reponerlos para llegar al reestablecimiento de la unidad potencial del objeto como le llama Cesare Brandi.

De nuestro análisis podemos decir que:

La capilla abierta de Coixtlahuaca cumple con las características espaciales de la arquitectura realizada durante el siglo XVI.

Que la bóveda de nervadura de la capilla responde en tiempo y forma a las llamadas bóvedas estrelladas de la era moderna que llama Javier Gómez.





La bóveda de Coixtlahuaca a pesar de contar con elementos surgidos del Gótico, realmente esta lejos de esa idea en la concepción del espacio forma.

La capilla en su diseño tuvo un error de origen, lo cual es evidente desde el siglo XVI cuando se cegaron los arcos botareles y los laterales. La razón del cegamiento de los arcos y el incremento de masa a los lados de la capilla responde, a que la bóveda es perlongada en sentido Norte Sur, y a que el rampante es mayor generando un gran coseo.

El comportamiento de la bóveda desde el punto de vista estático es correcto, pero al ser sometido a fuerzas dinámicas, provocó el incremento del empuje horizontal en el riñón. Situación que se explica claramente por la sismicidad de la zona. El daño en la bóveda se debió presentar en el extradós, lo que combinado con las lluvias hizo que se fuera debilitando lentamente hasta su colapso en el siglo XIX.

Seguimos un método científico en el cual; tenemos un problema, generamos nuestra hipótesis de solución por medio de nuestro estudio histórico, de trazos armónicos, sistemas constructivos y modelos análogos, obtenemos un grupo de opciones que dan solución para restituir un elemento arquitectónico y la decisión final depende de cual de estas opciones se integra mejor con nuestro objeto y responde a todos los conceptos que analizamos previamente.

Ahora bien, ya decidida cual es la opción que se va a realizar, es importante decidir como hacer esta restitución, aquí es cuando se hacen valer los principios que hemos tomado al momento de decidir intervenir un edificio patrimonial.

Es claro que hoy en día los edificios de carácter patrimonial del periodo virreinal han tenido que adecuarse a nuevos usos o modificaciones de su uso original, esto conlleva a que se pierda la intención didáctica del edificio en algunos momentos.

El tomar una postura en la cual realizamos un muestrario de técnicas de restauración no ayuda a conservar la unidad potencial del edificio, podemos ejemplificarlo si realizamos la restitución de la bóveda de Coixtlahuaca, pero no completamos los elementos faltantes de la estructura portante como son los arcos botareles, ya que en este caso incurriríamos en mostrar un edificio que jamás estuvo en esa condición ya que la bóveda debió de colapsar previamente a los arcos.

Así el hecho de restituir la bóveda nos obliga a completar la forma original, esto no quiere decir que sea obligadamente por medio de los mismos materiales con los que se realizó en su origen, ni que no deban de existir refuerzos o técnicas que nos ayuden a garantizar su permanencia.



Por lo tanto esto nos lleva a decir que:

Podemos restituir la bóveda con los materiales originales, recuperando todos los elementos perdidos, de manera que, como Eugene Emanuelle Violet LeDuc, busquemos un estado prístino del edificio, situación que nos obligaría a darle un uso al edificio igual o muy similar al que tuvo en su origen para poder completar esa imagen ideal.

Ahora bien, el poder proponer una cubierta con materiales contemporáneos que nos muestre que es una intervención del siglo XXI, nos abre la gran posibilidad de aplicar casi cualquier uso y nos permite conservar la función didáctica de como era ese espacio durante el siglo XVI, como se compuso el espacio, pero al mismo tiempo muestra la evolución del edificio a lo largo del tiempo y favorece a su vigencia, sin contar que actualmente sería un medio más económico para llegar a nuestro objetivo.

La opción de modificar la forma histórica de la bóveda realmente permite buscar ese estado ideal del edificio, aún cuando no haya sido así, pero nos demuestra que una solución que parte del diseño geométrico garantiza un mejor comportamiento de la estructura y esto la convierte en una opción muy viable.

En el caso particular de este estudio, realizamos la bóveda como ejemplo de la manera en que se puede restituir un elemento, pero el decidir seguir esta postura debe de obligar a que las subsecuentes intervenciones a corto plazo, dentro del conjunto de San Juan Bautista Coixtlahuaca, deban de seguir un planteamiento similar, ya que de otra manera podemos caer en errores que repercutirán en la pérdida paulatina de elementos, reposiciones mal fundamentadas que nos lleven a una mala interpretación, hasta que el edificio pierda vigencia y al no tener identificación con la comunidad en un momento sincrónico, se condene a desaparecer.

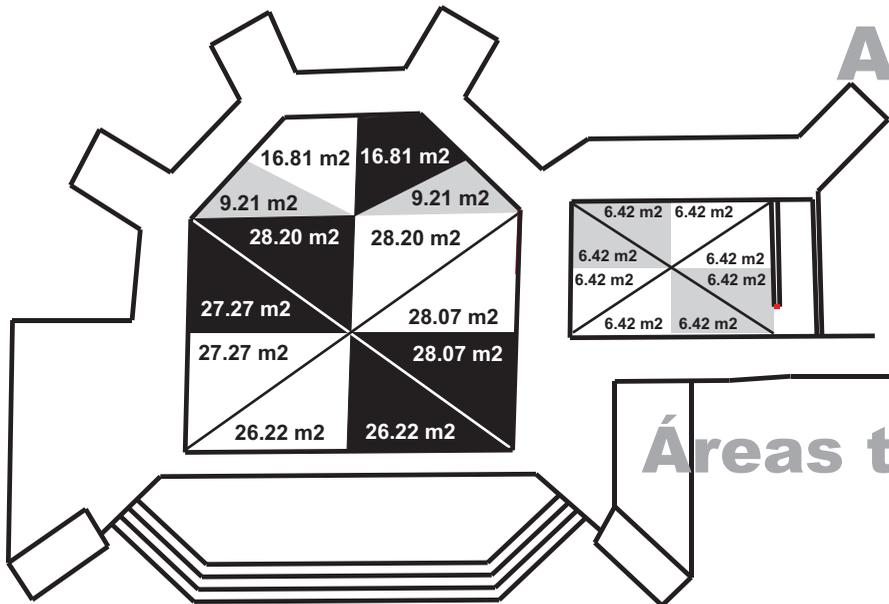
Todo este trabajo no quiere decir que esta sea la manera en que se deben de restaurar todos los edificios, es simplemente una herramienta que ayudará a dar línea a seguir sobre restauraciones donde requerimos restituir elementos.

Finalmente, el patrimonio edificado es la unión e identificación entre los individuos de un colectivo diacrónico, que también le permite a los miembros del colectivo sincrónico identificarse entre sí como grupo y diferenciarse de otros, por tal motivo, la conservación, recuperación y ¿por que no?, el descubrimiento de edificios patrimoniales como todavía se da en México, ayuda a las sociedades a saber su historia, entender su presente y proyectar hacia el futuro si el temor de perder su identidad ante la avalancha de conocimientos, ideas y tecnologías que conlleva la globalización.



ANEXOS

ANÁLISIS DE CARGAS

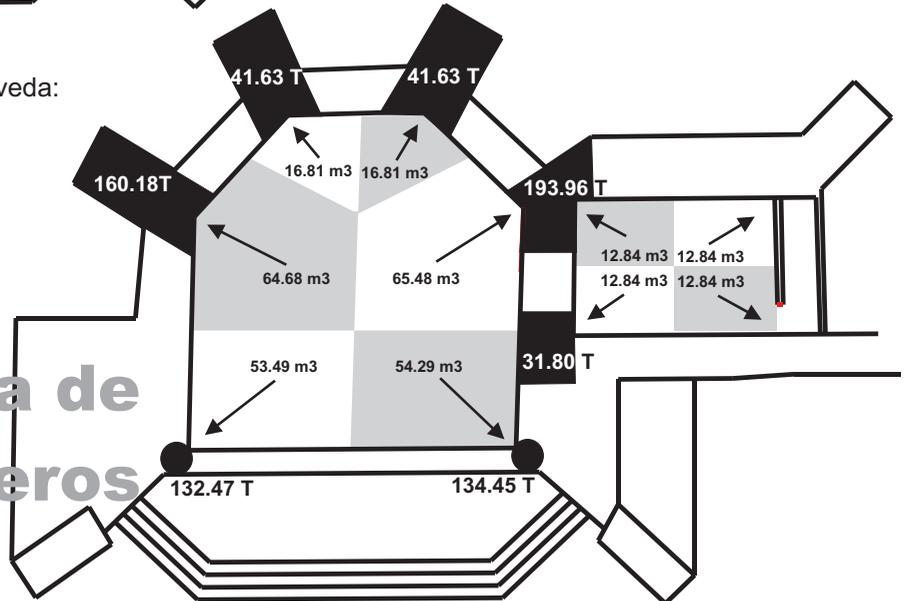


Áreas tributarias

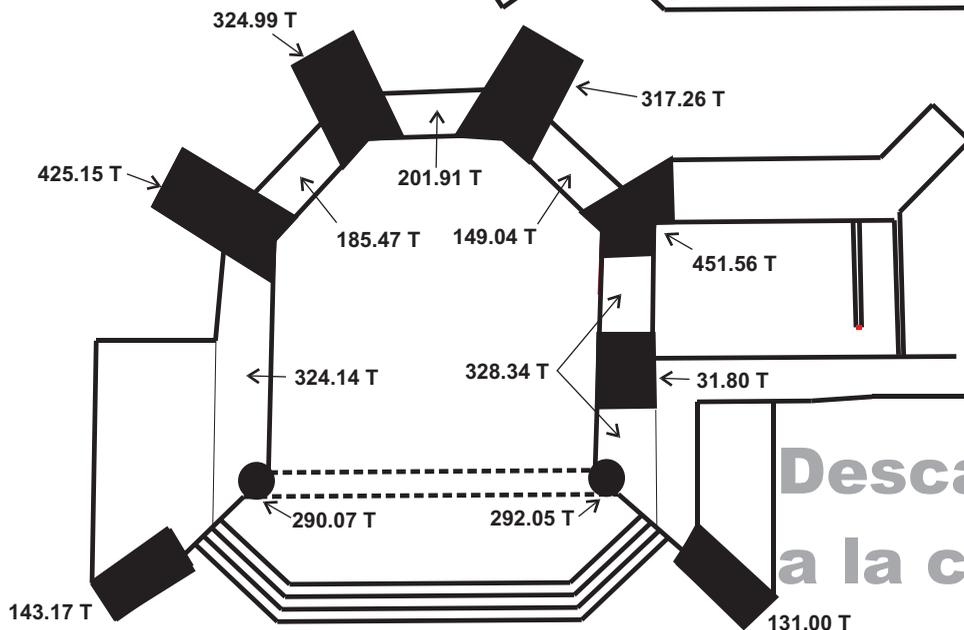
Peso estimado del metro cúbico de bóveda:

- Cantera 460 kg
- Concreción 1800 kg
- Carga viva 150 kg
- Enladrillado 90 kg

Total 2500 kg/m³



Descarga de arcos y cruceros

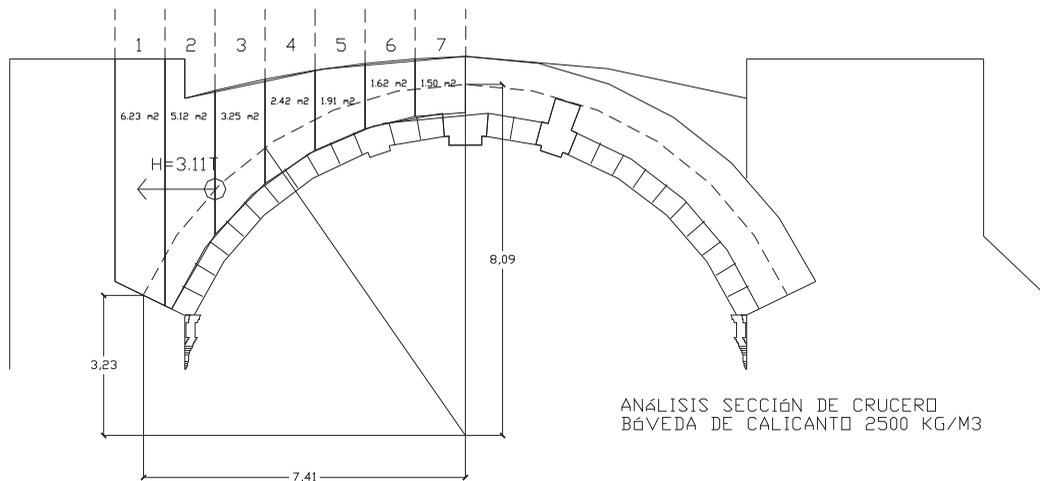
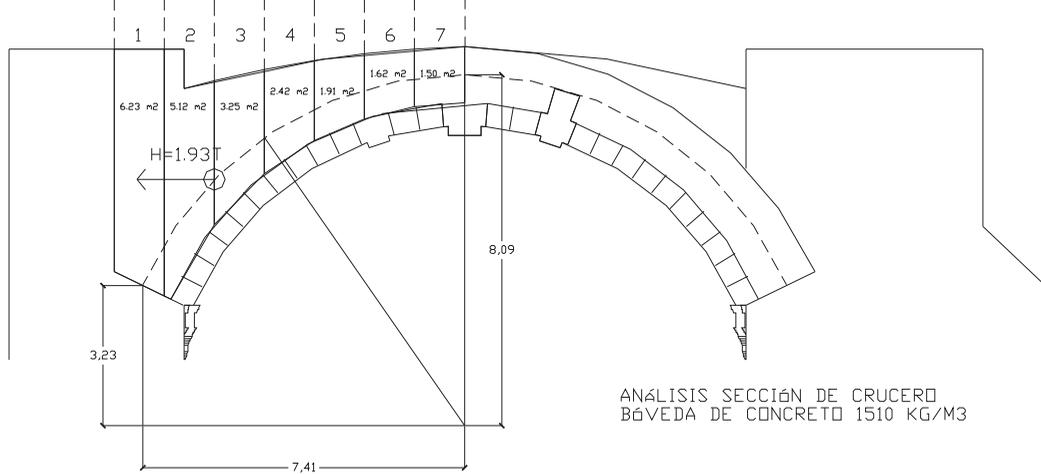
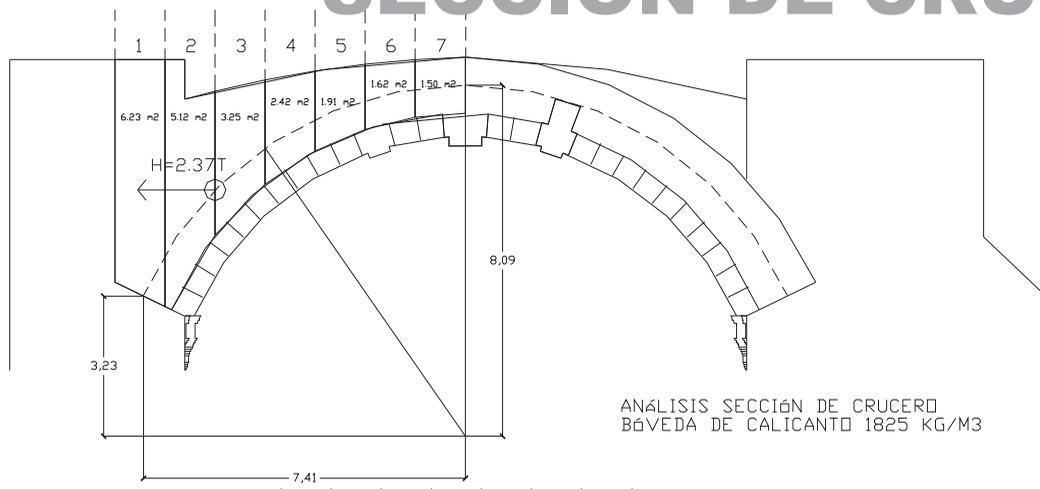


El peso estimado total del edificio es de:

3595.95 Toneladas

Descarga total a la cimentación

ANÁLISIS DE CARGAS EN LA SECCION DE CRUCERO



Gráficos donde se aprecia el crucero y las secciones en que se dividió para el estudio de doble integración numérica. Se muestran las fuerzas horizontales resultantes del análisis de la sección realizadas con tres diferentes cargas que corresponden a la manera en que se construye la bóveda.

Sistema de calculo de doble integración numérica

7 secciones

Analisis en crucero

Valor de la cuerda

7.41 mts.

Reacción izquierda 14.986 Ton-m

valor de la cuerda dividida en 7 partes

1.0586 mts.

H= mom max/Flecha 2.37 ton.

Peso estimado

1.825 Ton.

Flecha

8.09 mts.

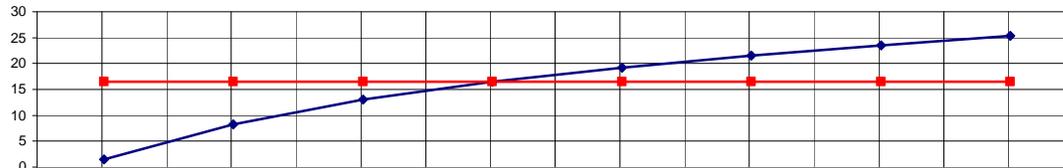
Analisis de la carga por m³ de bóveda
Bóveda de calicanto

Cantera	460	kg
Concreción	1125	kg
carga viva	150	kg
enadrillado	90	kg
Total de m³ de bóveda	1825	kg

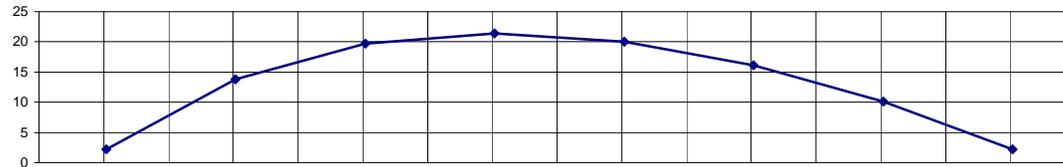


AREAS
VOLUMEN
PESO
INT.

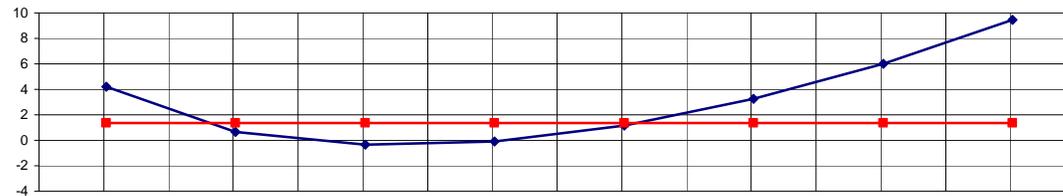
	0	6.76	13.52	20.28	27.04	33.80	40.56	47.32	54.08	60.84	67.60
AREAS	0	6.76	4.74	3.50	2.74	2.26	2.00	1.99	2.19	1.84	23.83



MOMENTO	0	6.76	13.52	20.28	27.04	33.80	40.56	47.32	54.08	60.84	67.60
INT. MOM	0	3.38	9.13	13.25	16.37	18.87	20.995	22.91	24.91	26.91	28.91
INT. RI	0	14.986	29.973	44.959	59.946	74.932	89.919	104.91	119.896	134.882	149.868
MOM. FLEX.	0	11.606	17.463	19.199	17.816	13.932	7.9236	0	0	0	0



Y del arco	3	4.20	5.68	6.65	7.31	7.75	8.01	8.09
y del mom-	0	4.89	7.36	8.09	7.51	5.87	3.34	0.00
excentricidad	3	-0.69	-1.68	-1.44	-0.20	1.88	4.67	8.09



Clave 129 cm Bóveda de calicanto con peso de 1825 Kg/ m³

FORMULA DE NAVIER

$$\text{ESFUERZO} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA DE LA SECCION}} + \frac{\text{MOMENTO}}{\text{MODULO DE SECCION}}$$

$$\begin{aligned} \text{ESFUERZO} &= \frac{23830.00 \text{ kg}}{12900 \text{ cm}^2} + \frac{19199.29 \text{ kg-cm}}{277350.00 \text{ cm}^2} \\ &= 1.85 \text{ kg/cm}^2 + 0.07 \text{ kg-cm} = 1.92 \text{ cm} \\ &= 1.85 \text{ kg/cm}^2 - 0.07 \text{ kg-cm} = 1.78 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MOMENTO DEL ARCO} &= H \times EX = \\ &= 2373.21 \times 8.09 = 19199.29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MODULO DE SECCION} &= \frac{b \times h^2}{6} = \\ &= \frac{100 \times 16641}{6} = \\ &= \frac{1664100.00}{6} = 277350 \end{aligned}$$

Sistema de calculo de doble integración numérica

7 secciones

Analisis en crucero

Valor de la cuerda

7.41 mts.

Reacción izquierda 12.19 Ton-m

valor de la cuerda dividida en 7 partes

1.0586 mts.

H= mom max/Flecha 1.93 ton.

Peso estimado

1.51 Ton.

Flecha

8.09 mts.

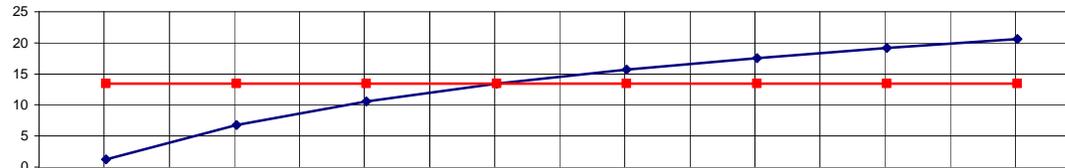
Analisis de la carga por m³ de bóveda

Relleno	1000	kg
Tejamanil de enebro	30	kg
Losa de concreto	240	kg
carga viva	150	kg
enadrillado	90	kg
Total de m³ de bóveda	1510	kg

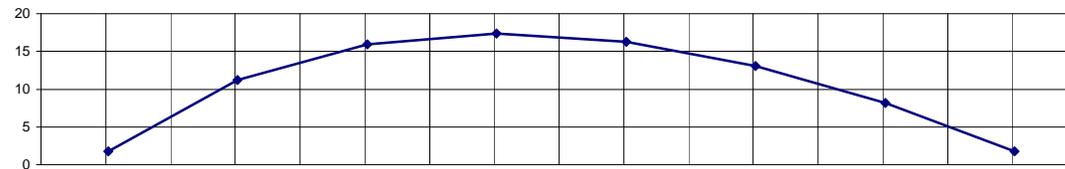


AREAS	
VOLUMEN	
PESO	
INT.	

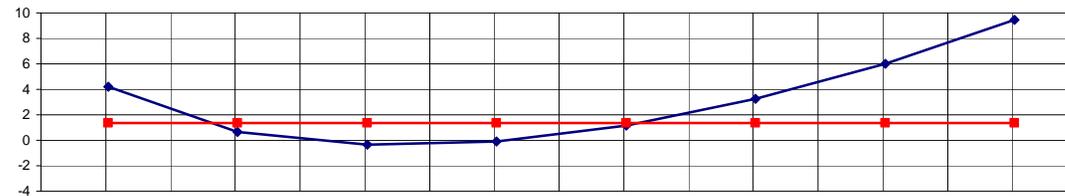
	1	2	3	4	5	6	7
AREAS	5.50	3.86	2.84	2.23	1.84	1.61	1.50
VOLUMEN	5.50	9.36	12.20	14.43	16.27	17.88	19.38
PESO							
INT.							



MOMENTO	5.5	14.86	21.56	26.63	30.70	34.15	37.26
INT. MOM	2.75	7.43	10.78	13.315	15.35	17.075	18.63
INT. RI	0	2.75	10.18	20.96	34.275	49.625	66.7
		12.19	24.38	36.57	48.76	60.95	73.14
MOM. FLEX.	0	9.44	14.2	15.61	14.485	11.325	6.44
							0



Y del arco	3	4.20	5.68	6.65	7.31	7.75	8.01	8.09
y del mom-	0	4.89	7.36	8.09	7.51	5.87	3.34	0.00
excentricidad	3	-0.69	-1.68	-1.44	-0.20	1.88	4.67	8.09



Clave 129 cm Bóveda de concreto y relleno con peso de 1510 Kg/ m³

FORMULA DE NAVIER

$$\text{ESFUERZO} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA DE LA SECCION}} + \frac{\text{MOMENTO}}{\text{MODULO DE SECCION}}$$

$$\begin{aligned} \text{ESFUERZO} &= \frac{19380.00 \text{ kg}}{12900 \text{ cm}^2} + \frac{15610.00 \text{ kg-cm}}{277350.00 \text{ cm}^2} \\ &= 1.50 \text{ kg/cm}^2 + 0.06 \text{ kg-cm} = 1.56 \text{ cm} \\ &= 1.50 \text{ kg/cm}^2 - 0.06 \text{ kg-cm} = 1.45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{MOMENTO DEL ARCO} = H \times EX = 1929.54 \times 8.09 = 15610.00$$

$$\begin{aligned} \text{MODULO DE SECCION} &= \frac{b \times h^2}{6} \\ &= \frac{100 \times 16641}{6} = 277350 \end{aligned}$$

Sistema de calculo de doble integración numérica

7 secciones

Analisis en crucero

Valor de la cuerda

7.41 mts.

Reacción izquierda 19.869 Ton-m

valor de la cuerda dividida en 7 partes

1.0586 mts.

H= mom max/Flecha 3.11 ton.

Peso estimado

2.5 Ton.

Flecha

8.09 mts.

Analisis de la carga por m³ de bóveda
Bóveda de calicanto

Concreción	1800	kg
Cantera	460	kg
carga viva	150	kg
enadrillado	90	kg
Total de m³ de bóveda	2500	kg

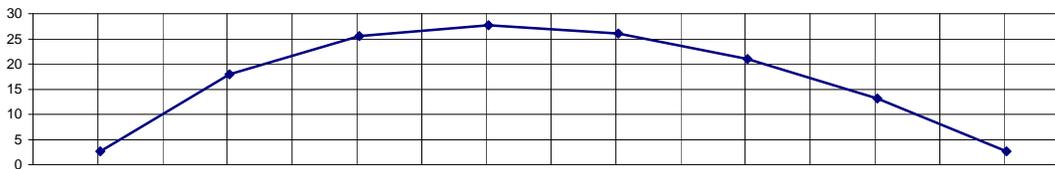


AREAS
VOLUMEN
PESO
INT.

	1	2	3	4	5	6	7
9.12	9.12	6.40	4.17	3.70	3.05	2.68	2.49
0	9.12	15.52	19.69	23.39	26.44	29.12	31.61



MOMENTO	9.12	24.64	35.21	43.08	49.83	55.56	60.73
INT. MOM	4.56	12.32	17.605	21.54	24.915	27.78	30.365
INT. RI	0	4.56	16.88	34.485	56.025	80.94	108.72
		19.869	39.739	59.608	79.477	99.346	119.22
MOM. FLEX.	0	15.309	22.859	25.123	23.452	18.406	10.496
							0



Y del arco	3	4.20	5.68	6.65	7.31	7.75	8.01	8.09
y del mom-	0	4.93	7.36	8.09	7.55	5.93	3.38	0.00
excentricidad	3	-0.73	-1.68	-1.44	-0.24	1.82	4.63	8.09



Clave 129 cm Bóveda de calicanto con peso de 2500 Kg/ m³

FORMULA DE NAVIER

$$\text{ESFUERZO} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA DE LA SECCION}} + \frac{\text{MOMENTO}}{\text{MODULO DE SECCION}}$$

$$\begin{aligned} \text{ESFUERZO} &= \frac{31610.00 \text{ kg}}{12900 \text{ cm}^2} + \frac{25122.86 \text{ kg-cm}}{277350.00 \text{ cm}^2} \\ &= 2.45 \text{ kg/cm}^2 + 0.09 \text{ kg-cm} = 2.54 \text{ cm} \\ &= 2.45 \text{ kg/cm}^2 - 0.09 \text{ kg-cm} = 2.36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MOMENTO DEL ARCO} &= H \times EX = \\ &= 3105.42 \times 8.09 = 25122.86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MODULO DE SECCION} &= \frac{b \times h^2}{6} \\ &= \frac{100 \times 16641}{6} = \\ &= \frac{1664100.00}{6} = 277350 \end{aligned}$$



Vista general de la capilla abierta



Construcción de la tracería



Vista de la bóveda

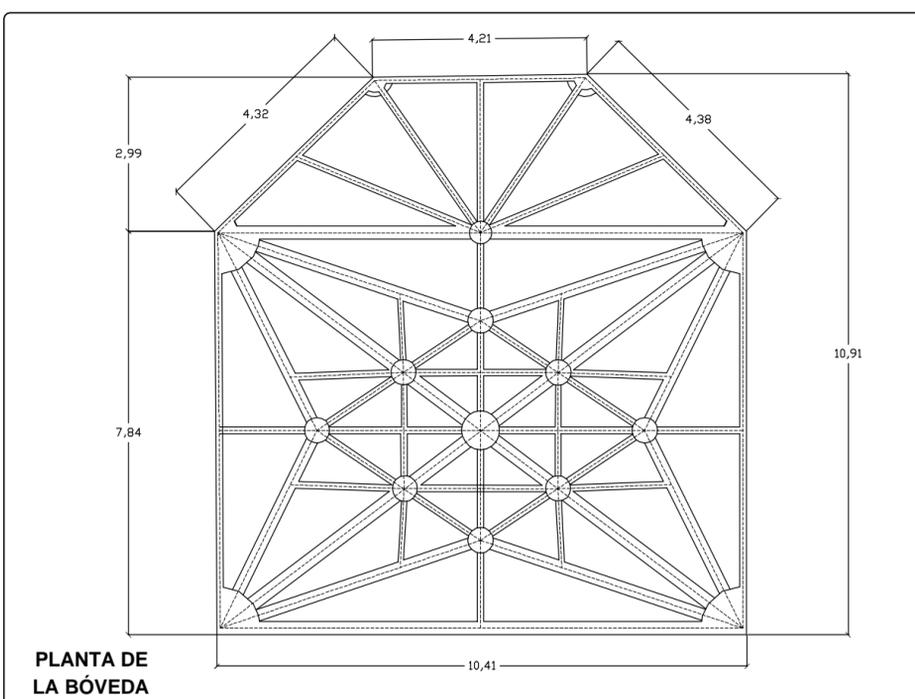


Construcción en calicanto



Construcción con acero y tejamanil





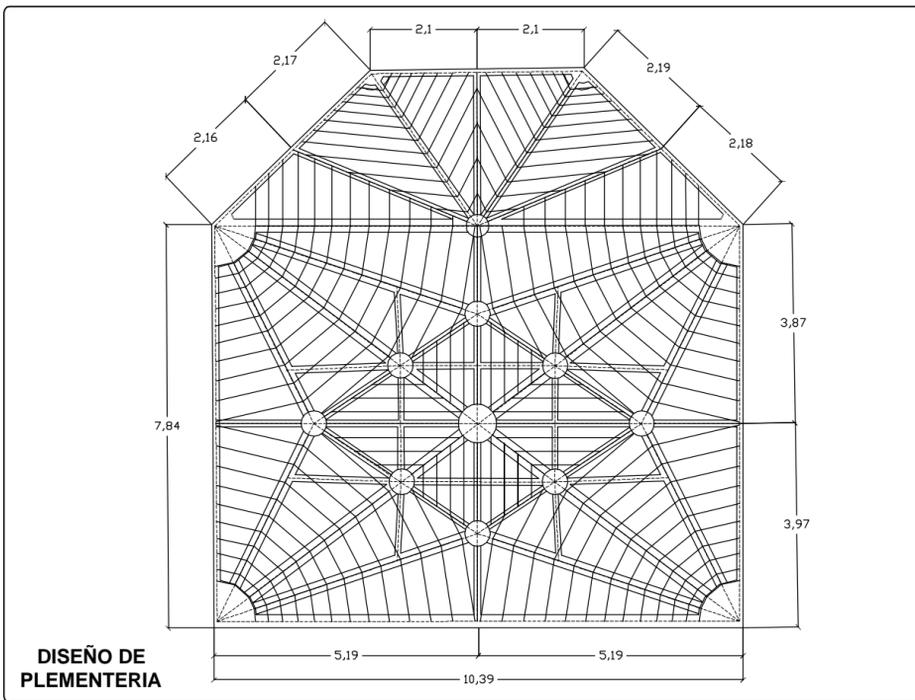
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E1



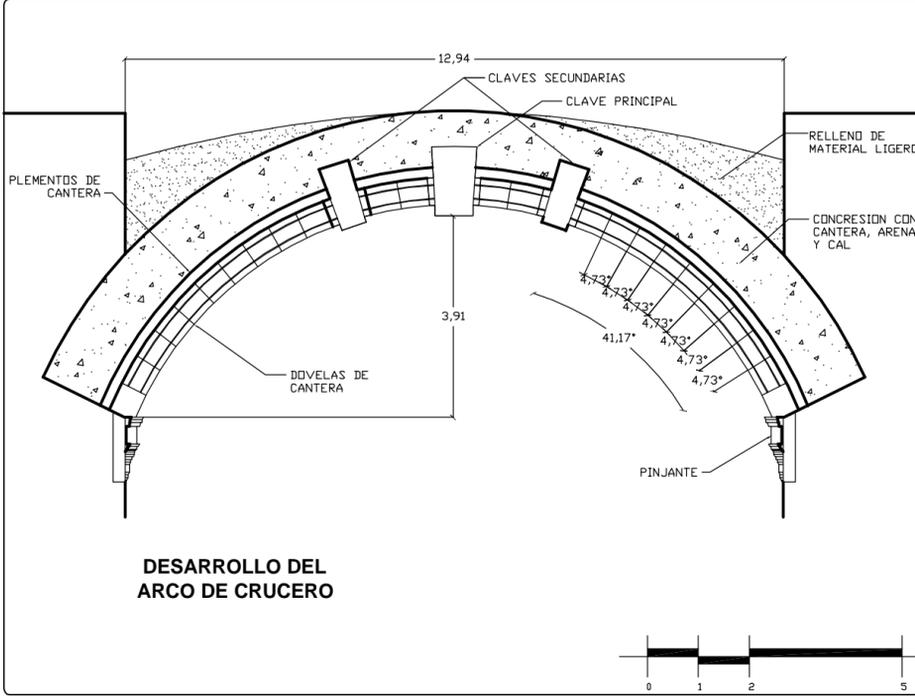
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E2



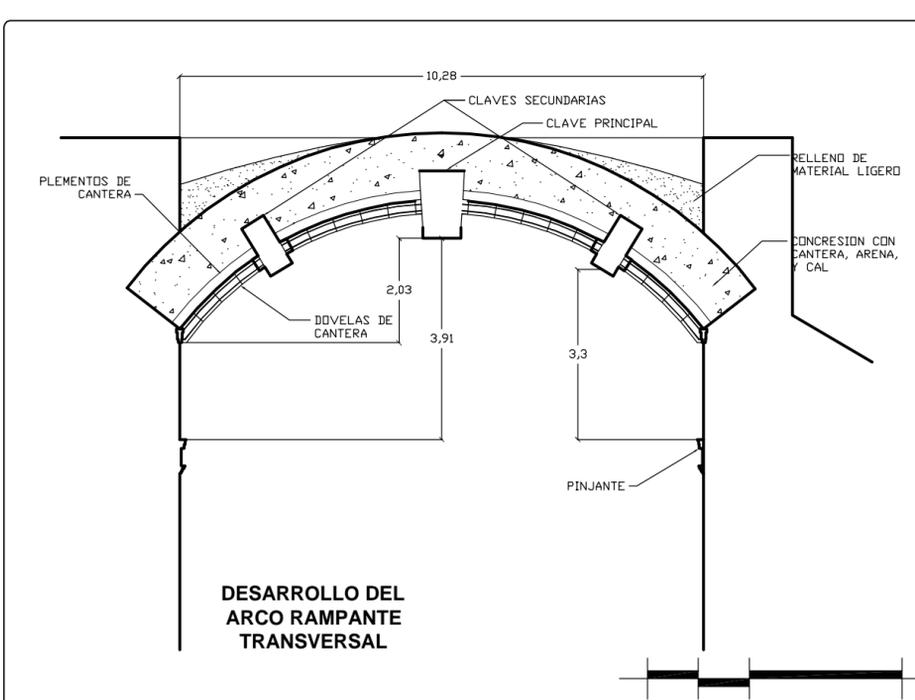
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E3



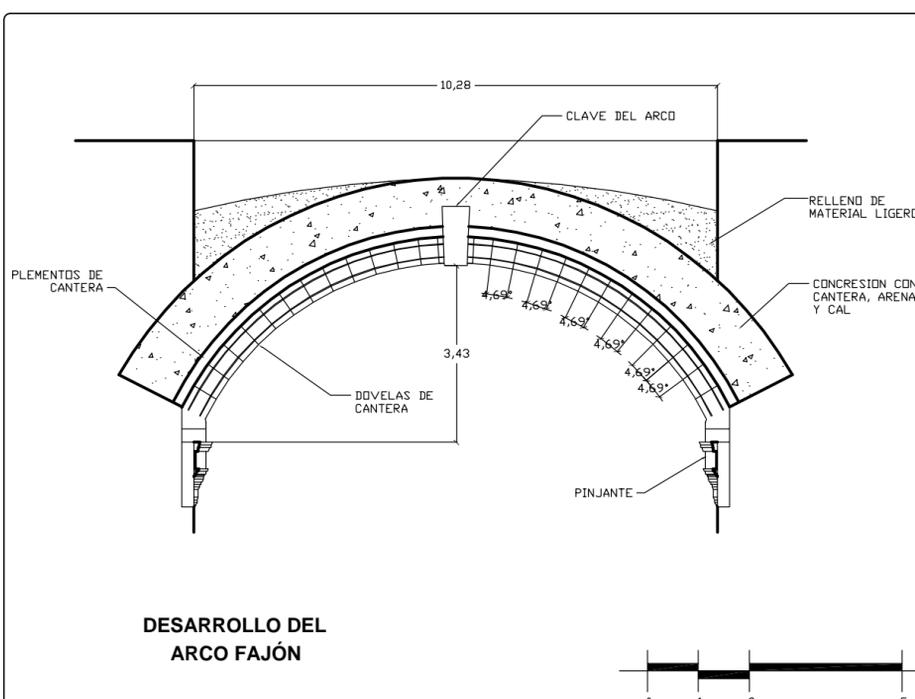
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E4



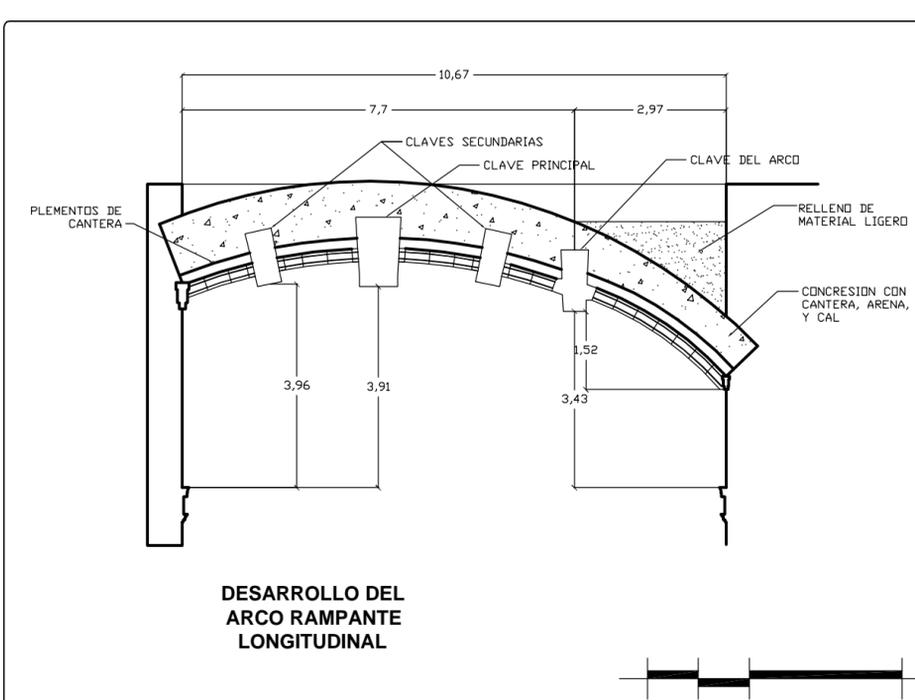
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E5



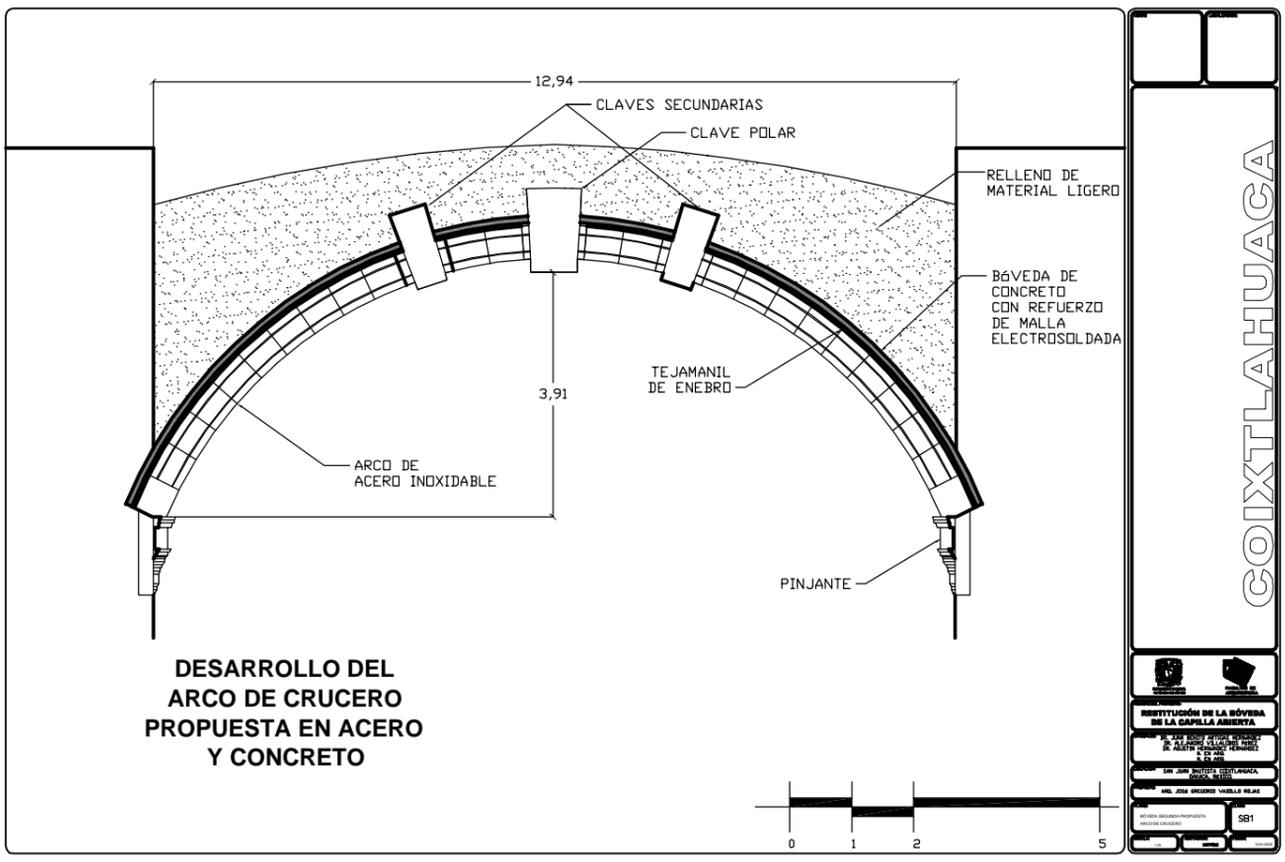
COIXTLAHUAGA

INSTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

PROYECTO DE DISEÑO DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

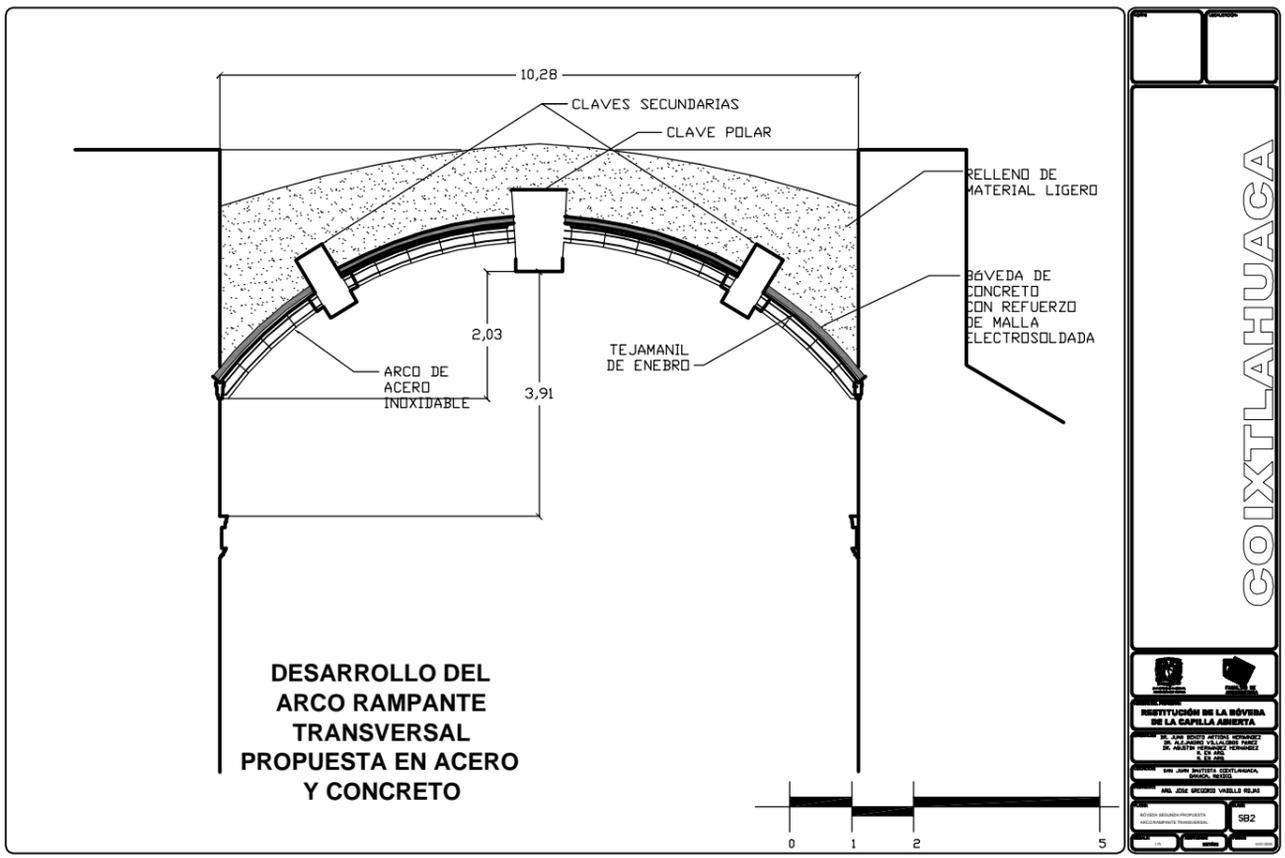
PARA LAS OBRAS VULNERABLES

E6



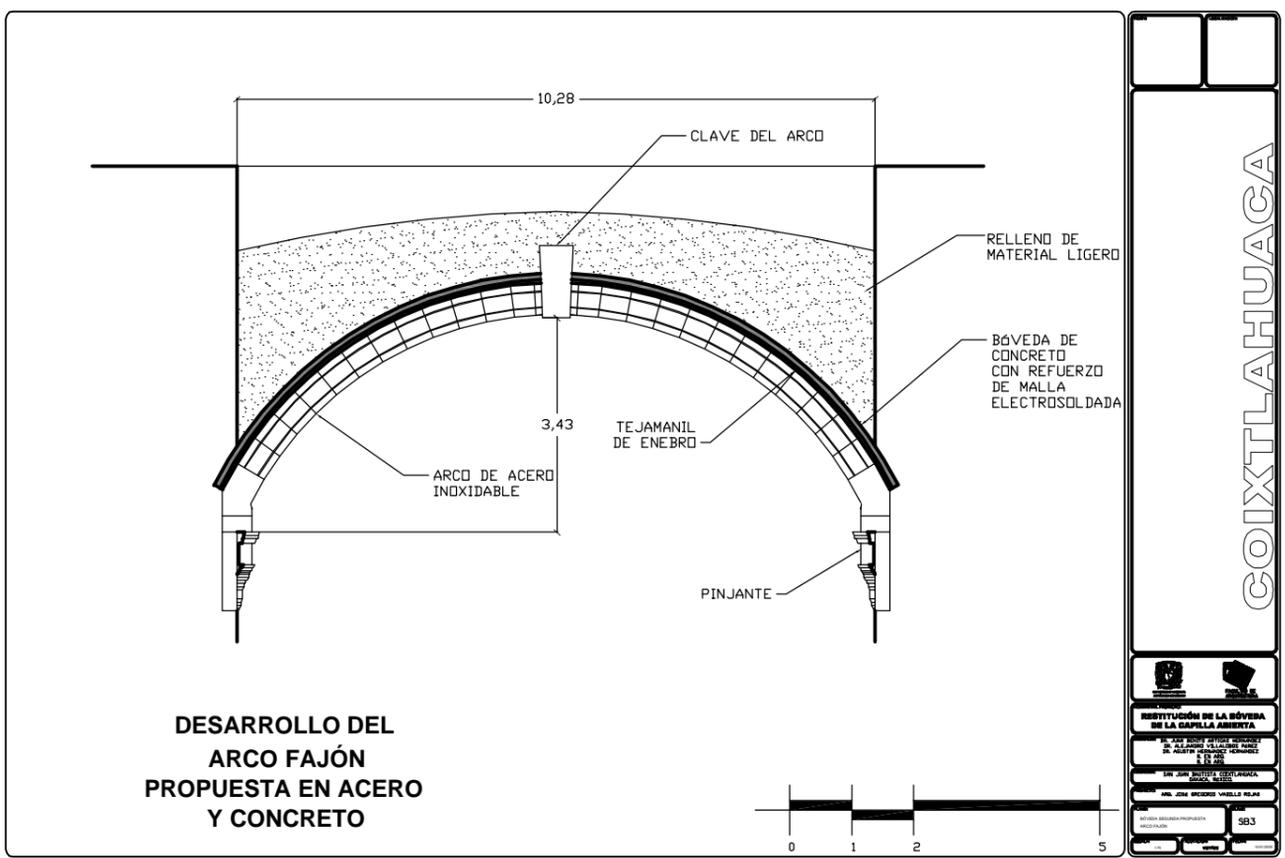
COIXTLAHUAGA

RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA
 DE SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 DE ALFONSO CALDERÓN RAMÍREZ
 Y SU EQUIPO
 EN SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 JUNIO DE 2010
 ANL. JOSÉ GREGORIO VARELA REYES
 MÓDULO DE INVESTIGACIÓN
 ARQUITECTURA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 UNAM



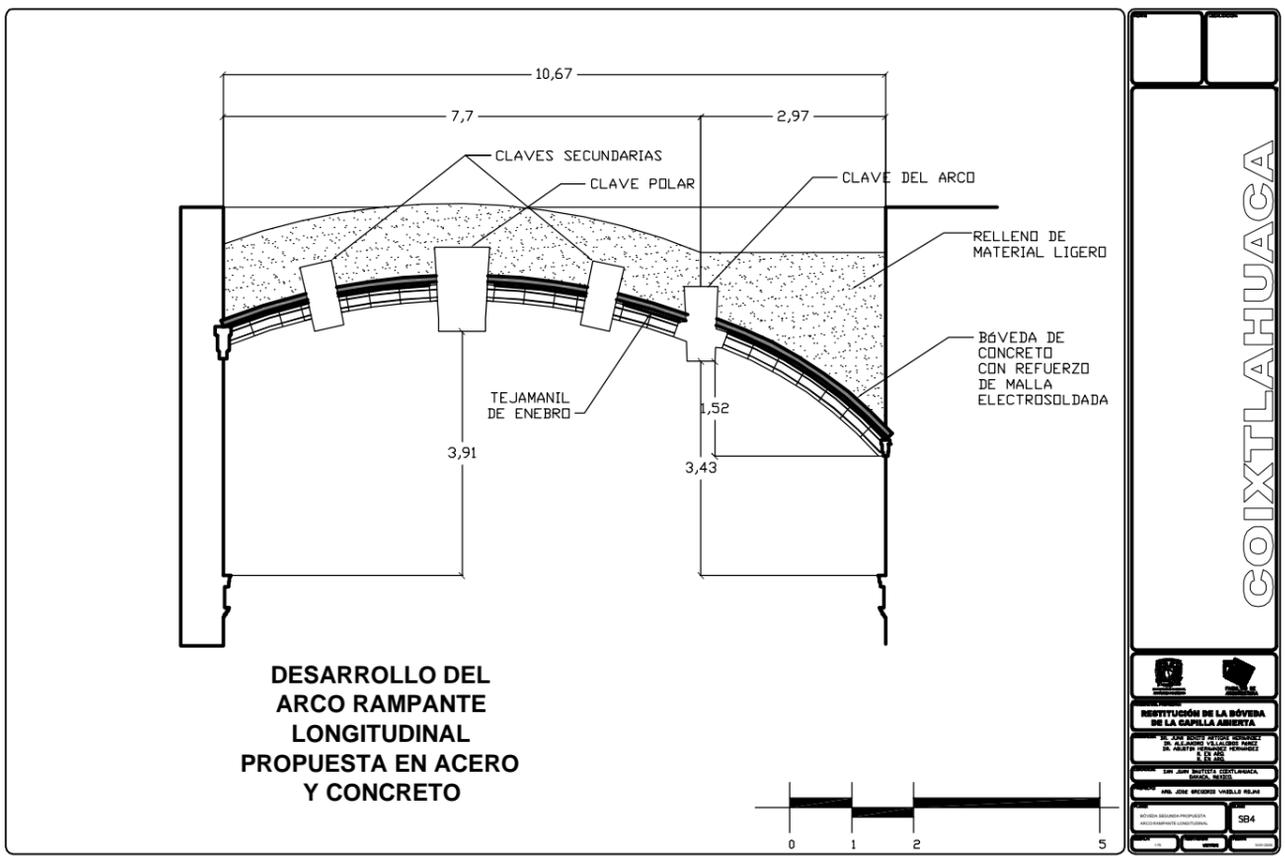
COIXTLAHUAGA

RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA
 DE SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 DE ALFONSO CALDERÓN RAMÍREZ
 Y SU EQUIPO
 EN SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 JUNIO DE 2010
 ANL. JOSÉ GREGORIO VARELA REYES
 MÓDULO DE INVESTIGACIÓN
 ARQUITECTURA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 UNAM



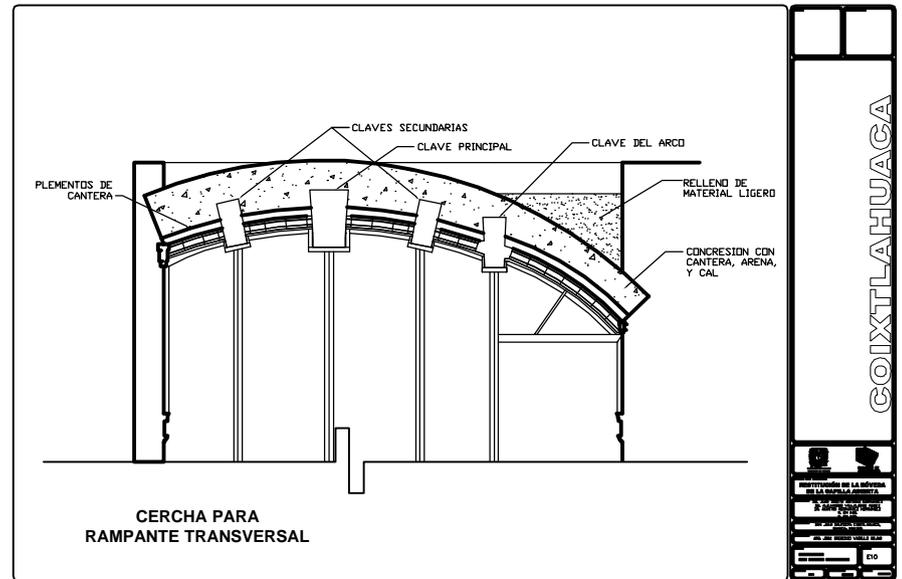
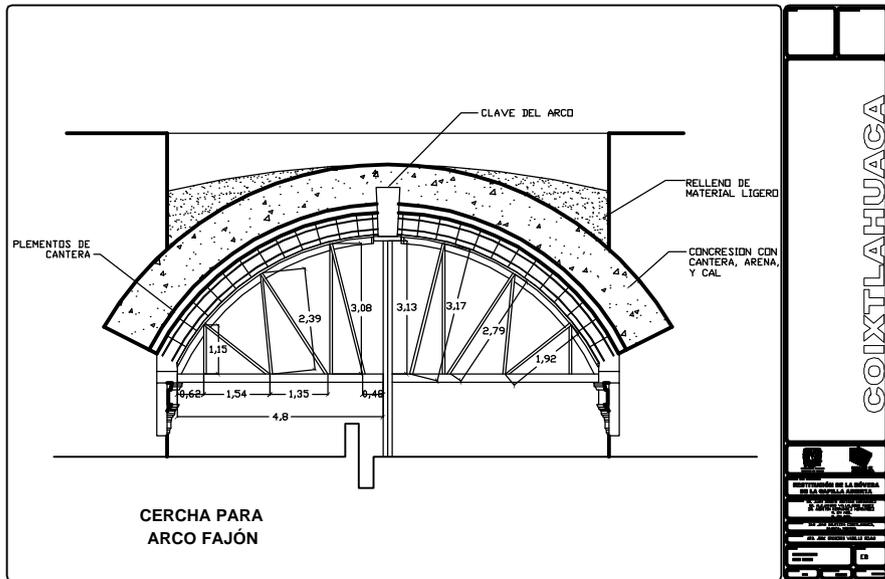
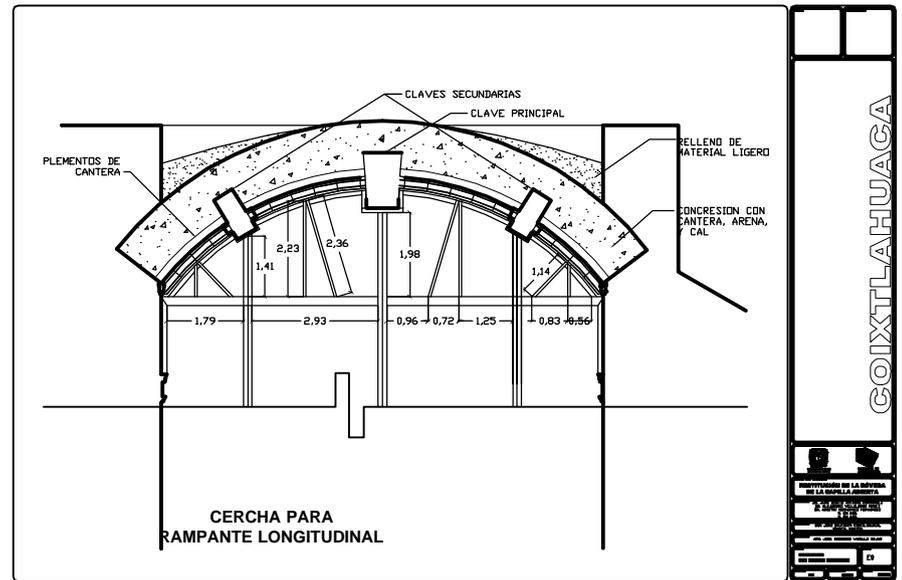
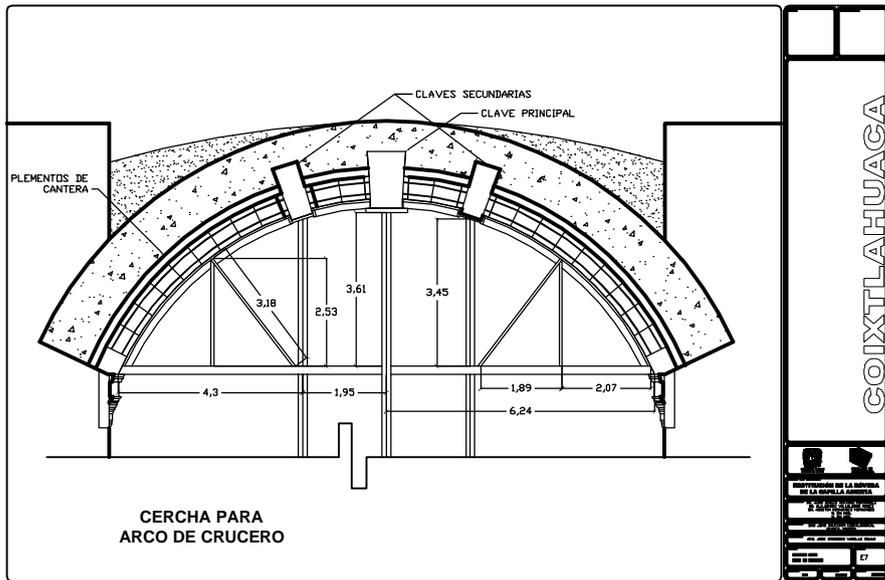
COIXTLAHUAGA

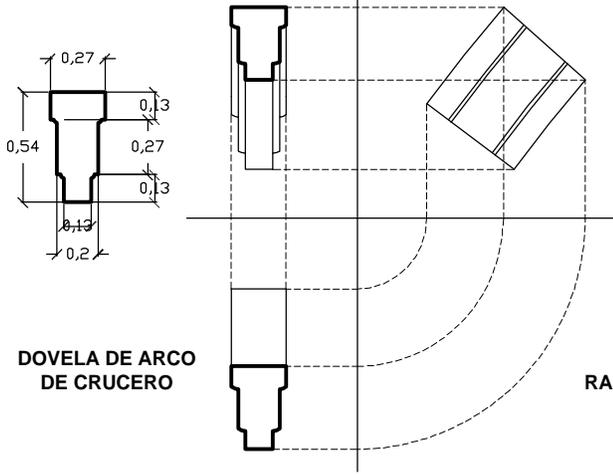
RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA
 DE SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 DE ALFONSO CALDERÓN RAMÍREZ
 Y SU EQUIPO
 EN SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 JUNIO DE 2010
 ANL. JOSÉ GREGORIO VARELA REYES
 MÓDULO DE INVESTIGACIÓN
 ARQUITECTURA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 UNAM



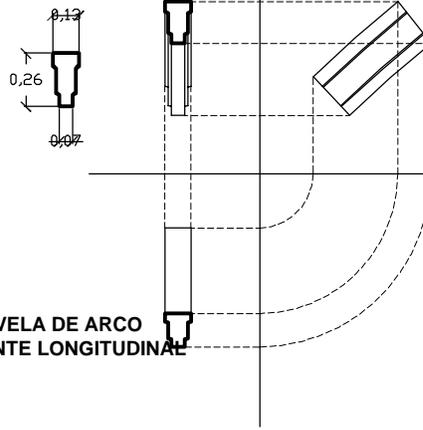
COIXTLAHUAGA

RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA
 DE SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 DE ALFONSO CALDERÓN RAMÍREZ
 Y SU EQUIPO
 EN SAN JUAN BOUTTE COIXTLAHUAGA
 JUNIO DE 2010
 ANL. JOSÉ GREGORIO VARELA REYES
 MÓDULO DE INVESTIGACIÓN
 ARQUITECTURA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 UNAM

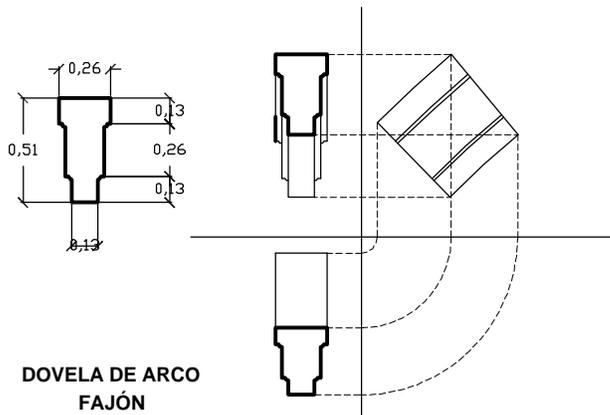




DOVELA DE ARCO DE CRUCERO



DOVELA DE ARCO RAMPANTE LONGITUDINAL



DOVELA DE ARCO FAJÓN

COIXTLAHUACA

PROYECTO

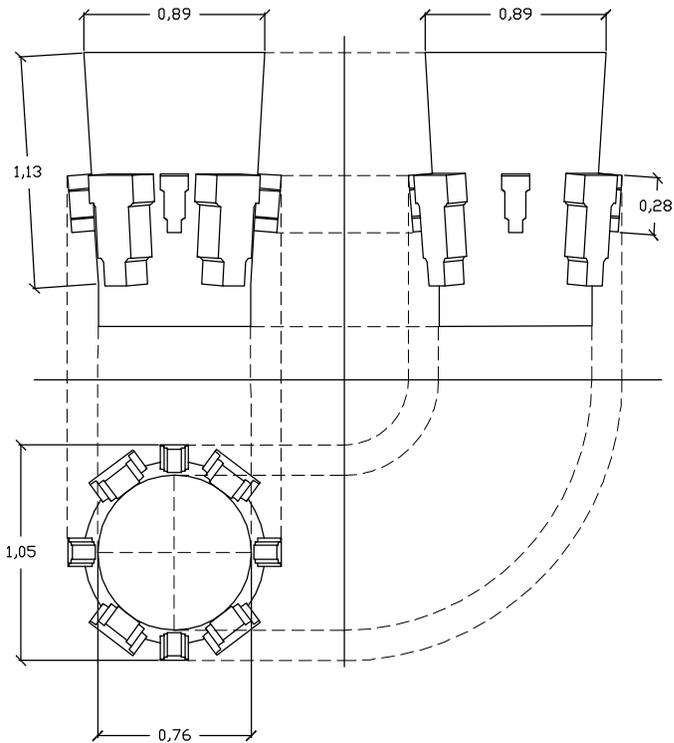
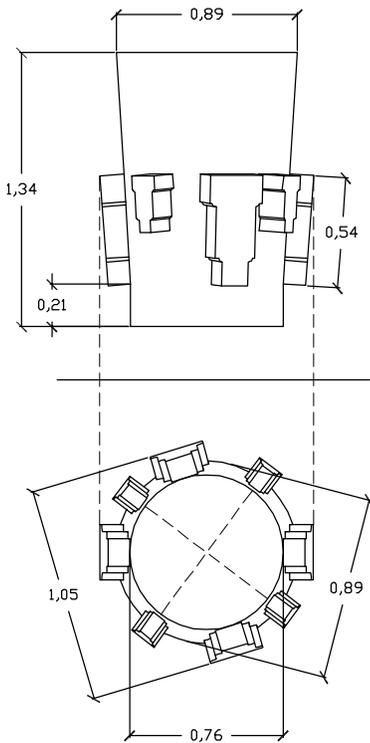
RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

DR. JOSE BUSTOS RAMÍREZ
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA

SAN JUAN BUSTITOS, COIXTLAHUACA, OAXACA, MÉXICO

ARQ. JOSE OROZCO VARELA RUIZ

ESTADÍSTICA: OAXACA E11



CLAVE POLAR MONTEAS

COIXTLAHUACA

PROYECTO

RESTITUCIÓN DE LA BÓVEDA DE LA CAPILLA ABIERTA

DR. JOSE BUSTOS RAMÍREZ
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA
DR. ALBERTO VALLADARES PARRA

SAN JUAN BUSTITOS, COIXTLAHUACA, OAXACA, MÉXICO

ARQ. JOSE OROZCO VARELA RUIZ

ESTADÍSTICA: OAXACA E12

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Abad, Concepción y Cortés Arrese, Miguel. ROMÁNICO Y BIZANTINO. Ed. Promo. España 2003.
- 2 Artigas / Ortiz / Medel. VOCABULARIO ARQUITECTÓNICO ILUSTRADO, SAHOP, 1980.
- 3 Artigas Hernández, Juan Benito. ARQUITECTURA A CIELO ABIERTO COMO UN INVARIANTE CONTINENTAL. Grupo editorial TOMO. 2001
- 4 Artigas Hernández, Juan Benito. CAPILLAS ABIERTAS AISLADAS. UNAM. 1992.
- 5 Artigas Hernández, Juan Benito. LA PIEL DE LA ARQUITECTURA. UNAM. México 1979.
- 6 Artigas Hernández, Juan Benito. PUEBLOS, HOSPITALES Y GUATAPERAS DE MICHOACAN. UNAM – Gobierno de Michiacán. México 2001
- 7 Brandi, Cesare. TEORÍA DE LA RESTAURACIÓN. Ed. Alianza, Madrid 1988.
- 8 Chaix, J. TRAITE DE COUPE DES PIERRES, Ed, H. Chaignasse Fils. Paris.
- 9 Chanfón Olmos, Carlos. ESTEREOTOMÍA (MATERIAL DIDACTICO). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida 1990
- 10 Chanfón Olmos, Carlos. TEMAS ESCOGIDOS DE ARQUITECTURA DEL SIGLO XVI. Ed. UNAM. 1994.
- 11 Choisy, Aguste. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA (PARTE GRÁFICA).Ed. Victor Leru. Buenos Aires 1978.
- 12 Chueca Goitia, Fernando. INVARIANTES CASTIZOS DE LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA. Dossat. Madrid, 1947
- 13 Coppola D'anna Pignatelli, EL ANÁLISIS Y EL DISEÑO DEL ESPACIO, Concepto, 1980
- 14 Córdova Tello, Mario. EL CONVENTO DE SAN MIGUEL DE HUEJOTZINGO, PUEBLA ARQUEOLOGÍA HISTÓRICA. INAH Serie Arqueología, México 1992.

- 15 Creixell, José. ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES. Reverté. México 1994.
- 16 de la Encina, Juan. EL ESPACIO. UNAM, 1978.
- 17 ENCICLOPEDIA ENCARTA 2001, microsoft.
- 18 Fratelli Fabbri. EL ARTE GÓTICO. Editorial Macchi. Bs.As., 1974
- 19 García, Simón. COMPENDIO DE ARQUITECTURA Y SIMETRIA DE LOS TEMPLOS. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid. Valladolid, España 1991.
- 20 García, Virginia / Suárez, Gerardo. LOS SISMOS EN LA HISTORIA DE MÉXICO. Ediciones científicas universitarias. México 1996.
- 21 Gendrop, Paul / Heyden Doris. ARQUITECTURA MESOAMERICANA. Aguilar, Madrid 1975.
- 22 Gerard, Peter. GEOGRAFÍA HISTÓRICA DE LA NUEVA ESPAÑA. UNAM. México 1986.
- 23 Ghyka, Matila C.: ESTÉTICA DE LAS PROPORCIONES EN LA NATURALEZA Y EN LAS ARTES. Buenos Aires, Editorial Poseidón, 1973.
- 24 GLOSARIO DE TERMINOS ARQUITECTÓNICOS. Secretaría del patrimonio nacional. México 1971.
- 25 Gómez Martínez, Javier. EL GÓTICO ESPAÑOL DE LA EDAD MODERNA, BÓVEDAS DE CRUCERIA. Universidad de Valladolid. 1998.
- 26 Grodecki, Louis. ARQUITECTURA GÓTICA. Ed. Aguilar / Sauri, 1989.
- 27 György Doczi. EL PODER DE LOS LÍMITES. Ed. Troquel. Buenos Aires, 1996.
- 28 Hartt, Frederick. ARTE: HISTORIA DE LA PINTURA, ESCULTURA Y ARQUITECTURA. EDITORIAL. AKAL. Madrid, 1985.
- 29 HISTORIOGRAFÍA IBEROAMERICANA. ARTE Y ARQUITECTURA (XVI-XVIII). Fundación Carolina y CEDODAL. España. 2005
- 30 Hofstaller, Hans. ARQUITECTURA UNIVERSAL: GÓTICO. Ediciones Garriga. Barcelona, 1971
- 31 Hong, John. ARQUITECTURA ISLAMICA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.

- 32 Kubach, Hans Eric. ARQUITECTURA ROMANICA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 33 Kubach, Hans Eric. ARQUITECTURA ROMANICA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 34 Kubler, George. LA ARQUITECTURA NOVOHISPANA DEL SIGLO XVI. Biblioteca de cooperación universitaria. México 1975.
- 35 Kubler, George , ARQUITECTURA MÉXICANA DEL SIGLO XVI. Fondo de Cultura Económico. 1983.
- 36 Lloyd, Seton / Müller, Hans. ARQUITECTURA DE LOS ORÍGENES. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 37 Macaulay, David. CATHEDRAL. THE STORY OF IT CONSTRUCTION. Houghton Mifflin Books, Boston, 1973.
- 38 Mango, Cyril. ARQUITECTURA BIZANTINA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 39 Marquina, Ignacio. ARQUITECTURA PREHISPÁNICA. INAH. México facsímil 2ª edición 1990.
- 40 Martin, Roland, ARQUITECTURA GRIEGA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 41 Martinez De Aranda, Gines. CERRAMIENTOS Y TRAZOS DE MONTEA. Comision de estudios historicos de obras publicas y urbanismo, Madrid 1986.
- 42 McAndrew, John. THE OPEN AIR CHURCHES OF SIXTEEN CENTURY MÉXICO. Harvard university press. 1965.
- 43 Moro, Tomas. UTOPIA. EDIMAT. Madrid 1999.
- 44 Murray, Peter. ARQUITECTURA DEL RENACIMIENTO. Ed. Aguilar, Madrid 1989.
- 45 Ortiz Lajous, Jaime, TESOROS DE LA ALTA MIXTECA, Grupo Azabache, México 1991.
- 46 Prado Núñez, Ricardo. PROCEDIMIENTOS DE RESTAURACIÓN Y MATERIALES. Trillas. México 2000.
- 47 Quintero Pablo. BÓVEDAS SOBRE PLANTA CUADRANGULAR. UAM. Xochimilco 1986.

- 48 Roth, Leland m. ENTENDER LA ARQUITECTURA. ED. GUSTAVO GILI. BARCELONA 1999.
- 49 Russo, Cristóbal. LESIONES DE LOS EDIFICIOS. Salvat. Barcelona 1934.
- 50 San Miguel, Fray Andres De. OBRAS DE FRAY ANDRES DE SAN MIGUEL INTRODUCCION, NOTAS Y VERSION PALEOGRAFICA DE EDUARDO BAEZ MACIAS. México : UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas, 1969.
- 51 Sartor, Mario. ARQUITECTURA Y URBANISMO EN LA NUEVA ESPAÑA EN EL SIGLO XVI. Ed. Azabache. Italia 1992.
- 52 Toussaint, Manuel. PASEOS COLONIALES. Ed. Porrúa. 1983.
- 53 Vadillo rojas, José G. PLAN MAESTRO BÁSICO Y MUSEO COMUNITARIO PARA EL POBLADO DE SAN JUAN BAUTISTA COIXTLAHUACA. Tesis de licenciatura. FA-UNAM. México 2001
- 54 Vandelvira, Alonso. TRATADO DE ARQUITECTURA. Caja de ahorro provincial de Albacete. Albacete 1977.
- 55 Velarde, Héctor. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA. Fondo de Cultura Económica. México 1963.
- 56 Vences Vidal, Magdalena. EVANGELIZACIÓN Y ARQUITECTURA DOMINICANA EN COIXTLAHUACA. Monumenta histórica iberoamericana de la orden de los predicadores volumen XVIII. Salamanca España. Editorial San Esteban, 2000.
- 57 Vigñola. TRATADO PRÁCTICO ELEMENTAL DE ARQUITECTURA. Garnier Hermanos. Paris 1891.
- 58 Villalobos Pérez, Alejandro. CONSIDERACIONES SOBRE UN PLANO RECONSTRUCTIVO DEL RECINTO SAGRADO DE MÉXICO – TENOCHTITLAN. Cuadernos de arquitectura Mesoamericana numero 4. UNAM. 1985.
- 59 Villalobos Pérez, Alejandro. LA FALSEDAD DEL FALSO ARCO MAYA. Revista Bitácora 5. UNAM. 1997.
- 60 Ward Perkins, John B. ARQUITECTURA ROMANA. Ed. Aguilar, Madrid 1989.

Paginas de internet y enciclopedias digitales:

Enciclopedia Encarta 2001, microsoft.

<http://cazermint.com/html/Estetica/Filosofia/ProporcionAurea.htm>

<http://members.fortunecity.com/teoria1/AUREA.htm>

<http://www.arcalucis3.netfirms.com/FL1645.htm>

<http://www.avilavirtual.com/iglesyconv/paginas/mosenrubi.htm>

<http://www.cnice.mecd.es/eos/MaterialesEducativos/bachillerato/arte/arte/pintura/aurea2.htm>

<http://www.galeon.com/nueva-org/blogger/leda-atmica.pdf>

http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Thinktank/4492/noticias/la_proporcion_aurea.htm

<http://www.monografias.com/trabajos13/trabarte/trabarte.shtml>

http://www.us.es/gta114/ma_cobrerros/cap05.htm