

Bóvedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas. Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII*

Cecilia López Pérez

Daniel Ruiz Valencia

1. Antecedentes

Para afianzar el proceso de dominio de los territorios conquistados en Colombia, los españoles fundaron poblaciones que les permitieron consolidar su autoridad entre la población sometida y sus áreas de asentamiento. Es así como al llegar los ibéricos, a la actual zona andina, encontraron cerca de 300 caseríos de indígenas muiscas, (Corradine, 1989), los cuales fueron reagrupados en nuevos grupos urbanos a la manera y tradición española. Mientras los conquistadores tomaban posesión de las tierras fundando poblaciones y estableciendo haciendas, los religiosos se ocupaban de adoctrinar a los indígenas en la nueva fe.

A nivel social, la iglesia al igual que en las ciudades europeas propiciaron el nacimiento de formas eficientes de organización social y de participación en torno a lo sagrado, que se vio reflejado en la construcción de setenta mil templos (Gil Tovar, 1976) en los tres siglos que duro la colonia. A su alrededor se generaron otros usos complementarios a la actividad religiosa como colegios, conventos, seminarios, hospicios y hospitales. Dando origen a poblaciones y desarrollos urbanos (Salcedo Salcedo, 1983).

Durante este periodo, los servicios que actualmente ofrece el estado, fueron prestados por las comunidades religiosas a través de sus misioneros, frailes y monjas dedicadas a la educación así como el cuidado de enfermos, ancianos y niños. Durante la colonia la iglesia cumplió la función de ente aglutinador de la comunidad, punto de referencia y encuentro en la vida cotidiana de la época.

Los núcleos urbanos estaban formados por el templo, la casa cural, las capillas posas y el rollo (Arango S, 1990), la plaza o atrio a cuyo alrededor se edificaban las construcciones de encomenderos, capitanes y caciques de cada región. Estas poblaciones poseían disposiciones, ordenanzas y contratos que determinaban su ubicación y características tanto espaciales como formales.

La iglesia era el eje material y formativo del poblado y servía como base para el desarrollo de la traza urbana. Con el transcurso del tiempo la espacialidad de las iglesias se fue especializando en cinco grandes grupos (Mendoza, s.f y Corradine, 1989):

1. Capillas y ermitas: aquellas de pequeñas proporciones y una sola nave
2. Iglesias para conventos de órdenes religiosas femeninas: construcciones sencillas, formadas por una sola nave, ricamente decoradas en su parte interna.

* Cómo citar este artículo: López, P., C. y Ruiz, V., D. (2010). Bóvedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas. Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII. En: *Apuntes* 23 (1): 70-83.



*Bóveda de la iglesia de
San Juan de Dios.*
Fotografía:
Cecilia López.

Bóvedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas. Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII

Wood vaults and bahareque in of Bogota colonial churches. Study of four churches of century XVII

Abóbadas de madeira e bahareque dentro de templos do colonial de Bogotá. Estudo de quatro igrejas do século XVII

Cecilia López Pérez

lopez.c@javeriana.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana

Arquitecta restauradora, (PUJ 2000) Docente del Departamento de Arquitectura, Investigadora principal del grupo GRIME —Grupo de investigación y materiales— de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá.

Daniel Ruiz Valencia

daniel.ruiz@javeriana.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana

Ingeniero civil y M.Sc. Jefe del laboratorio de pruebas y ensayos. Profesor asociado e investigador del grupo de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana- Bogotá.

Resumen

Las primeras iglesias que los españoles construyeron en Colombia tenían una cubierta en estructura triangular —denominada “par y nudillo”— elaborada con madera. Sobre esta estructura se colocaba un entramado en cañas unidas con cuero o con fibra vegetal, y sobre este encañado se colocaba una capa de barro con cubierta en paja o teja de barro.

Posteriormente, las bóvedas aparecieron como sistema estructural interno de la zona central de las iglesias. Las bóvedas se elaboraron inicialmente en materiales pesados, como piedra o ladrillo, y en consecuencia colapsaron durante los terremotos, siendo reemplazadas por bóvedas construidas en madera o “bahareque”. Las bóvedas hechas con estos materiales se popularizaron en varios países de Suramérica, ya que por su flexibilidad y bajo peso han resistido mejor los sismos.

En Colombia, durante el periodo colonial se construyeron varias de estas bóvedas en iglesias del centro histórico de Bogotá. En el presente artículo se presentaran los resultados encontrados en la investigación desarrollada por el Grupo de Investigación en materiales y estructuras (GRIME) de la Pontificia Universidad Javeriana sobre cuatro iglesias —construidas entre 1610 y 1654—: La Candelaria, San Juan de Dios, Santa Clara y San Ignacio. La investigación buscó establecer los elementos que las conforman, materiales, uniones y técnicas constructivas.

Palabras claves: bóvedas en madera, historia, comportamiento estructural.

Descriptores: Arquitectura religiosa-Bogotá (Colombia)-Siglo XVII, Bóvedas.

Abstract

The first churches that the Spaniards builded in Colombia had a cover in triangular structure —denominated “par y nudillo”— made with wood. Over this structure a cane framework was placed and fixed with leather or vegetal fiber and on this a mud layer cover with straw or mud roofing tile.

Later the vaults appeared like internal structural system of the central zone of the churches. The vaults initially were made in heavy materials as stone or brick and as a result of this collapsed during the earthquakes, being replaced by vaults constructed in wood or “bahareque”. The vaults done with these materials became popular in several countries of South America since by their flexibility these vaults have resisted better the earthquakes.

In Colombia, during the colonial period were built several of these vaults in churches of the historical center of Bogota. This article presents the results found in research by the group GRIME —Research Group in materials and structures-PUJ— on four churches —built between 1610 and 1654—: La Candelaria, San Juan de Dios, Santa Clara and San Ignacio. This study sought to identify the elements that shape, materials, connections and construction techniques.

Keywords: Wood Vaults, History, Structural Behavior.

Key Words Plus: Church architecture-Bogotá (Colombia)-17th century, Vaults (Architecture).

Resumo

As primeiras igrejas que os espanhóis construíram na Colômbia tinham uma cobertura de estrutura triangular —chamada “par e nó”— feita com madeira. Sobre esta estrutura colocava-se um emadeiramento de canas unidas com couro ou fibra vegetal, e sobre este encaçamento uma camada de argila com cobertura de palha ou de telha dura de argila.

Depois, as abóbadas apareceram como sistema estrutural interno da zona central das igrejas. As abóbadas elaboraram-se inicialmente em materiais pesados como a pedra ou o tijolo, e em conseqüência colapsaram durante os terremotos, sendo substituídas pelas abóbadas construídas em madeira ou “bahareque”. As abóbadas feitas com estes materiais tornaram-se populares em diversos países de América do Sul, devido a que por sua flexibilidade e baixo peso estas abóbadas tem resistido melhor os terremotos.

Na Colômbia, durante o período colonial foram construídas diversas destas abóbadas em igrejas do centro histórico de Bogotá. Este artigo apresenta os resultados encontrados na pesquisa desenvolvida pelo “Grupo de Investigación en materiales y estructuras (grime) de la Pontificia Universidad Javeriana” (Grupo de investigação em materiais e estruturas da PUJ) em quatro igrejas —construídas entre 1610 e 1654—: La Candelaria, San Juan de Dios, Santa Clara e San Ignacio. Este estudo procurou identificar os elementos que as formam, materiais, conexões e técnicas de construção.

Palavras chave abóbadas em madeira, história, comportamento estrutural.

Palabras chave descriptor: A arquitetura religiosa, Bogotá, Colombia, Siglo XVII, Architecture Vaults.

El artículo se elabora a partir de la investigación desarrollada en el año 2008 cuyo objetivo era Realizar un análisis del sistema estructural de las bóvedas de las cuatro iglesias seleccionadas, identificando las características, propiedades, y formas de empleo en construcciones patrimoniales, a través de dos métodos: analítico y experimental.

Recepción: 10 de marzo de 2010

Aceptación: 28 de abril de 2010

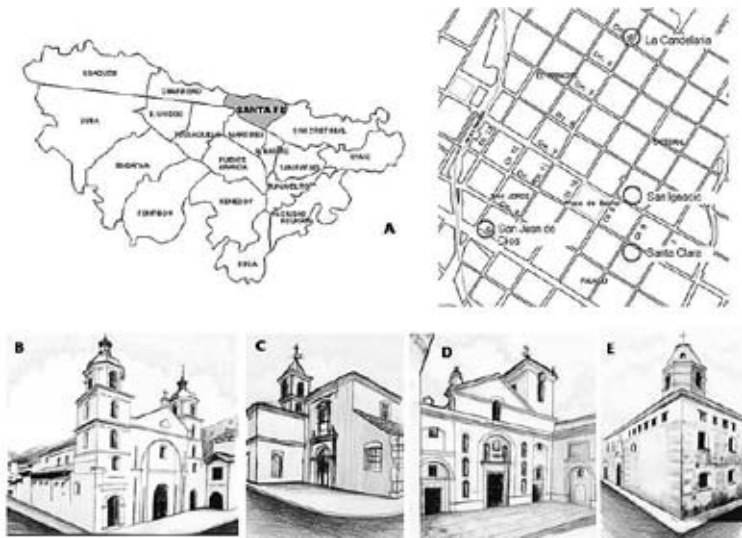
* Los descriptores y key words plus están normalizados por la Biblioteca General de la Pontificia Universidad Javeriana.

3. Iglesias para conventos de órdenes religiosas masculinas: las características de estas edificaciones estaba muy relacionada a la orden religiosa a la que perteneciera, siendo las más sencillas la de la orden de los franciscanos. Los dominicos y jesuitas construyeron edificaciones de una o tres naves.
4. Templos doctrineros: edificados por los evangelizadores, generalmente de una nave como un espacio largo, cubierto con una estructura en madera de par y nudillo.
5. Catedrales: desarrolladas y diseñadas con mayor monumentalidad tanto por su tamaño, sus formas constructivas y su estética.

2. Cuatro iglesias bogotanas del siglo XVII

En el centro histórico de Bogotá se encuentran varias iglesias clasificadas en los grupos mencionados, sin embargo, en el presente artículo se trabajará sólo con cuatro iglesias que poseen en su interior bóvedas y que corresponden a los grupos 2 y 3: La Candelaria, San Juan de Dios, Santa Clara y San Ignacio. Son construcciones desarrolladas entre 1610 y 1654. Originalmente, la iglesia de la Candelaria (Ojeda M., 2001) pertenecía a un hospicio de la comunidad de los Agustinos descalzos. La iglesia de San Juan de Dios (Vallin Magaña, 2004) formaba parte del hospital de la comunidad del mismo nombre. Santa Clara (Franco Salamanca, 1987) era parte del convento femenino de las Clarisas y San Ignacio era el templo de la Compañía de Jesús en Bogotá (Rentería Salazar, 2001).

La Iglesia de la Candelaria, se encuentra ubicada en la calle 11 con carrera 3. Tuvo su origen como iglesia parroquial, integrada al claustro o convento de los Agustinos Recoletos, donde hoy funciona el Colegio Agustiniense de San Nicolás (Corporación La Candelaria, 2005). Espacialmente está formada por una nave central y dos laterales. La fachada es simétrica flanqueada por dos torres, la puerta de acceso está formada por un portal enmarcado en doble columna a cada lado que sirve de soporte al frontón conformando un volumen vertical, las torres poseen cuatro cuerpos horizontales divididos por cornisas, el remate de las torres tienen forma de cúpula y allí se encuentran las campanas.



La iglesia de San Juan de Dios, se encuentra localizada en la actual calle 12 con carrera 9, es una iglesia de tres naves, con arcos de medio punto por los cuales se llega a las capillas laterales y comunicadas entre sí (Escovar Alberto, 2004). La iglesia original tuvo una torre que fue destruida en el terremoto de 1743. En el incendio de 1967 la estructura de cubierta fue parcialmente destruida perdiéndose adicionalmente el retablo principal y parte de la colección pictórica. De su construcción colonial conserva el coro, el arco toral, el púlpito y el cielo raso falso de madera en forma de bóveda de cañón. Esta es tallada en su intradós, policromada, decorada con motivos circulares y hexagonales con círculos más pequeños en los espacios intermedios. Estos motivos son mudéjares, de diseño de la Escuela de Santa Inés, de acuerdo a lo descrito por Vallin (2004).

La fachada principal, es sencilla con una portada en piedra sobre la cual hay una ventana rectangular, la cual es rematada por un arco de medio punto, posee la torre sobre el costado oriental. La fachada por la carrera, es actualmente una sola pared que estuvo reforzada hasta 1894 por machones que disminuían la amplitud de la calle, por lo cual fueron retirados y reforzado el edificio en su parte inferior.

La iglesia museo de Santa Clara, en su génesis formaba parte del convento de las Clarisas localizado en la actual calle 9 con carrera 8 (Franco Salamanca, 1987). La edificación es de una sola nave con dos puertas de acceso, ubicadas en el muro lateral del costado oriental, como era costumbre en las iglesias pertenecientes a los conventos femeninos.

Figura 1:
Iglesias de análisis:
a. Localización en Bogotá y dentro del Centro Histórico
b. La Candelaria
c. San Juan de Dios
d. San Ignacio
e. Santa Clara
Fuente:
Patricia Lizarazo.

La nave y el presbiterio se cierran con bóvedas encamionadas de medio punto, que arrancan desde una ménsula volada en ambos espacios, siendo más alta la del presbiterio. Su iluminación se da a través de ocho lunetos, apoyados en la cornisa lateral que permiten el ingreso de la luz. El empalme entre el luneto y la bóveda tiene forma de lanza en la nave central y varía con una arista adicional en el presbiterio

El acceso principal, está resaltado por una portada de piedra y ladrillo, con pilastras lisas que sostienen un arco de medio punto. Sobre éste se apoya el frontón partido flanqueado por pináculos y una hornacina donde se encontraba la imagen de Santa Clara, ya desaparecida. En la esquina entre la carrera 8ª y actual calle 9ª se encuentra la espadaña de tres cuerpos con sus campanas de forja.

La iglesia de San Ignacio, se encuentra localizada en la calle 10ª con carrera 6ª. Su espacialidad obedece a las directrices establecidas para la totalidad de las construcciones jesuitas, en la primera congregación general de la Compañía de Jesús en 1558, luego perfeccionadas en la segunda congregación de 1565 (Del Rey Fajardo, 2008).

La nave central está cubierta por una bóveda de cañón con lunetos que iluminan el espacio central, formada por seis secciones apoyadas en siete arcos fajones. En 1691 la iglesia sufre las primeras grietas en la cúpula desplomándose y arrastrando el tramo más cercano de la bóveda (Arbeláez Camacho y López, 1967).

Esta circunstancia llevó a que se reemplazara el tramo de la bóveda faltante en 1694, con un sistema constructivo en madera, distinto al empleado en el resto de la bóveda. Adicionalmente, la cúpula ha sido varias veces reconstruida y ha sufrido diversas intervenciones que han afectado el comportamiento de la bóveda de la nave central. Así mismo, ha producido desprendimientos en los elementos que forman el intradós y deformaciones a nivel estructural.

La fachada presenta una distribución clásica (Rentería Salazar, 2001) diferente a la que hasta la época se empleaba. Es simétrica, con dos torres de la cual sólo se construyó una. Su composición posee elementos horizontales formados por cornisas y perpendiculares a estos por pilares o columnas dobles que forman tres cuerpos. Entre las dos columnas hay tres nichos que no poseen imagen religiosa. Al costado occidental de la fa-

chada se encuentra la torre, donde se encuentran las campanas. En el cuerpo central, se halla una puerta de madera de dos hojas con aldabas y botones en bronce, se remata este cuerpo con un frontón moldurado.

3. Las bóvedas

Tradicionalmente, se entiende por bóveda a la estructura de perfil arqueado que se destina a cubrir espacios comprendidos entre muros o columnas paralelos (Huerta Fernández, 2004). Este elemento constructivo tiene cerca de veinte formas diferentes de desarrollo, sin embargo, la más utilizada en nuestro país es la bóveda de cañón.

La bóveda de cañón es la bóveda de sección semicircular que es generada por la prolongación de un arco de medio punto a lo largo de un eje longitudinal, formando media superficie cilíndrica.

En este tipo de bóvedas, el empuje se dirige hacia los muros que la sostienen, los cuales soportan empujes verticales y laterales. Para contrarrestar estas presiones se aumenta el grosor y peso de los muros; adicionalmente se construyen arcos de refuerzo, llamados arcos fajones que se apoyan en los muros o pilares, reforzados en el exterior con machones o contrafuertes

3.1 Bóvedas de madera

Las bóvedas de cañón en madera son aquellas que mantienen su obra de fábrica arqueada, formando un techo o cubierta en este material (Pérez Calvo, 1979). Los normandos, en el norte de Francia, de acuerdo a los registros históricos, fueron los primeros en desarrollar bóvedas de madera, (Peraza, 2005) su experiencia en la construcción de barcos les permitió trabajar las bóvedas como una quilla invertida. Ejemplos de esta técnica se encuentran en varias iglesias del siglo XII como la Iglesia de Todos los Santos de East Meon (1150), la del priorato de Hampshire (1100), la Abadía de Romsey (1120) y la Iglesia de San Nicolás en Haxey (Lincolnshire).

En el resto de Europa, las primeras referencias se encuentran en 1567, con el tratado Francés de Philibert de L'Orme quien propuso una forma de cubrir espacios con bóvedas y cúpulas a partir de piezas cortas y delgadas de madera traslapadas formando un arco.¹ Estas se unían mediante un espigo que atravesaba las piezas y se sujetaban con clavijas de madera.

¹ Este sistema ya era empleado para la época, en la construcción de barcos. Mediante elementos de madera traslapados, llamados cuaderñas, con los que se formaba la curvatura de las embarcaciones

Sin embargo, para 1600 Sebastiano Serlio en su “Tratado de Arquitectura”, documenta la construcción de bóvedas proponiendo su empleo en pérgolas y cubiertas de dimensiones pequeñas. Sin embargo, a partir del Concilio de Trento —1545-1563— se empezaron a emplear para cubrir las naves en las iglesias.

En España, en el siglo XVII, son cuatro los tratadistas de la carpintería de lo Blanco que establecen la forma de construir las bóvedas: el alarife Diego López de Arenas, el fraile Agustino Andrés de San Miguel y el maestro Rodrigo Álvarez. El primero en su libro de Carpintería de lo Blanco, explica la construcción de una bóveda de cañón y una media naranja en madera (Nuere, 2001), sobre el segundo se sabe que era matemático, geógrafo, hidrógrafo y astrónomo, pero sobresalía como arquitecto el cual desarrolló bóvedas en madera en México en Tochimilco en la región de Puebla y el Templo y ex convento del Carmen en el Distrito Federal. Sobre el tercero, no se tiene referencias sobre el trabajo desarrollado, y el cuarto tratado, es el realizado por Fray Lorenzo de San Nicolás, el cual relata el uso de esta técnica por parte de la comunidad jesuita en Madrid (San Nicolás, 1736).

Por otra parte, se tiene referencia que la comunidad de los Agustinos Descalzos cubrió tres edificaciones con el mismo sistema. La primera, fue la Capilla del Desamparo de Cristo en el Convento de los Agustinos descalzos de Madrid; la segunda, en la Ermita de Nuestra Señora del Prado en Talavera y la tercera en el Convento de los Agustinos Descalzos en Salamanca.

Además de las bóvedas mencionadas Hurtado Valdez (2006) cita que se han encontrado otras bóvedas con este sistema constructivo como la capilla de los Caracciolos en Alcalá de Henares y la Iglesia Parroquial de Torrija en Guadalajara en el área de Castilla.

La mayoría de estas bóvedas fueron construidas de manera que no eran autoportantes sino que se hallaban suspendidas de la cubierta mediante tirantes. En la capilla de los Caracciolos, la curvatura se formó mediante camones clavados entre sí y sujetos a una viga superior. En el intradós se colocaron tablas unidas con clavos a los camones.

En Latinoamérica, se tiene referencia del uso de este sistema constructivo en diferentes iglesias. En Brasil, el Colegio de los jesuitas (Segre, 2009) — hoy catedral de Bahía — y el convento de San Francisco, de la misma ciudad. En ellas

la iglesia era de una sola nave, los techos con bóvedas en madera y piedra en muros, arcos, portadas y molduras.

En Ecuador en la iglesia de San Francisco en Quito (Navarro, 2009) y en la Catedral Metropolitana de Santa Cruz de la Sierra en Bolivia se encuentran bóvedas en la nave transversal y nave central. En el altar mayor se exhibe parte del recubrimiento original en plata labrada y cuatro relieves escultóricos que provienen de la misión jesuita de moxos.

En Colombia, inicialmente, las iglesias se cubrían con una estructura triangular, llamada de par y nudillo, en madera rolliza o escuadrada sobre la que se colocaba un entramado en cañas amarrado con cuero o cuan —fibra vegetal—, sobre ella una capa de barro con cubierta en paja o teja de barro. Una forma evolucionada de acabado interno de estas edificaciones se dio con la construcción de bóvedas que cubrían la nave central, construidas con piedra o madera.

En Bogotá, en el centro histórico se han referenciado ocho bóvedas construidas en madera así:

IGLESIAS		
TIPO IGLESIA	ORDEN	BOVEDA
Iglesia de Santa Clara	Clarisas	X
Iglesia de La Concepción	Capuchinos	X
Santuario Nuestra Señora del Carmen	Salesianos	X
San Agustín	Agustinos	X
La Candelaria	Agustinos Recoletos	X
San Ignacio	Jesuitas	X
Ermita de la Tercera	Franciscanos	X
San Juan de Dios	Orden hospitalaria de San Juan de Dios	X

3.2 Bóvedas de bahareque

Tradicionalmente, dentro de la clasificación de madera se han incluido las bóvedas construidas en bahareque (Corradine A., 1989). Aunque es un componente del sistema, el proceso constructivo, distribución de los elementos y materiales empleados son diferentes como se mostrará en el análisis constructivo de los sistemas en 3.3.

Tabla 1: Iglesias que tienen bóvedas en madera en el centro histórico de Bogotá.

Fuente: (Corradine, 1989; Arango, 1990; y Escovar, 2004).

² Es de aclarar que el término fajina se emplea en Colombia como un sistema de construcción de tierra, pero de empleo en construcciones militares de acuerdo a los cánones establecidos para las construcciones militares de ultramar. Ver *El conocimiento constructivo de los ingenieros militares del siglo XVIII*. Tesis doctoral, Universidad politécnica de Cataluña, Galindo, J. (1996).

El bahareque es un sistema constructivo de origen prehispánico (Arango, 1993) mezcla de madera, cañas y tierra que se usa particularmente en muros y cercados. Los amarres de las piezas se hacen con cuero o fibras vegetales. En Latinoamérica tiene diferentes denominaciones como bahareque en Colombia y Venezuela; bajareque en Cuba, Guatemala y Honduras; quincha en Perú, Bolivia, Ecuador y Chile y fajina en Uruguay.²

El uso de este sistema en las bóvedas, se estableció cuando al estar instalados los españoles en nuestro continente observaron que en América las construcciones se veían afectadas por fenómenos sísmicos que alteraban su estructura, siendo destruidas parcial o totalmente (Instituto Eduardo Torroja, 1986). Esto obligó a replantear el diseño importado y a los constructores a emplear refuerzos, contrafuertes y diversos elementos en busca de una mayor estabilidad de las construcciones.

Adicionalmente, los ibéricos observaron que el sistema constructivo de bahareque empleado por los indígenas estaba mejor preparado para resistir los fenómenos sísmicos, por lo cual, comenzaron a implementar su uso en las construcciones, combinando la madera escuadrada con cañas y fibras vegetales más flexibles, no sólo en muros y cercados, como era tradicional en las construcciones indígenas, sino para cubrir grandes luces como las bóvedas.

La construcción de estas bóvedas debió representar un reto para los constructores, ya que de las formas de empleo del sistema las que presentan mayor complejidad de construcción y análisis son las bóvedas y cúpulas, por ser formadas como una sucesión de arcos cuyo aspecto crítico para la estabilidad es la rigidez de los apoyos y la exigencia de cubrir luces mayores de 9 m.

Sobre la construcción de bóvedas en bahareque, en Latinoamérica se tiene registro en Perú y Argentina. Para el siglo xvii se tiene referencia de su uso en la Catedral de Cuzco inicialmente hecha en piedra, que se derrumbó durante el terremoto de 1609, fue entonces reconstruida y nuevamente colapsó con el terremoto de 1687. Luego de estos dos derrumbes se utilizó la mezcla de madera y bahareque para su reconstrucción.

Luego, Fray Diego Maroto la empleó en 1666 para la bóveda de la iglesia de Santo Domingo de Lima. Una vez, el sistema probó su buen comportamiento sísmico, se afianzó la técnica en el siglo xvii. Por ello, en 1675 Manuel de Escobar y

el arquitecto portugués Constantino de Vasconcellos reconstruyeron la iglesia de San Francisco con el mismo sistema, perfeccionando la técnica de Maroto. Después del terremoto de 1746, este sistema constructivo se generalizó en todo el país hasta convertirse en norma obligatoria. Su desarrollo era de dos clases:

1. En el primer sistema, las bóvedas estaban colgadas de elementos que formaban la armadura de cubierta.
2. En el segundo, el sistema era autoportante, conformado por arcos que se sostenían en conjunto.

En Argentina, se encuentra como ejemplo del uso del bahareque en bóvedas la iglesia de la Compañía de Jesús en Córdoba y para uso privado de la comunidad jesuita se encuentra la capilla doméstica, edificada entre 1644 y 1668. (Conti, 1996 y Anónimo, 2009). La bóveda está construida con cañas, yeso y amarres de cuero. El intradós se halla cubierto con pinturas naturales y sus paredes son talladas en el siglo xvii, durante el período del barroco americano —Dossier de prensa de la UNC— Con este mismo sistema de bóveda se construyó la iglesia jesuítica de Santa Fe y la de Salta. (Bimba Reuter, 2006)

En cuanto a las bóvedas en Bahareque, en Colombia, se han encontrado bóvedas con este sistema en el Valle del Cauca y Boyacá. En el Valle del Cauca, en la iglesia del Carmen y en la de San Francisco. La iglesia del Carmen de Popayán presenta amarres en cuero, en tanto que la de San Francisco está formada por camones y entramado en caña brava con una capa de barro (Archivo Dirección de patrimonio, 2008).

Adicionalmente, deben incluirse también las iglesias de San Ignacio en Tunja, la bóveda se desmontó entre 1969 y 1971 en la intervención de Acevedo Quintero, quien consideró que la bóveda y el crucero eran agregados con inferior calidad del resto de la edificación, razón por la cual, fueron retirados de la edificación (Ocampo López, 2000).

4. Análisis de las bóvedas de las cuatro iglesias bogotanas del siglo xvii

El análisis de los documentos existentes sobre las cuatro iglesias estudiadas arrojó que tenían dos tipos de sistemas constructivos en sus bóvedas: madera y bahareque. Las bóvedas de cañón en

madera se encontraban en las iglesias de San Juan de Dios y Santa Clara; mientras en la Candelaria corresponde a una bóveda vaída, cuyo arco generador es un arco rebajado. En cuanto a San Ignacio la bóveda de la nave central se encuentra formada por seis secciones uno en madera y cinco en bahareque (Ramos, 2004).

Para la construcción de las bóvedas de madera en nuestro país, los ibéricos emplearon las mismas especificaciones usadas en España, de acuerdo a los cánones establecidos en los tratados de arquitectura en el siglo XVII.

4.1 Bóvedas de madera

Las bóvedas ubicadas a lo largo de la nave central se apoyaban en las ménsulas de los muros de mampostería perimetrales. Estas bóvedas cubrían luces de 10,0 a 16,0 m de ancho y 30,0 a 40,0 m de longitud.

4.1.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO

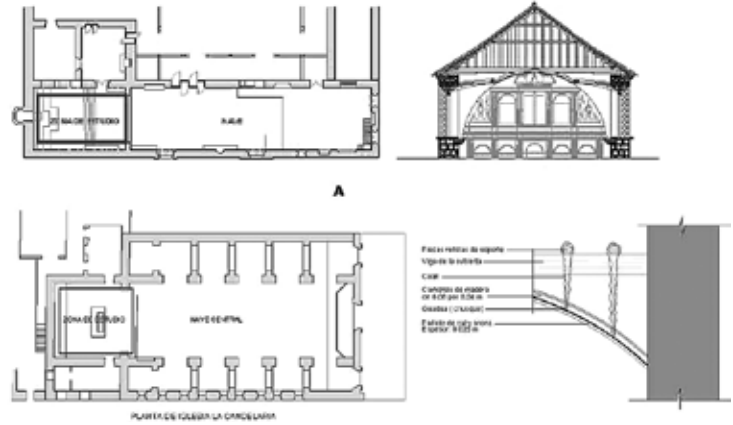
• ESTRUCTURA

La estructura portante estaba formada por costillares constituidos por la unión de piezas de madera —camones— de escuadría o escuadrada³ de mejor manufactura. La bóveda de San Juan de Dios presenta taquetes intermedios entre los costillares para ayudar a rigidizarlos; San Ignacio no los posee. (Véase Figura 4 c y d)

- Entablero: El intradós o cara interna de la bóveda se formaba con planchones de madera de 0,015 x 0,025 m aproximadamente, colocados en forma perpendicular al costillar, formando la curvatura. Este entablero se encontraba clavado al costillar con clavos de forja.

En el caso de la iglesia de la Candelaria este entablero es reemplazado por un cañizo de chusque amarrado con cuan.

- Los lunetos o ventanas que iluminan la nave se formaban igualmente con planchones. Se debe aclarar que de las cuatro bóvedas analizadas solo posee lunetos la de la Santa Clara. La de la Candelaria por ser una bóveda vaída no los posee y en San Ignacio y San Juan de Dios las aberturas de iluminación se



encuentran en los muros laterales de soporte.

Las bóvedas estaban unidas a la cubierta por medio de cuan que iba desde los camones hasta las vigas de cubierta, o colgadas de estas mediante tensores de madera fijados con clavos de forja

Figura 2: Planta y corte de las bóvedas de:

- Santa Clara
- La Candelaria.

Fuente: Dirección de Patrimonio Cecilia López y Daniel Ruiz.

• ACABADO

El entablero en el intradós tenía como recubrimiento pintura y elementos de yeso o madera, con motivos florales o poliformes clavados directamente al entablero.

3 La madera escuadrada es aquella cortada con sierra con dos caras paralelas

Figura 3: Elementos que conforman una bóveda de madera.

Fuente: Los autores

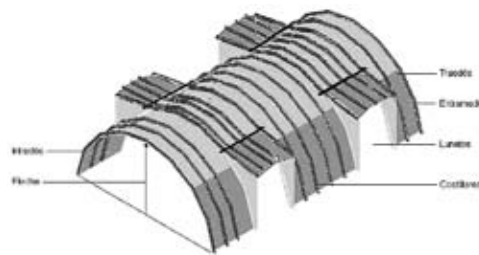


Figura 4: Detalle de los elementos de cubierta de la bóveda de las iglesias: a. Intradós de San Ignacio; b. Intradós de San Juan de Dios; c. Trasdós de San Ignacio; d. Trasdós de San Juan de Dios; e. Trasdós de La Candelaria.

Fuente: Instituto Carlos Arbelaz Camacho.

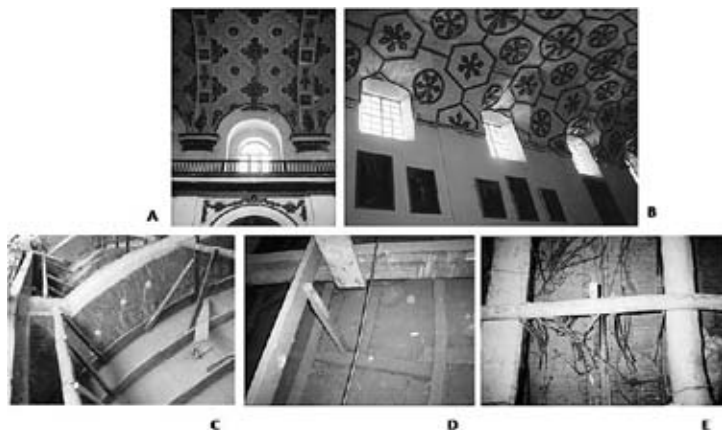
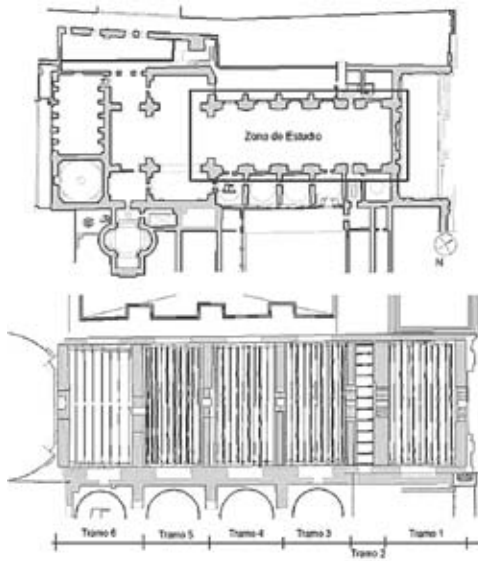


Figura 5:
Planta de la iglesia de San Ignacio y disposición de los tramos.

Fuente:
Instituto Carlos Arbelaez Camacho.



4 Elementos de madera que unen los costillares con las vigas de cubierta.

5 Caña delgada que forma la curvatura de la bóveda en los tramos más antiguos.

6 Fibra de origen vegetal que sirve de amarre.

7 Caña delgada de la familia del Bambú.

8 Fibra vegetal que se obtiene en los lagos. Se teje formando cordones y trenzas con los que se amarra.

4.2 Bóvedas de bahareque, caso San Ignacio

La bóveda central de la iglesia de San Ignacio, en el tramo uno a cinco corresponde al sistema constructivo de bahareque. La bóveda tiene 11,0 m de ancho y 28,43 m de longitud. La bóveda está formada por seis tramos y siete arcos fajones, que tienen de ancho de 5,0 a 6,0 m, con excepción del tramo dos, donde la separación entre éstos es de 1,70 m.

Los tramos uno a cinco son los más antiguos y el 6 por el colapso de la cúpula es de madera y manufactura distinta.

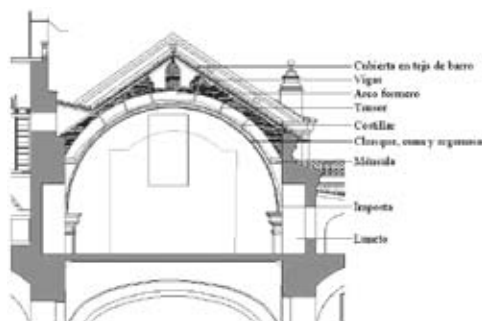


Figura 6:
Corte transversal de la bóveda de San Ignacio.

Fuente:
Instituto Carlos Arbelaez Camacho.

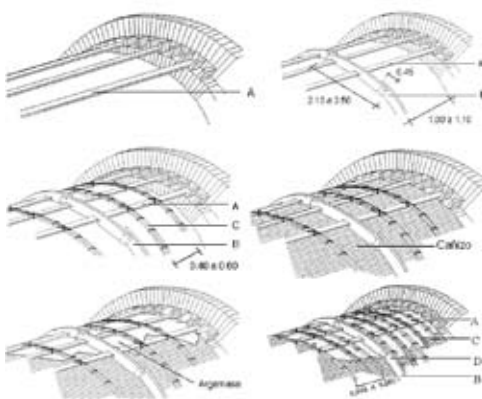
Figura 7:

a. Esquema detalle del cruce de la pieza A (Durmiente) y la B (Costillar)

b. Esquema detalle del cruce de la pieza A (Durmiente) y la B (Costillar)

c. Esquema detalle del cruce de la pieza A (Durmiente) y la B (Costillar)

Fuente:
Cecilia López y Daniel Ruiz.



4.2.1 ELEMENTOS DE LOS TRAMOS UNO A CINCO

Los tramos uno a cinco están formados por los siguientes elementos: costillares, camones, tensores,⁴ chusque,⁵ cuan,⁶ y una argamasa de barro y cal que sirve de unión a todos los elementos.

4.2.2 ELEMENTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

La estructura está formada por (Ramos, 2004):

- Siete arcos formeros en ladrillo que tienen la parte superior dentada.
- Durmientes de madera de 0,05 m de ancho por 0,025 m de espesor que van de arco a arco y se apoyan en el dentado de los arcos de mampostería. —Pieza A—. Estos elementos sirven para rigidizar, sostener los costillares y adicionalmente, cumplen una función estructural, ya que evitan su desplazamiento.
- Costillares armados con camones de 0,025 m a 0,030 m de altura, una longitud de 2,10 a 2,50 m y traslapes aproximados de 0,045 m —Pieza B—. A los camones se les dejan pases o huecos por donde se pasa la pieza que va apoyada en la parte dentada —Pieza A—. Los costillares tienen una distancia entre sí de 1.00 a 1.10 m
- Manojos de 8 chusques,⁷ amarrados con cuan.⁸ La longitud del manajo es de 6.10 a 6.30 m, con traslapo entre manojos de 1,10 m a 1,30 m.

El proceso de construcción es el siguiente:

- Se amarra a la pieza A la primera capa de manojos de chusque, trenzándolos —pasan por encima o por debajo de la pieza A— dejando un espacio de 0,040 a 0,060 m aproximadamente. —Pieza C—.
- A la pieza C, se amarra en sentido perpendicular el cañizo formado por chusque amarrado con cuan uno junto al otro. Este cañizo distribuye los esfuerzos hasta la base de apoyo en las ménsulas.
- Se coloca sobre el cañizo una lechada de argamasa —tierra-cal— que forma en el intradós de la bóveda una capa rugosa.
- Por el trasdós, y sobre la pieza A, se coloca y amarra con cuan la segunda capa

de manojos de chusque. —Pieza D— Este debe ir traslapado al manajo de abajo, en distancias similares.

- e. Para sostener toda esta estructura existen tensores, que se colocan para sostener los camones en el momento de su construcción, y van desde los camones hasta las correas o vigas.

4.2.3 ACABADO

En el intradós sobre la superficie rugosa formada por la lechada se colocaba un lienzo y sobre él se aplicaba el pañete de acabado con yeso. Finalmente, se ubicaban las piezas y ornamentos de madera que tenían un pin o pata de anclaje, que se amarra al trasdós de la bóveda.

4.2.4 ELEMENTOS DEL TRAMO 1

El tramo 1, tiene una estructura similar a las bóvedas encontradas en las iglesias mencionadas en la Tabla 1. Estructuralmente conformada por un costillar y camones sin taquetes de rigidización de las piezas

4.2.5 UNIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE LAS BÓVEDAS

En estas bóvedas se encontraron dos tipos de uniones: amarradas y clavadas.

• UNIONES AMARRADAS

Estas uniones se encontraron en la iglesia de San Ignacio en los tramos uno a cinco y se emplearon para unir los manojos de chusque que forman la curvatura de la bóveda, así como para unir los elementos de madera rolliza entre sí. Estas uniones están hechas en cuan, fibra vegetal que se encuentra en los alrededores de las zonas pantanosas. El cuan se trenza, formando lazos que sirven para las uniones.

Como se mencionó en la iglesia de La candelaria este tipo de unión se empleó para unir el cañizo a los costillares.

• UNIONES CLAVADAS

Este tipo de uniones se encontraron en las iglesias de: La Candelaria, San Juan de Dios y Santa Clara y en el tramo intervenido —Tramo 6— de la

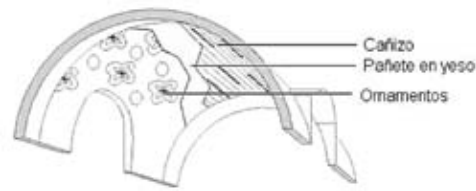


Figura 8: Acabado del intradós de las bóvedas.

Fuente: Cecilia López y Daniel Ruiz.



iglesia de San Ignacio. Para realizar ésta unión se emplearon clavos de forja.

Figura 9: (a) deterioro de los amarres, (b) pudrición de las vigas.

Fuente: Instituto Carlos Arbeláez Camacho.

4.3 Patologías encontradas

La inspección de las bóvedas mostró que presentan ataque biológico —Polillas, termitas, hongos, comején, gorgojo—, causando deterioro y destrucción de la madera. Otra característica de estas estructuras es que las uniones se encuentran en mal estado, especialmente los elementos que deben soportar tensiones. Estructuralmente algunos puntos presentan cizallamiento en sus elementos, lo que indica falla por tensión o torsión. Algunas secciones de estas estructuras



Figura 10: Modelo a escala de secciones de la bóveda de San Ignacio.

Fuente: Cecilia López y Daniel Ruiz.



Figura 11: Disposición geométrica y de aplicación de carga de los modelos a escala de secciones de la Bóveda de San Ignacio.

Fuente: Cecilia López y Daniel Ruiz.

9 Las bóvedas poseen apoyo en cuan o madera a elementos de la estructura de cubierta, sin embargo a la luz de los análisis realizados estos tensores no tienen una gran responsabilidad estructural para las cargas de trabajo y empezarían a trabajar de manera importante si por alguna razón se llegara a perder el apoyo de los muros.

han tenido que ser reemplazadas debido a estos factores (Figura 12).

En la iglesia de San Ignacio la bóveda muestran que el tramo más afectado por ataque biológico es el 6. Este tramo es el de manufactura más reciente y donde se emplearon maderas de origen distinto al del resto de la bóveda. En cuanto los tramos de uno a cinco —bahareque— se encuentran en mejor estado ya que la protección de argamasa sobre las cañas y el cuan han mantenido protegido los elementos de ataque biológico. Sin embargo, presenta deterioro en las uniones quizás debido a esfuerzos de tensión que han producido que se revienten las uniones.

4.4. Pruebas de laboratorio y análisis de esfuerzos

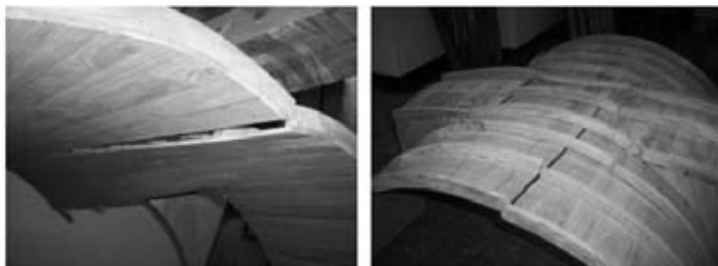
Se tomó como base para el desarrollo del modelo de la bóveda de la iglesia de Santa Clara, ya que posee lunetos —aberturas— en su superficie que inciden en el comportamiento hasta ahora estudiado para bóvedas de cañón.

Figura 12:
Deformímetros
mecánicos laterales.

Fuente:
Cecilia López y Daniel
Ruiz.

Figura 13:
Patrones de falla de las
bóvedas.

Fuente:
Cecilia López y Daniel
Ruiz.



a) Bóveda 1

b) Bóveda 2



c) Falla en la zona de los lunetos

Asimismo, se encontró en las iglesias estudiadas que las bóvedas son autoportantes,⁹ por lo cual el objetivo fue verificar el comportamiento estructural de las cuatro bóvedas, se desarrollaron modelos experimentales a escala semicualitativos de una sección transversal de la bóveda para el sistema constructivo de madera. El modelo fue cualitativo debido a la imposibilidad de obtener maderas con las características de deterioro —propiedades mecánicas y físicas— encontradas en la bóveda a escala real. Por lo tanto con este modelo no se puede establecer ni la capacidad máxima del sistema ni tampoco si las bóvedas en el pasado han estado sometidas sobrecargas. Los modelos experimentales permitieron únicamente determinar los puntos críticos desde el punto de vista estructural. Para ello se elaboraron modelos a escala 1:10 (Figura 13).

El objetivo de las pruebas fue establecer los patrones de falla y comportamiento estructural ante cargas verticales y de esta manera determinar zonas de concentraciones de esfuerzo, bien sea en la zona central de las bóvedas —en la clave— o en la zona de los lunetos. De acuerdo con la configuración estructural encontrada en campo, se simuló la condición estructural mediante modelos simplemente apoyados y sometidos a carga en el centro de la clave (Figura 14), siendo ésta una condición mucho más crítica que la real, en la que se distribuye la carga uniformemente a lo largo y ancho de la bóveda.

Los modelos se probaron mediante un actuador MTS —que reacciona contra un marco de acero— y para ello se instrumentaron con una celda de carga, un deformímetro tipo LVDT en la clave y cuatro deformímetros mecánicos, ubicados a los costados de las probetas (Figura 15). A los modelos a escala se les aplicó una carga monotónica incremental hasta llegar al colapso estructural de las probetas. El ensayo se realizó por control de desplazamiento a una tasa de carga de 1 mm/s.

De esta manera se generaron patrones de falla en el centro de las bóvedas —clave— como los ilustrados en la Figura 16a y 16b. También se presentaron desprendimientos de la zona de los lunetos (Figura 16 b) pero posteriores al inicio de las fisuras y grietas en la clave de las bóvedas.

Con base en la instrumentación y las pruebas realizadas, en la Figura 17 se presentan los resultados de carga vs. desplazamiento vertical —como porcentaje del diámetro de la bóveda—. A la luz de estos resultados la carga máxima re-

sistente y la rigidez inicial fue similar para ambas bóvedas ensayadas. Así mismo ambas bóvedas exhiben un rango no lineal de comportamiento, con capacidad de ductilidad al desplazamiento pero con caídas de carga originadas en las rupturas sucesivas al interior de las maderas.

Con el fin de corroborar estas zonas de concentración de esfuerzo, se elaboraron modelos numéricos por elementos finitos, tanto de los modelos a escala como de sus respectivos modelos reales. En la Figura 14 se muestra un esquema que ilustra la distribución de los esfuerzos máximos en la bóveda —esfuerzos en kPa— cuando ésta se somete a las cargas establecidas durante las visitas técnicas de inspección. A la luz de estos resultados es claro que las zonas de máxima concentración coinciden con los lugares en donde se generaron las fallas en los modelos experimentales a escala y serían precisamente estas zonas las que deberían intervenir con reforzamientos estructurales.

Conclusiones

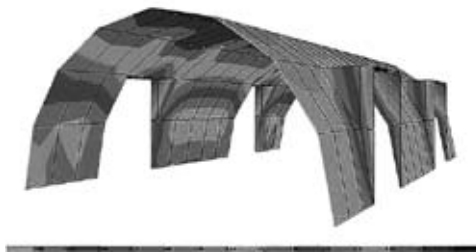
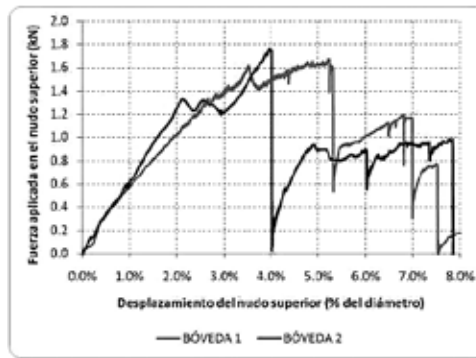
Una forma particular de acabado interno de las iglesias se dio mediante la construcción de bóvedas en madera y bahareque en diferentes regiones de nuestro territorio. Los dos tienen componentes constructivos y comportamientos estructurales diferentes.

Originalmente las bóvedas se construyeron en los mismos materiales pesados usados en España, pero debido a las condiciones sísmicas de América se usaron la madera y el bahareque como nuevos materiales de soporte.

Las iglesias de La Candelaria, San Juan de Dios y Santa Clara poseen un sistema constructivo de bóvedas en madera, que responden a los cánones establecidos por España para estas construcciones.

En la iglesia de San Ignacio, y con base en las visitas de inspección y en la búsqueda bibliográfica e histórica, se encontraron dos sistemas constructivos: bahareque y madera

Tal como ocurre en muchos monumentos históricos, algunos elementos estructurales en madera de la iglesia de San Ignacio presentan importantes estados de afectación —podrición—



debido a malas intervenciones realizadas en el pasado. Es prioritario intervenir dichos elementos.

Las bóvedas de bahareque por considerarse de inferior calidad han sido desmontadas desconociendo las propiedades estructurales que el sistema de bahareque posee. Lo que hace necesario, que quienes tienen a su cargo la intervención de este tipo de edificaciones analicen, en grupos interdisciplinarios de estudio, todas las variables constructivas de este sistema con el objeto de realizar restauraciones que se ajusten no sólo a los requerimientos estéticos, sino que tengan en cuenta las características estructurales.

Las bóvedas en madera analizadas son autoportantes por tanto sometidas a su propio peso presentando como resultado en las pruebas de laboratorio y las modelaciones numéricas que se debe prestar especial atención a las zonas centrales de las bóvedas y, en segunda medida, a las zonas cercanas a los lunetos, ya que en estos lugares se generan importantes concentraciones de esfuerzos, por lo que deben ser objeto de intervenciones de refuerzo estructural.

Como trabajo futuro se deben desarrollar modelos del sistema en bahareque que permita realizar correlaciones de comportamiento con las de madera. Así mismo se plantea realizar un análisis de simulación sísmica de las bóvedas.

Figura 14: Curvas de carga vs. desplazamiento vertical.

Fuente: Cecilia López y Daniel Ruiz.

Figura 15: Esfuerzos para cargas de trabajo en k-Pa de las bóvedas de la Iglesia de San Ignacio.

Fuente: Cecilia López y Daniel Ruiz.

Referencias

- Arango, S. (1990). *Historia de la Arquitectura en Colombia*. Bogotá: Ed. Universidad Nacional.
- Arango, T. (1993). *Precolombia*. Madrid: Talleres de sucesores de Rivadeneyra, S. A. Madrid.
- Arbeláez, C., C. y López S. (1967). La Arquitectura Colonial En: *Historia Extensa de Colombia*. Bogotá: Ed. Lerner.
- Bimba, R. (2006). Los jesuitas en Córdoba, Iglesia de la compañía e iglesia doméstica. En: *La Revista*. Argentina: Sociedad argentina de escritores.
- Conti, R. (1996). El desarrollo tecnológico de las bóvedas de madera en la experiencia de Lerner. Madrid: Actas del primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.
- Corradine, A. (1989). Historia de la arquitectura colombiana. (Vol. 1.) Bogotá: Ed. Escala.
- Corporación La Candelaria. (2005). *Huellas de la recolección: Agustinos Recoletos IV centenario*. Bogotá: Ed. Panamericana Formas e Impresos.
- Del Rey Fajardo, J. S.J y Marín C., M. (2008). *La biblioteca colonial de la Universidad Javeriana comentada*. Bogotá: Fundación cultural javeriana de artes gráficas.
- Escovar, A. (2004). *Atlas histórico de Bogotá, 1538-1910*. Bogotá: Editorial Planeta en asocio con la Corporación La Candelaria.
- Franco, S., G. (1987). *Templo de Santa Clara. Trabajos preliminares*. (Primera Edición). Bogotá: Colcultura.
- Gil, T., F. (1976). *Arte colombiano*. Madrid: Ed. Plaza y Janes.
- Huerta, F., S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Hurtado, V., P. (2006). *Estructuras abovedadas de Quincha en el Virreinato del Perú*. Mendoza: Presentado en V Siacot.
- Instituto Carlos Arbeláez Camacho para el patrimonio construido. (2006). *Restauración de la Iglesia de San Ignacio*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Instituto Eduardo Torroja. (1986). *Informes de la construcción- La tierra material de construcción*. (Vol. 37, No. 377). Madrid: Editorial Instituto Eduardo Torroja.
- Mendoza, Camilo. Arquitectura religiosa urbana en Colombia durante la dominación española, una sinopsis, Memoria y Sociedad. Acceso: Octubre de 2009. Disponible en: www.javeriana.edu.co/.../Arqreligiosa%20colonia%20Colombia%20publicac%204%20jul%20
- Ministerio de Cultura. (2008). Iglesia del Carmen-Popayán. Bogotá: Archivo Dirección de Patrimonio.
- Navarro, J. G. Contribuciones a la historia del arte en el Ecuador. Acceso: abril 2009. Disponible en: <http://books.google.com.co>
- Nuere, E. (2001). *Nuevo Tratado de la Carpintería de lo Blanco*. Madrid: Ed. Munilla- Leira.
- Ocampo, L., Javier. (2000). *El templo de San Ignacio en Tunja*. Tunja: Secretaría de cultura y turismo de Boyacá.
- Ojeda, M. (2001). *Informes Restauración Iglesia de la Candelaria*. Bogotá: Archivo Dirección de patrimonio.
- Pacheco, J. M. (1959). *Los jesuitas en Colombia*. (Tomo 2). Bogotá: Ed. San Juan Eudes.
- Peraza, J. E. (2005). *La arquitectura de madera de los normandos*. (Boletín de información técnica N° 238). Versión electrónica de la Asociación de la Investigación Técnica de las industrias de la madera y el corcho. Acceso: octubre de 2009. Disponible en: <http://www.scribd.com>
- Pérez, C., C. (1979). Diccionario ilustrado de arquitectura. Editor Jorge Plazas. Bogotá: Jorge Plazas Editor, Ltda. No hay nombre de editorial.
- Ramos, L. C. (2004). *Estudio preliminar de la bóveda de la nave central de la iglesia de San Ignacio en Bogotá*. (Tesis Maestría de Restauración de Monumentos, inédito). Universidad Javeriana.
- Rentería, S., P. (2001). *Arquitectura en la Iglesia San Ignacio de Bogotá. Modelos influjos, artifices*. Bogotá: Centro Editorial Javeriano (CEJA).
- Salcedo, S., J. (1983). Doctrina de indios, conventos y templos doctrineros en el Nuevo Reino de Granada, durante el siglo XVI. Revista Hito (No. 1). Bogotá; Asociación Colombiana de Facultades de Arquitectura.
- De San Nicolás, Fray Lorenzo. (1796). Arte y uso de la Arquitectura. Madrid: Ed. Placido Vargas.
- Segre, R. América latina en su arquitectura. Acceso: abril 2009. Disponible en: <http://books.google.com.co>
- Serlio (1600). *Estructuras abovedadas de Quincha en el Virreinato del Perú*, citado por Hurtado V., P. (2006). (Libro VII, Capítulo LXXVIII, folio 199). Mendoza: Presentado en V Siacot.
- Vallín, M., R. y Vargas M., L. (2004). *Iglesia de San Juan de Dios*. Bogotá: Instituto San Juan Apostol.

(s.d.). Acceso: abril de 2009. Disponible en: <http://www.dayanabarrionuevo.com/la-capilla-domestica-de-la-iglesia-de-la-compania-de-jesus-de-cordoba>

Agradecimientos

Los autores desean agradecer la colaboración de las siguientes unidades académicas:

Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana por la financiación del proyecto: Análisis de bóvedas hechas en madera en templos coloniales bogotanos.

Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

