

IGLESIA Y EXCONVENTO DE TIRIPETÍO, MÉXICO, ESTADO DE SUS MAMPOSTERÍAS.

J. A. Bedolla Arroyo¹; W. Martínez Molina²; E. M. Alonso Guzmán^{1, 2}; J. C. Rubio Avalos²; F. A.; Velasco
Ávalos²; J. J. Mendoza Jiménez³; F. Méndez Flores¹; L. F. Guerrero Baca^{1, 4}

¹ Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura de la Universidad
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040

² Cuerpo Académico Consolidado CA-UMSNH-147, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040

³ Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura de la Universidad de Colima,
Colima, México, 28040

⁴ Facultad de Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, D. F., México, 04960
Teléfonos (52) 443 3223500, ext 4325, 4328; Fax (52) 443 3273856,
c.e.: bedollaalberto@gmail.com y ealonso@zeus.umich.mx

Palabras clave: Mampostería, contrafuertes, maderos.

RESUMEN

Michoacán, México está ubicado en la Costa Pacífica de la República Mexicana, Tiripetío se localiza al Suroeste de Morelia, la capital del estado, a 24 km. El Ex Convento de Tiripetío fue la Primera Escuela de Altos Estudios de América de donde se conformó posteriormente la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Este conjunto religioso data del año 1525, época en la que llegaron los primeros franciscanos a este sitio. En ese tiempo se edificaron el templo y el convento. Convirtiéndose en el año de 1538 en sede del Obispado fundado en Michoacán, a cargo de Don Vasco de Quiroga.

Para finales del siglo XVI, el convento había cambiado su estructura, al ser reconstruido por Fray Pedro de Pila, ya de material sólido y de apariencia suntuosa. A pesar de estas características existen datos que señalan que desde entonces el convento presentaba deterioros en su estructura, tales como aberturas y hendiduras en las paredes, así como podredumbre de vigas y tejamanil de la cubierta.

El convento permaneció cumpliendo sus funciones hasta el año de 1780, quedando la parroquia bajo la administración del clero secular. Para el siglo XIX, solo quedaba en buenas condiciones el claustro principal, las demás áreas se encontraban en estado ruinoso, y fue difícil el lograr reconstruirlo debido a las constantes guerras civiles en la región.

En el año de 1944, se produjo un fuerte incendio que destruyó gran parte del conjunto, principalmente el área correspondiente al templo. Este perdió su cubierta por lo que fue sustituida por una cubierta de cinco bóvedas y lunetos, y una gran cúpula colocada en el tramo anterior al presbiterio.

En el caso particular del convento, el edificio estuvo en manos de la comunidad durante un largo tiempo. Es hasta el año de 1972, cuando se rescata y se comienzan a realizar trabajos de restauración en él. El encargado de esta primera etapa es Enrique Luft, su intervención abarca de 1971-1979.

1. INTRODUCCIÓN

La edificación de las iglesias durante el siglo XVI y XVII en México fue hecha bajo la dirección de los frailes evangelizadores, los cuales traían consigo los conocimientos de una gran variedad de tratados de construcción, de los cuales se asume de manera hipotética, que fueron utilizados para la edificación de estos edificios bajo tres aspectos: el uso de materiales y sistemas constructivos, la distribución espacial y los aspectos conceptuales y estilísticos de la arquitectura.

El presente trabajo aborda la problemática constructiva de un inmueble en particular: la actual Parroquia de San Juan Bautista ubicada en la localidad de Tiripetío Michoacán México en el cual se presentan fallas constructivas de la fábrica original en los elementos estructurales de los contrafuertes. Ante esta problemática, se plantearon de manera hipotética las posibles causas y efectos que dieran como resultado los deterioros presentes.

Con la finalidad de poder comprobar las hipótesis planteadas, la investigación tomó dos vertientes: La primera en la que se plantea una mala fábrica constructiva por desconocimiento constructivo durante la época de construcción del inmueble, y la segunda en la que se le atribuyen a esfuerzos accidentales tales como sismos, hundimientos diferenciales, cargas concentradas o la posible mala intervención del hombre en alguna etapa posterior.

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL INMUEBLE.

En mayo de 1537, los religiosos agustinos decidieron iniciar la evangelización de la llamada “Tierra Caliente”, situación que aprovechó el conquistador Juan de Alvarado para pedir por medio del Virrey Antonio de Mendoza que los misioneros agustinos pasaran a evangelizar los territorios de su encomienda de Tiripetío, pues llegaban cerca de la Tierra Caliente y él les ayudaría en la edificación de la iglesia y el convento. Para esta misión evangelizadora fueron nombrados los padres fray Juan de San Román y fray Diego de Chávez y Alvarado, éste último, sobrino del encomendero. De esta manera salieron los religiosos de México el 22 de mayo y arribaron al pueblo el 12 de junio de 1537.

Los padres San Román y Chávez comenzaron su labor evangelizadora trazando, construyendo y planeando el pueblo y la construcción de un convento que les sirviera de centro doctrinal. Su primera edificación fue una choza de adobe a manera de iglesia donde se guardaba el Santísimo Sacramento, y tras la construcción de esta obra, se dieron a la tarea de enseñar la doctrina a la vez que ellos aprendían el idioma de los grupos étnicos locales: los Puhépecha.

Igual que muchos de los pueblos fundados o reorganizados por frailes, la planeación del nuevo pueblo de Tiripetío corrió a cargo de los religiosos, pero como caso poco común, éstos fueron auxiliados por un grupo de oficiales españoles que residían en México y que habían sido traídos por el encomendero. Los oficiales llegaron al pueblo el mismo año de 1537 y adiestraron a los indígenas y los mismos frailes en los trabajos de cantería y herrería para las grandes construcciones que ahí se realizaban.

A partir del año 1543, el padre Diego de Chávez comenzó a edificar un nuevo convento más grande, cómodo y a su entero gusto, pues el primero lo había edificado el padre San Román. El convento representa una completa innovación en cuanto a la tradición constructiva de conventos se refiere, no sólo entre la orden Agustina, sino también en toda la Nueva España, pues el carecer de un patio central generaba un modelo arquitectónico completamente nuevo que no respetaba los patrones tradicionales. La construcción de este convento se terminó en una fecha posterior al año de 1553.

El templo de Tiripetío comenzó a edificarse a mediados de 1538, casi un año después de que los frailes llegaran al pueblo y se terminó hacia 1548. Este edificio fue construido con una planta sencilla, de una sola nave con el ábside en forma trapezoidal. Las crónicas mencionan que la fachada del templo era una de las más hermosas que se habían construido no sólo en el obispado de Michoacán, sino en la Nueva España entera. La techumbre, de media tijera, era a base de madera sobre la que descansaba una cubierta de teja a dos aguas. Un techo aparente constituía una elaborada y bien trabajada cubierta de madera, toda una forma de delicados y coloridos artesones, que hacían de este templo un caso único en la Nueva España. En el interior de la iglesia se levantan dos corredores de arcos torales que servían como división para los fieles tratando de dar una apariencia basilical, quizá con la idea de imitar las basílicas de los primeros siglos del cristianismo. Este

templo no sobrevivió al tiempo, pues en el año de 1640, cuando uno de los indios iba a llamar a maitines, la antorcha con que se iluminaba prendió la estructura de madera del coro, destruyéndose para siempre la referida grandeza; con este incendio, el fastuoso templo de Tiripetío perdió su decoración, su fachada y hasta sus dimensiones reedificándose con más austeridad, tal como lo vemos en la actualidad. Esta reconstrucción terminó hacia 1650.

En el mes de noviembre de 1540 se realizó el capítulo provincial de los agustinos en la ciudad de México, y dentro de las resoluciones tomadas allí, se decidió crear un centro de estudios mayores de Artes y Teología. Por esos años, Tiripetío tenía fama dentro de la orden por ser un modelo a seguir en lo que se refería a la fundación de un pueblo y la evangelización de los naturales, sin contar con lo rápido que había sido la edificación completa del convento. Como el pueblo y la comunidad de Tiripetío, resultaban un magnífico ejemplo de la labor que deberían desarrollar los frailes, se eligió como sede del primer centro de estudios agustinos en el Nuevo Mundo. Los estudios que se impartieron en Tiripetío a partir de 1540 -1541 poseían las características de la enseñanza que se impartía en las universidades españolas.

La labor de los frailes agustinos no se limitaba al aspecto meramente espiritual, pues apoyados por el encomendero, también se preocuparon por llevar a los indios de Tiripetío el conocimiento de técnicas artesanales para que trabajaran todos los materiales a la manera española e indígena.

Como se puede observar en esta reseña histórica del pueblo de Tiripetío, los conocimientos técnico-constructivos de la edificación europea fueron impartidos y divulgados en este centro de enseñanza, lo que nos indica que los contenidos sobre edificación incluidos en los antiguos tratados europeos estuvieron presentes durante la enseñanza y edificación de este edificio, razón por la cual el planteamiento hipotético de una mala fábrica podría tener pocas posibilidades de ser la causa de la falla estructural del sistema de contrafuertes existente en el inmueble.

2.1. EL CASO DE ESTUDIO

2.2. Descripción arquitectónica.

El templo de la Parroquia de San Juan Bautista de Tiripetío consta de una sola planta a manera de nave basilical con dimensiones de 53.50 m de longitud por 15.30 m de ancho en medidas exteriores, actualmente en su interior se encuentran 16 columnas de madera de 30 cm x 50 cm de sección por 10.50 m de altura, estas se encuentran apoyadas sobre bases de cantería labrada. Estos elementos son los apoyos centrales de la cubierta del edificio (Figura 1).

Los muros son de mampostería de piedra volcánica asentada con arcilla y morteros de cal, su espesor es de 1.54 m en promedio y 1.72 m incluyendo la pilastra con una altura de 10.50 m. La cubierta es a base de estructura de madera de media tijera y caballete y cubierta de teja de barro rojo recocido.

La fachada de estilo barroco está compuesta de un acceso central de arco de medio punto y en el cuerpo superior un óculo que sirve como iluminación al coro de la iglesia y a la nave propia. Sobre sus fachadas laterales se desplantan los elementos de los contrafuertes en cuestión, en la fachada sur tres de éstos y dos sobre la fachada norte, esto debido a que en el lugar del tercer contrafuerte de esta fachada se encuentra la casa cural, motivo por el cual no se hizo necesario en su construcción (Figura 2, Fotografía de A. Bedolla)

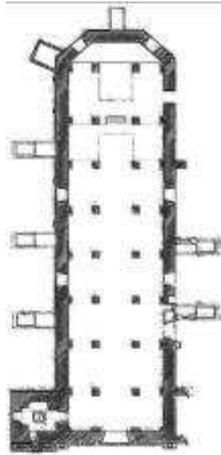


Figura 1 Planta Arquitectónica del Templo de Tiripetío Michoacán, México.



Figura 2. Fachada principal del templo de Tiripetío, Michoacán, México.

2.3. Alteraciones y deterioros

El inmueble presentaba en términos generales, alteraciones y deterioros comunes por la falta de mantenimiento y la poca conservación, deterioros como la disgregación de juntas, la exfoliación o descamación de la roca, suciedad o pátinas, manchas por escurrimiento y pérdidas de aplanados a causa de los agentes físico-naturales, son los daños que predominaban en todo el inmueble, deterioros comunes que se encuentran en la gran mayoría de nuestros inmuebles Patrimonio de la Humanidad, los cuales no tienen mayor complejidad en su restauración.

Sin embargo existía un deterioro preocupante en el momento de abordar la restauración de este templo; la fractura de los cinco contrafuertes en áreas críticas de su trabajo estructural, las aristas de los brazos superiores y los arranques del arco en el cuerpo inferior. El diseño de los contrafuertes se puede considerar como austero, están compuestos por dos cuerpos de fábrica sencilla, un cuerpo inferior compuesto de un macizo rectangular de secciones 2.15 m de ancho por 2.51 m de largo y una altura de 4.60 m, el cual se conecta con la estructura de los muros por medio de un arco rebajado de 2.75 m de longitud. El segundo cuerpo corresponde al brazo de secciones 1.60 m de ancho con un peralte de 1.20 m y un largo de 7.20 m medida superior, que se encuentra de manera diagonal apoyado sobre en macizo en la parte inferior y sobre el muro en la parte superior (Figura 3).

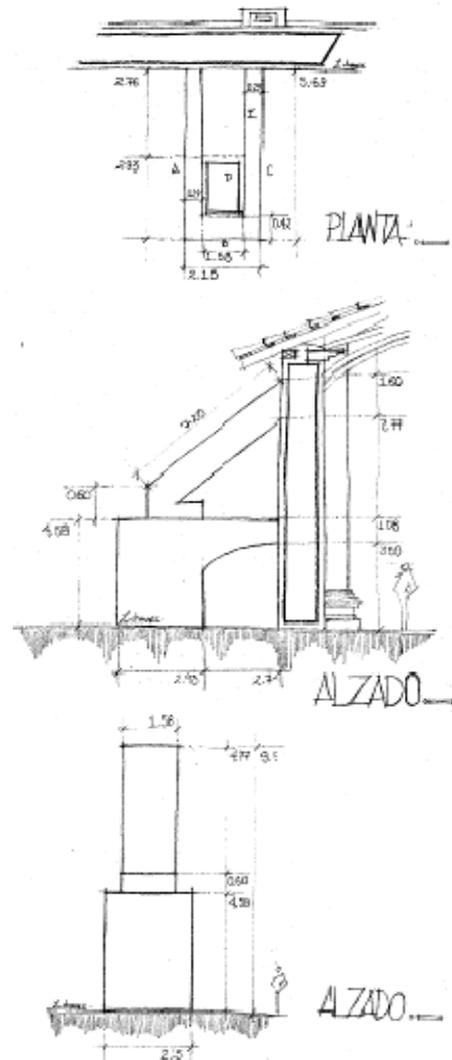


Fig. 3. Lev. Arq. del diseño actual de los contrafuertes de la estructura del templo.

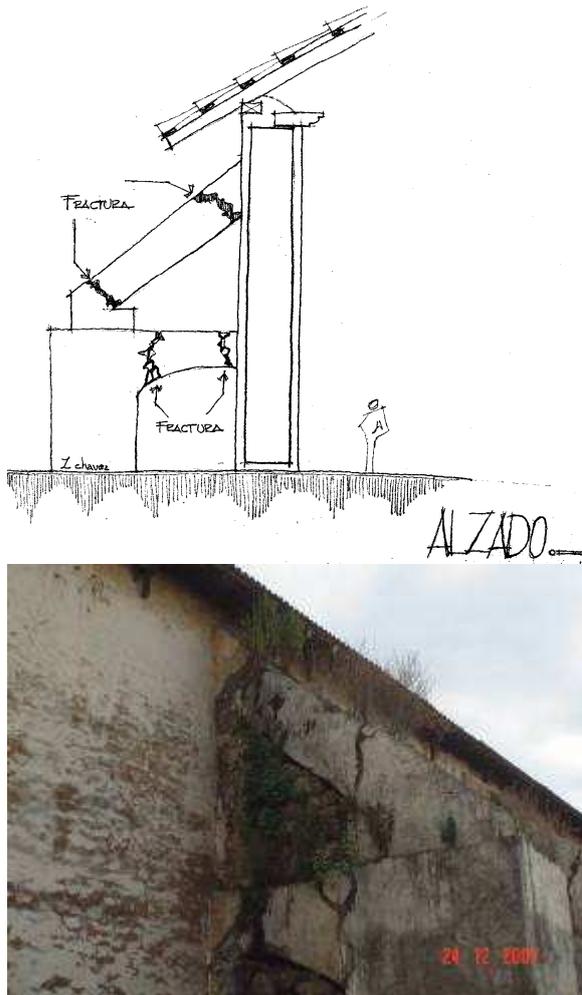


Figura 4. Levantamiento de daños y deterioros de los contrafuertes de la estructura del templo de Tiripetío, Michoacán México (Fotografía de A. Bedolla).

Los deterioros que se presentaban en estos cinco elementos consistían en fracturas en el área de cortante crítico de ambos elementos (ver Figura 4) todos en la misma posición, por lo que su intervención resultaba imperante en las acciones de intervención. No se conocen las causas ni fechas en las que se presentaron estos deterioros, la memoria de la comunidad no tiene referencias de en que tiempo se suscitó este deterioro.

Es común y de costumbre que en nuestras comunidades michoacanas el mantenimiento y la conservación de estos inmuebles estén a cargo de los denominados "semaneros": personas, grupos o comités de la propia comunidad que se encargan del templo por el lapso de tiempo de un año, tiempo en que este personal realiza las actividades de mantenimiento e intervenciones necesarias para su conservación. En este caso en particular, la comunidad implementó dos acciones que obligaron a tomar en cuenta; la primera, al observar las fracturas de los contrafuertes y por el temor de que estos colapsaran, rellenaron los vanos interiores con mampostería de piedra volcánica y la segunda acción fue realizada en la cubierta del templo en la cual, con la finalidad de economizar el tiempo, material y mano de obra en su mantenimiento, la estructura de madera original fue sustituida por un estructura metálica.

2.4. Revisión del problema.

Como se mencionó anteriormente, el problema se abordó con dos vertientes, la revisión estructural por cargas accidentales y la revisión tratadística por cuestiones de diseño, secciones y construcción, ambas vertientes con la finalidad de complementarse una con la otra y encontrar la causa de origen del problema.

En primera instancia, haciendo uso de los tratados de construcción relacionados con estos inmuebles se realizó la revisión constructiva espacial y conceptual arquitectónica con la finalidad de comprobar si lo establecido en los tratados se había aplicado en la construcción de este templo, ya que como se mencionó antes, éste es uno de los inmuebles más representativos en el ámbito académico durante el siglo XVI.

Aunque es difícil de comprobar la aplicación directa de los tratados en este tipo de edificaciones, está comprobado que los elementos estructurales como los muros, las columnas, las pilastras, los pilares, los contrafuertes, los arcos y las cubiertas, según se organicen estructuralmente, guardan un sistema de relaciones con características propias, que ha permitido que estas estructuras sean estables.

Todos estos elementos están establecidos en diseño y construcción en los tratados de la época. En el caso de los muros se manifiestan como uno de los elementos principales en las estructuras de las iglesias conventuales. Según algunos tratadistas, con respecto a este elemento constructivo, consideran su espesor como una parte proporcional de la luz de la nave; otros lo relacionan con la altura de la imposta o con elementos portantes como es la columna, así podemos citar a Vitruvio y otros que consideran que para determinar el grosor del muro se toma el grueso de la columna Toscana, determinada por la sexta parte de su altura¹ (Figura 5), Alberti notó que los antiguos determinaban el grosor del muro dividiendo el frente del templo en doce partes y donde se necesitaba más fuerza en nueve partes, dando una al grueso de la pared² (Figura 6). Simón García por su parte en el caso de las iglesias de una nave con capillas laterales, toma el ancho total del sitio, partiéndolo en cuatro partes, dando dos al ancho de la nave y dos a los dos lados de pilares y paredes, haciendo, entre pilar y pilar, capillas. Y si la iglesia no llevara capillas se dará de grueso a la pared y pilar la tercia parte del ancho de la nave. También considera el caso de las iglesias de tres naves en la cual se parte el ancho en ocho partes, dando dos a la nave mayor, dos a los dos pilares y dos y medio a las dos naves colaterales, y uno para las paredes y pilares de los lados en el caso de no llevar capillas laterales³. Gil de Hontañón considera el grosor del muro como $1/4$ del claro de la nave⁴. Fray Andrés de San Miguel, haciendo referencia a lo que consideran otros tratadistas, menciona que partiendo del ancho total propuesto para la iglesia, el grosor de los muros que no lleven estribos ocupará tanto como la mitad del área⁵. Lorenzo de San Nicolás, con respecto a las bóvedas de piedra, considera que los muros sin apoyo (sin contrafuertes) deben totalizar $1/3$ del espacio interior de la bóveda⁶.

Como se observa, la normas que se establecen son considerando edificios con cubiertas de bóveda, sin embargo, aplicando estas normas tratadistas en nuestro inmueble se observa como en términos generales el espesor del muro se acerca a lo establecido en el tratado de Alberti ya que una novena parte del claro corresponde a 1.69 m, mientras el espesor real es de 1.54 m obteniendo así una aproximación a la novena parte del claro de la nave, de la misma manera Vitruvio establece como debe de existir una proporción entre la altura del muro y su espesor, norma que en nuestro caso de estudio se cumple con una mínima diferencia (Figura 5).

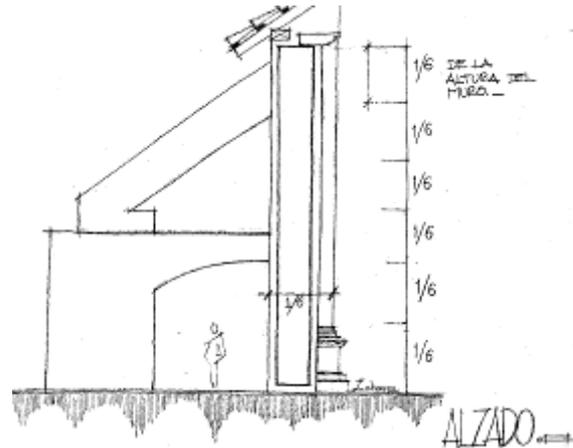


Figura 5. Proporcionamiento según tratado de Vitruvio para obtención del ancho de los muros

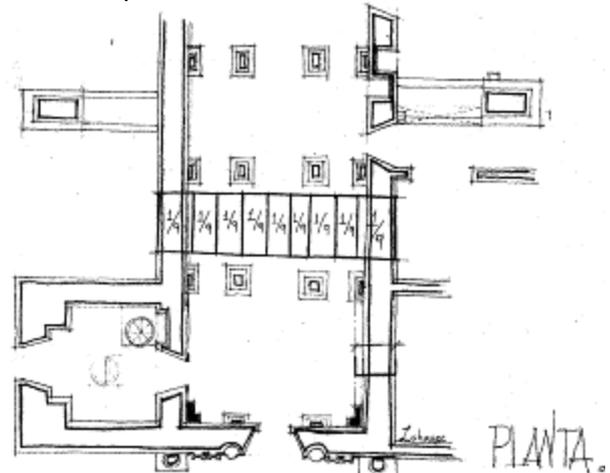


Figura 6. Proporcionamiento según tratado de Alberti para obtención del ancho de los muros

Los contrafuertes o estribos (que es como se mencionan en los tratados), son otro elemento importante para la estabilidad de las construcciones. Para su definición algunos tratadistas como Simón García relacionan el alto total de la nave, incluyendo el grosor de la bóveda y la altura de la imposta con respecto a la luz.

Tomado del folio 19v y 20r, explica el trazo a partir del radio de la bóveda de cañón corrido con arcos fajones de medio punto (Figura 5). También lo define considerando el espesor de la bóveda y la altura de la imposta, siendo importante la flecha de la bóveda con respecto a la luz. El folio 21r y 59r explica la definición de los estribos considerando la altura del templo incluyendo el espesor de la bóveda que se calcula de acuerdo al ancho del claro de la misma.

“...lo define la intersección con la diagonal trazada desde el punto más alto del estrados hasta uno de los vértices que forma el muro con el suelo. El ancho definido en el interior del templo debe transportarse con el compás hasta el exterior por medio de un semicírculo que tiene como radio el ancho del estribo, y como centro, el punto de intersección entre el muro y el plano de arranque de la bóveda”¹

Otros tratadistas definen la profundidad del contrafuerte o estribo como una parte proporcional del ancho total del templo. Esta viene a ser una parte proporcional de la luz⁸ como dice Fray Andrés de San Miguel retomando a otros tratadistas al referirse al grosor de muros, estribos y pilastras, y establece que el ancho total de la iglesia se divida en once partes (Figura 7)¹, dando al grueso de la pared dos partes (incluye pilastra y estribo) y como segunda opción se puede considerar dividir ésta en cuatro o cinco partes, dando una parte al grueso de la pared, siempre y cuando lo demás se parta entre pilastra y estribo; en el caso de que el material de las mezclas sean pobres o por otra razón se le deba dar más grueso a las paredes, se debe exceder de una octava parte del grueso de la pared, y añadiendo a los bajos de la bóveda una sexta parte⁹.

Lorenzo de San Nicolás, con respecto a las naves que se construyan con estribos, establece que la longitud de éstos será de 1/6 de la luz, dando otro sexto al grosor del muro, haciendo un total de 1/3 de la luz¹⁰ y su grueso será de 2/3 del grueso de la pared. Así mismo la distancia que ha de haber entre uno y otro ha de ser la mitad del ancho de la iglesia, quitando de este espacio los gruesos de ellos mismos. En el caso de que la nave tuviera capillas laterales los estribos tendrán de longitud el fondo de esta.

Los pilares y las columnas de la iglesia están relacionados con las normas que se establecen para los templos que no tienen capillas laterales o las de tres naves. El orden usado para las columnas según observaciones, es el toscano. Para determinar su sección, Simón García los establece proporcionalmente a la medida total del templo lo que se relaciona directamente con la luz, como se mencionó anteriormente en la determinación del grosor de los muros para iglesias de tres naves. Vitruvio, para la altura de las columnas, dice que debe de ser de seis partes para el fuste y una séptima parte para la basa y el capitel.

¹ Simón García considera que de sus propuestas para definir el estribo en el corte de un templo en todos los casos “...el ancho del estribo queda marcado en la horizontal que representa al plano teórico de arranque de la bóveda, lo define la intersección con la diagonal trazada desde el punto más alto del estrados hasta uno de los vértices que forma el muro con el suelo. El ancho definido del interior del templo se transporta con el compás hasta el exterior por medio de un semicírculo que tiene como radio el ancho del estribo, y como centro, el punto de intersección entre muro y el plano de arranque de la bóveda.” También propone que se puede calcular el estribo para una altura mayor de bóveda o de muro por regla de tres.

La sección de la misma es de $1/6$ de su altura, tratadista en el cual se basa Fray Lorenzo de San Nicolás, el cual también establece estas proporciones para columnas que se encuentren aisladas, pero si estas forman parte de un sistema estructural recomienda que estas tengan de altura una parte más¹¹. Con respecto a la altura de las pilastras, Fray Lorenzo de San Nicolás establece que éstas deben de tener las mismas proporciones que las columnas y su relieve, por regla general, ha de ser la doceava parte de su ancho. También menciona que si la pilastra estuviera acompañada con contrapilastra y traspilastra, podrá adelgazar más su espesor y aumentar en estos casos la altura de la columna de ocho a nueve o diez partes¹².

En este caso en particular encontramos que en general, la especificación de los estribos o contrafuertes está más relacionada con aquellos de los conventos tradicionales del siglo XVI, sin embargo, como se habló anteriormente, esta construcción sufrió muchas modificaciones en su esquema espacial y por ende en su sistema constructivo, lo que vemos reflejado en el dimensionamiento de la iglesia y contrafuertes donde seguramente se retomó lo dicho por Simón García dividiendo el ancho total del inmueble en 4 y dando dos partes a la nave y una a cada contrafuerte, ver Figuras 2 y 8.

Para el caso de la iglesia de Tiripetío se observa que el conocimiento de los tratados estaba presente en el conocimiento de sus constructores, sus proporciones están muy orientadas hacia una intención tratadística aunque es obvio que no se cumplen cabalmente dadas las condiciones temporales que se presentaban en el momento de su edificación, sin embargo se comprueba que existe la intención de la aplicación de las normas tratadísticas.

Para la otra vertiente para la revisión de este caso de estudio, haciendo uso de los métodos actuales de cálculo y las ciencias duras se realizó una revisión estructural del inmueble con base en el planteamiento de tres posibles hipótesis de la causa de la falla:

- **Hundimiento diferencial del inmueble.**

Esta hipótesis centraba la causa de origen de la falla en un posible asentamiento diferencial en el inmueble ya que además de los contrafuertes, las fachadas norte y sur presentaban fracturas en el núcleo de la mampostería por lo que la postura de un hundimiento diferencial daba respuesta a estos deterioros ya que ante los esfuerzos a tensión que pudieron haber tenido los elementos de mampostería se hubieran manifestado con fracturas en sus juntas, ante estos esfuerzos la mampostería es inoperante.

Para la comprobación o descarte de esta hipótesis se realizaron calas para determinar los niveles de desplante de la cimentación, de la misma manera se determinó el diseño y las

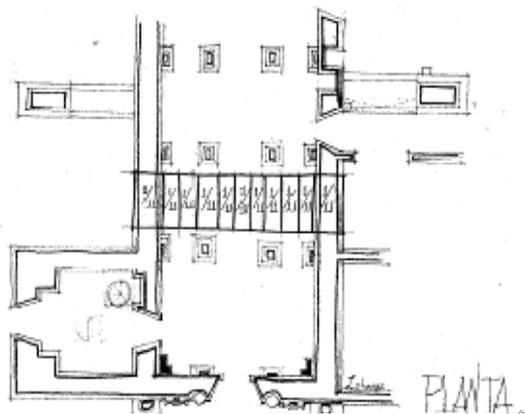


Figura 7. Proporcionamiento según tratado de Alberti para obtención del ancho de los muros

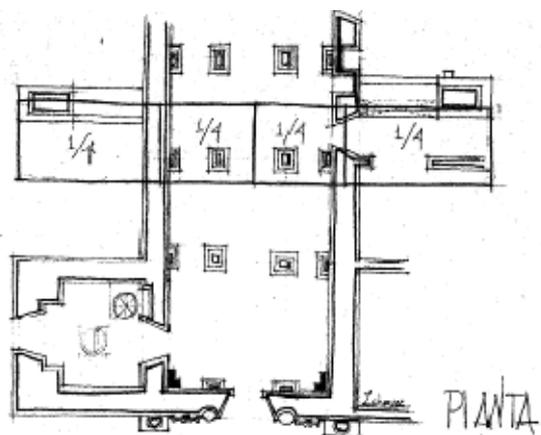


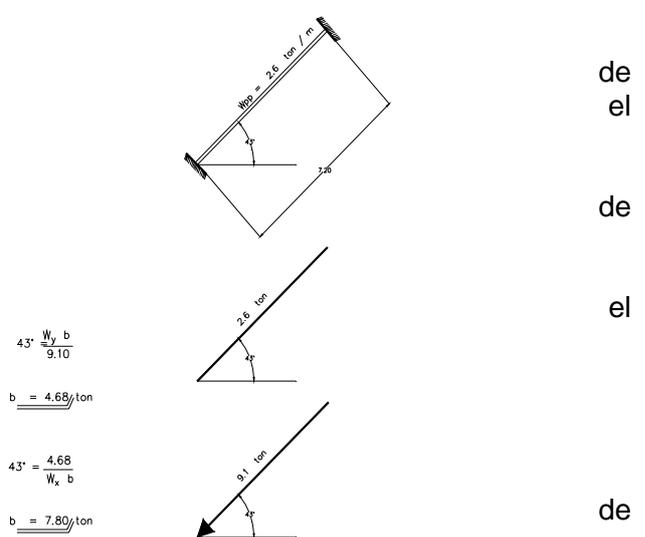
Figura 8. Proporción de los claros del Templo de San Juan Bautista de Tiripetío, Michoacán, México.

dimensiones de las secciones de los cimientos tanto de los muros como del elemento del contrafuerte. De manera paralela a esta actividad se realizaron estudios de mecánica de suelos para la obtención de la capacidad de carga del suelo del terreno.

Los resultados de estos estudios descartaron la hipótesis planteada en ambas vertientes, los niveles de cimentación se encontraban por encima de de los 2.60 m de profundidad y la capacidad de carga del terreno fue de 5.6 ton/m² siendo que la carga de los muros transmitida por la cimentación al suelo, es 2.2 ton/m². Las calas y nivelaciones sobre terreno descartan esta hipótesis.

La revisión estructural de los contrafuertes la fachada norte del templo de San Juan Bautista en Tiripetíó, se realizó bajo la consideración de que el núcleo que confina botarel o brazo y el elemento inferior de arco rebajado únicamente trabajará cuando haya una falla en el sistema constructivo por cortante.

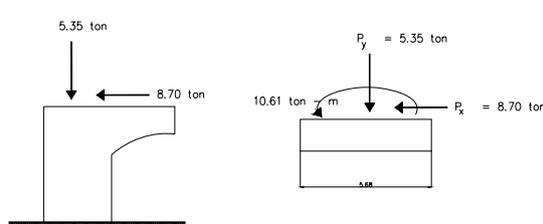
En este método se partió de la apreciación una falla constructiva de origen donde a la mampostería que conforma el botarel o brazo se le somete a un esfuerzo de tensión en sus extremos, el cual es totalmente inoperante en este material y en conjunto en el sistema constructivo de mampostería. La mampostería presenta resistencia que puede considerarse casi nula bajo sollicitaciones de flexión, caso de parte superior del botarel, el cual por su disposición está sometido a este esfuerzo, decir se considera para efectos de análisis como una viga simplemente apoyada en ambos extremos, situación totalmente incongruente para el material con el cual está construida. Se observó que la falla se manifiesta en los extremos del elemento botarel, que a su vez funciona como platabanda, es en los puntos críticos de mayor cortante ante los esfuerzos que se ejercen en el, de la misma manera es en estos mismos puntos donde el núcleo central proporciona el apoyo requerido para impedir la falla total del elemento, además de que se considera que el esfuerzo interno de fricción en la falla del elemento ocasiona un equilibrio en su núcleo interno lo que le brinda la estabilidad estructural requerida.



$$P_1 =$$

$$P_1 = 4.68 + 0.67$$

$$P = 5.35 \text{ ton}$$



$$F_{SD} \frac{Fr \text{ máx}}{V} \geq 1.0 < \begin{matrix} 1.5 V_{cp} \\ 1.2 V_a \end{matrix}$$

$$Fr \text{ máx} > H \text{ Equilibrio estable}$$

$$Fr \text{ máx} \frac{1}{2} (c A) + Q M$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{10.61}{84.15} = 0.12 \text{ m}$$

$$eL = B / r$$

Si hacemos $e = L e$

$$0.12 = B / b$$

$$B_L = 0.72 \text{ mts. Dimension mínima por giro}$$

la es que del

Como parte de la revisión general en conjunto al inmueble, se revisó de manera particular el comportamiento estructural a diversos elementos del inmueble, como el caso de cubierta, muros, columnas, etc., y su trabajo en relación a los contrafuertes, se determinó que estos elementos reciben y contrarrestan los esfuerzos producidos por la estructura de la cubierta y los producidos en ésta.

Para el desarrollo de esta revisión se tomaron en cuenta dos aspectos o alteraciones que se le habían hecho al inmueble: la primera, el cambio de la estructura de madera por estructura metálica con la cual se contemplaba la posibilidad de que al dejar de tener articulaciones en cada elemento de madera que transmitía cargas a los muros, se rigidizaran y se concentraran por la estructura metálica, lo que ocasionaría empujes diferenciales sobre los muros. Y la segunda, el relleno de mampostería en los vanos del contrafuerte, el cual por su propio peso ejercía un esfuerzo en los muros hacia el interior de la iglesia, lo que ocasionaría un empuje en sentido opuesto al ejercido por la cubierta.

Para poder confirmar o desechar estas hipótesis se realizaron revisiones por torsión, interacción de la estructura / muros de apoyo, revisión por giro o desplazamientos y revisión por flexión del botarel o brazo, análisis que permitirían ver el comportamiento estructural del inmueble y contrafuertes y obtener los resultados necesarios que permitieran encontrar la causa de origen de estas fallas. De manera concreta para el mejor entendimiento del caso se presentan de manera breve los resultados obtenidos en estos análisis:

Revisión por torsión. En este caso se encontró en la revisión de centroides la relativa simetría en planta, donde la variación de C g a CT es del rango del 2% lo cual no incide para que el efecto de cargas dinámicas por torsión sean determinantes para afectar a los contrafuertes.

Interacción estructura /muros de apoyo. En este caso se encontró en la nave una marcada relación de esbeltez 3:1 presentando la singularidad de encontrarse al interior columnas de madera con una enmarcada esbeltez interactuando con la estructura de cubierta (9:1) donde se observa:

- Que el componente horizontal sobre el muro se acentúa por este factor (relación esbeltez que sobre la componente horizontal se presenta)

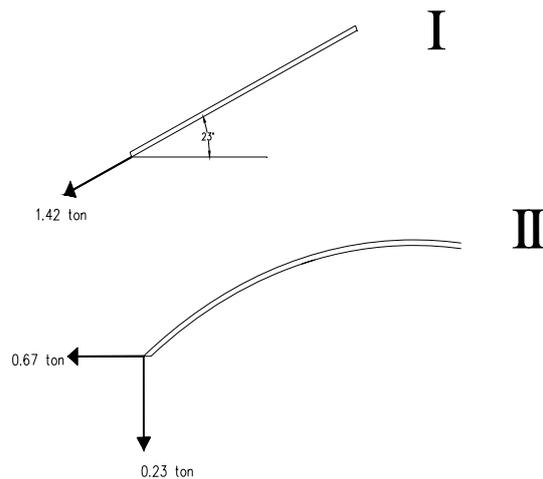
- La componente horizontal resultante de la bóveda de madera sobre el muro es mínima.

$$W_c = 384 \text{ kg/m}^2$$

Revisión por giro o torsión. En esta revisión los resultados dieron negativos, no existe deslizamiento, giro o torsión en el elemento por lo que se garantiza que la falla no es por esta causa.

En este resultado se observaron dos acciones:

- En la mampostería no existen esfuerzos a tensión.
- La falla presente se da por la presencia de una articulación por cambio de dirección con la hipótesis que no se presentan giros ni desplazamientos, es decir, es estable estructuralmente por lo que la falla observada obedece a una nula resistencia a la flexión y a la concentración de cargas en las juntas de mortero ante un soporte estable.



De I

$$\text{Sen } 23^\circ = \frac{W_{cy}}{1.42}$$

$$W_{cy} = 0.440 \text{ ton}$$

De donde :

$$W_{cx} = 1.35 \text{ ton}$$

La acción total sobre el botarel sera:

$$R_x \text{ I } +_x \text{ R II} = 2.02 \text{ ton}$$

$$R_y \text{ I } +_y \text{ R II} = 0.67 \text{ ton}$$

3. CONCLUSIONES

En términos generales la revisión estructural de los elementos que integran el contrafuerte arroja como resultado que la falla estructural existente en estos corresponde a dos aspectos:

A: Se presentan esfuerzos en el elemento que por la naturaleza y sistema constructivos de los materiales son totalmente inadecuados para resistir este esfuerzo, la mampostería por sus características es idónea para trabajar a compresión, pero no para los otros esfuerzos a los cuales está sometida, como cargas normales a su eje axial.

B: Las cargas coinciden en el centroide, no habiendo por este efecto esfuerzos que desestabilicen el sistema, es decir el partido estructural presente acusa por peso propio condiciones de estabilidad por giro y desplazamiento, condiciones de revisión que determinan que la falla del contrafuerte se debe a deficiencias constructivas y a una inadecuada concepción estructural de su trabajo dentro del conjunto presente, las características constructivas son de baja calidad.

Por otra parte, el material pétreo con el cual fue construido no contempla las características óptimas para ser utilizado como mampostería, ya que en un 60% este material se encuentra por debajo de los 30 cm de diámetro, es decir piezas muy pequeñas y por otro lado los cantos de este material son boleados lo que ocasiona cavidades en el núcleo del elemento y juntas muy anchas, debilitando el elemento al tener grandes proporciones de relleno de mortero como elemento de unión. Se considera que estos factores son de manera primordial los causantes de las fallas estructurales que se presentan de manera similar en cada uno de los contrafuertes.

Con los resultados de ambas vertientes de revisión, comprobamos como el inmueble obedece constructivamente a la intención de aplicación de las normas tratadísticas de la época de su construcción, por otro lado, la revisión estructural con métodos contemporáneos confirma la estabilidad estructural, los conocimientos constructivos de esta época eran aceptables y viables para su aplicación.

La conclusión para el caso de la falla por fractura en los puntos de cortante crítico de los contrafuertes no es debido ni a mal diseño ni a mala aplicación de los conocimientos constructivos, sino a la deficiencia de un criterio de selección en los materiales a utilizar en la construcción, debido seguramente a que muchas de las obras eran encargadas por los frailes pero construidas por el indígena por lo cual los criterios para la selección de los materiales a utilizar en un sistema constructivo nuevo para ellos.

La restauración de estos elementos se llevó a cabo únicamente empleando las actividades de re-mamposteo, sustituyendo la mampostería de pequeñas dimensiones por rocas de mayor dimensión y reduciendo los espesores de juntas.

BIBLIOGRAFÍA

Alberti, León Baptista. Los Diez Libros de Architectura de León Baptista Alberto. Traducidos del Latín en Romance, por Francisco Lozano, (Madrid: Casa de Alfonso Gómez, 1582). Ed. Facs. Colegios Oficiales de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 1975.

Báez Macías Eduardo, Obras de Fray Andrés de San Miguel, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas, México, 1969.

Chanfón Olmos Carlos, Compendio de arquitectura y simetría de los templos: Conforme a la medida del cuerpo humano, con algunas demostraciones de geometría, año de 1681: recocado de diversos autores, naturales y extranjeros, Colegio Oficial de Arquitectos, Mexico, 1991

García Simón, José Camón Aznar, Compendio de arquitectura y simetría de los templos, Universidad de Salamanca, España, (1681facsimilar) 1941

Kubler George, Graciela de Garay, Miguel Ángel de Quevedo, Arquitectura Mexicana del Siglo XVI, Fondo de Cultura Económica, México. 1983

San Nicolás, Fr. Laurencio de. Arte y Uso de Arquitectura. Compuesto por Fr. Laurencio de S Nicolás, Agustino Descalço, Maestro de obras. S. I., s.f. [1639]. (Edición Facs. Valencia: Colección Juan de Herrera dirigida por Luis Cervera Vera, Albatros Ediciones, 1981)

Agradecimientos:

Los autores agradecen a los Proyectos: “Caracterización de los materiales y sus alteraciones del Ex Convento de Tiripetío. Aplicación a la Enseñanza Superior y a una posible rehabilitación”, A/010109/07 y continuación en 2009 como A/016426/08, de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), entre España: Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Así como a la Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt CB 59999 por su soporte financiero.

¹ Andrés de San Miguel, Obras de Fray Andrés de San Miguel, p. 109

² Alberti, Libro 7, cap. 10

³ Simón García, Compendio de arquitectura y simetría de los templos, f. 50, 50v

⁴ Kubler, Arquitectura Mexicana del siglo XVI, p. 184

⁵ Andrés de San Miguel, Obras de Fray Andrés de San Miguel , p.109

⁶ Lorenzo de San Nicolás, Arte y Uso de Arquitectura, p. 46

⁷ Chanfón, op. cit., p. 54

⁸ Simón García, op. cit., f. 21r., p. 54

⁹ Andrés de San Miguel, op. cit., p. 109

¹⁰ Lorenzo de San Nicolás, op. cit., Cap. XX, p. 46

¹¹ Lorenzo de San Nicolás, ibídem, Libro I, Cap. XXXIV, p. 60

¹² Lorenzo de San Nicolás, Ibídem, Libro I, Cap. XXIX, p. 85

J. A. Bedolla Arroyo: Arquitecto, Maestro en Arquitectura, Estudiante de Doctorado y Profesor e Investigador de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, México. Restaurador y Conservador.

W. Martínez Molina: E. M. Alonso Guzmán, J. C. Rubio Avalos y F. A. Velasco Ávalos, Profesores e Investigadores de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, México y forman el Primer Cuerpo Académico Consolidado “Ciencias, Ingeniería y Tecnología de los Materiales para Construcción” de la misma.

J. A. Mendoza Jiménez: Arquitecto, Maestro y Doctor en Arquitectura, Profesor e Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Colima, Colima, México.

F. Méndez Flores: Ingeniero Civil, Maestro en Arquitectura, Estudiante de Doctorado en Arquitectura. Ejerce como Restaurador y ha realizado trabajos en el Estado de Michoacán, México.

Autores de Contacto: Juan Alberto Bedolla Arroyo y/o Elia Mercedes Alonso Guzmán, PIDA y Fac. Ing. Civil, Edificio F de Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México 58040, Teléfonos (52) 443 3223500, ext 4325, 4328; Fax (52) 443 3273856, Email: bedollaalberto@gmail.com y ealonso@zeus.umich.mx