

Transformaciones y permanencias constructivas y microclimáticas en iglesias y capillas virreinales en Yucatán

Fecha de recepción: 31 de julio de 2018.

Fecha de aceptación: 25 de septiembre de 2018.

En este trabajo se analizan, en términos constructivo y climático, un grupo de edificaciones religiosas virreinales yucatecas que perdieron sus techumbres originales de mampostería o de estructura de madera y cubierta de ramada, las cuales fueron sustituidas por materiales modernos, con predominio del concreto armado. El propósito es determinar el grado de alteración constructiva, espacial y térmico-ambiental en relación con sus condiciones originales.

Palabras clave: arquitectura virreinal, edificaciones religiosas, diagnóstico bioclimático, sistemas constructivos, simulación digital.

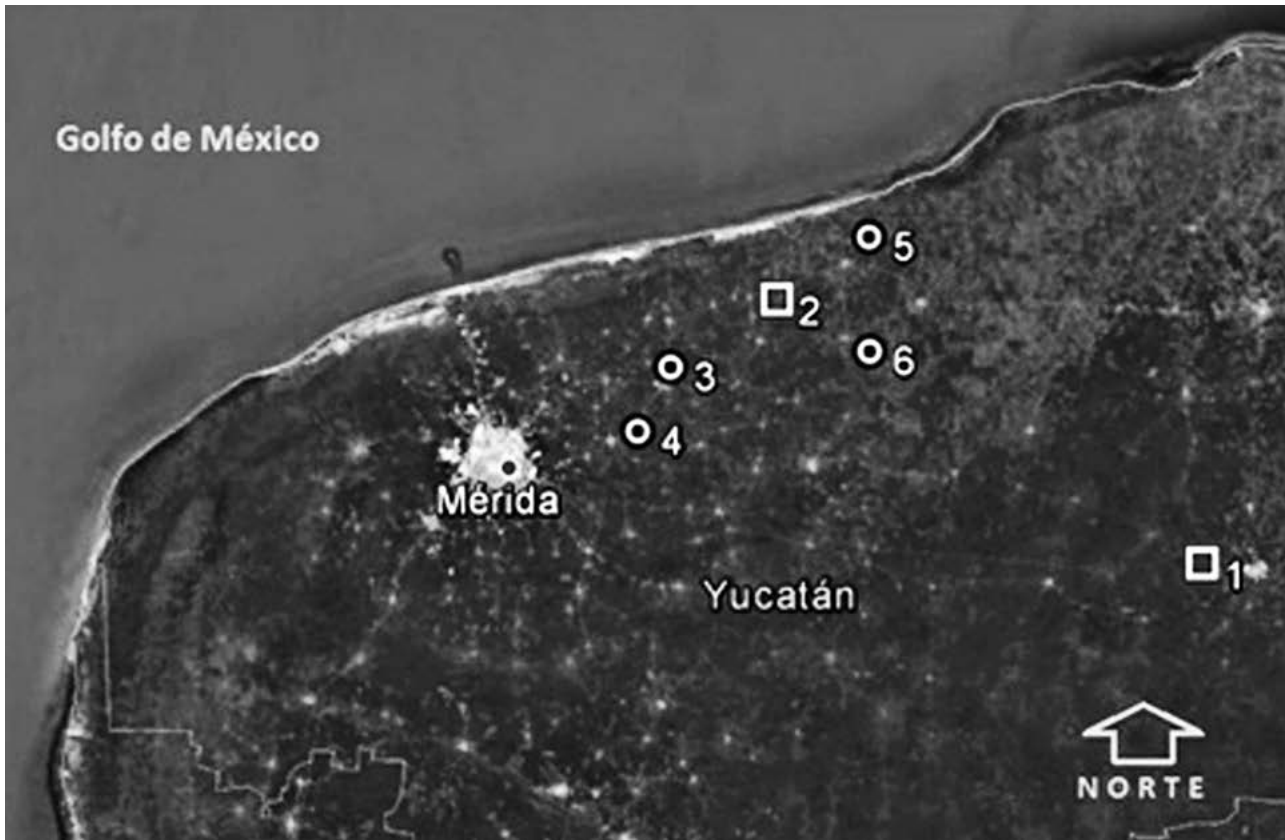
In this work a group of viceregal religious buildings in Yucatán was analyzed in terms of climate and construction. They lost their original roofing of masonry and wooden structures, which were replaced with modern materials, primarily reinforced concrete roofs. The aim is to determine the degree of building alteration, spatial and thermal environment with regard to its original conditions.

Keywords: viceregal architecture, religious buildings, bioclimatic diagnostic, construction systems, digital simulation.

A partir de mediados del siglo XVI y en la primera mitad del XVII los frailes franciscanos construyeron una gran cantidad de iglesias conventuales y capillas de visita en el actual estado de Yucatán. Las edificaciones religiosas de la zona oriente han presentado, en algunos casos, la caída de las cubiertas abovedadas de mampostería debido a fallas estructurales, las inclemencias del clima, el abandono y la falta de mantenimiento. Por otro lado, las naves de capillas de visita estuvieron cubiertas con el sistema de ramada, y a partir de los diferentes estados de consolidación económica de los poblados de visita, algunas naves de capillas fueron terminadas con base en los modelos de las iglesias conventuales. Sin embargo, existieron naves donde sólo se logró construir los muros, sin que fuera posible erigirlas con techumbres de materiales no perecederos, las cuales incluso continuaron descubiertas hasta muy entrado el siglo XX.

El objetivo de este trabajo es describir constructivamente las iglesias conventuales de Uayma y Dzidzantún, así como las capillas de visita de Ucí, Muxupip, Dzilam González y Dzoncauich, además de conocer la diferencia entre los ambientes térmicos que presentaban con sistemas de techumbres propias de la época de su construcción con los que se

* Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán.



Mapa 1. Ubicación de las iglesias conventuales de Uayma (1) y Dzidzantún (2), y de las capillas de visita de Ucí (3), Muxupip (4), Dzilam González (5) y Dzoncauich (6). Elaborado por los autores.

crean los sistemas de techumbres que se emplean en la actualidad cuando son rehabilitadas para su uso y conservación (mapa 1).

La metodología de trabajo de la descripción constructiva de las naves de las iglesias conventuales y de las capillas de visita se basó en la observación directa de sus sistemas y materiales constructivos, así como en la investigación documental en fuentes primarias y secundarias, a modo de establecer la secuencia histórica de las etapas constructiva; asimismo, el análisis se basó en el proceso general de evolución arquitectónica y constructiva de las capillas de visita establecido por Chico, desde mediados del siglo XVI hasta el XX.¹

¹ Pablo Chico Ponce de León, "Transformaciones y evolución de la arquitectura religiosa de Yucatán durante los siglos XVII y XVIII

Para determinar los efectos en las condiciones microclimáticas interiores de las iglesias o capillas por la integración de cubiertas de sistemas constructivos modernos en sustitución de las de materiales vegetales y pétreos utilizados originalmente, se simuló de manera digital las condiciones del pasado, se midieron las actuales y se compararon los resultados. Se estudiaron dos capillas rehabilitadas mediante la integración de techumbres con materiales modernos en años recientes.

La primera capilla, la de Ucí, presenta hoy en día techumbre a dos aguas con estructuras metálicas y cubierta de paneles metálicos con aislamiento a base

(la metodología de la investigación histórica de la arquitectura y el urbanismo en un caso de estudio)", tesis de doctorado, México, UNAM, 2000, pp. 665-666.

de membranas de refuerzo. Esta solución de cubierta se comparó con la de ramada que tuvo originalmente. El funcionamiento ambiental de la condición actual se estudió mediante el monitoreo con registradores digitales de temperatura y humedad colocados en su interior y en el exterior durante la temporada más caliente del año.

Con el objetivo de conocer el funcionamiento de la condición con cubierta de ramada, se recurrió a la simulación digital utilizando el *software EnergyPlus*, del Departamento de Energía de Estados Unidos, en su versión 8.5, con el *plug-in Legacy OpenStudio* para *Sketchup*.

La segunda capilla, la de Muxupip, se estudió con la solución actual de techumbre de bóveda en la nave central y techos planos en las naves laterales, las tres de concreto. Esa solución se comparó con la de bóveda de mampostería que tuvo anteriormente y que fue una solución común durante el periodo virreinal.

El estudio de las condiciones actuales se realizó por medio del monitoreo, utilizando registradores digitales colocados en el interior y en el exterior durante la temporada más caliente del año.

Para tener un conocimiento aproximado del comportamiento de la solución antigua de mampostería, se hicieron consideraciones teóricas ya confirmadas en un estudio previo de los autores, en el que se realizaron mediciones con registradores digitales en la iglesia Tercer Orden, ubicada en la zona central de la ciudad de Mérida, un edificio con muros de mampostería y techo abovedado del mismo material.

Las conclusiones se obtuvieron a partir de la comparación de las condiciones térmicas de las capillas con techumbres de materiales modernos respecto a las de techumbres antiguas de uso común en el periodo colonial. En todos los casos se usó una zona de confort como parámetro de evaluación de los ambientes interiores de los edificios estudiados,

determinada al utilizar la fórmula de ASHRAE² para 90% de la población: $0.31 * t_{ma} + 20.3$ para el límite superior, y $0.31 * t_{ma} + 15.3$ para el límite inferior, donde “tma” es la temperatura media del aire del clima local.

Sistemas constructivos de cubiertas

Por lo general, las naves de iglesias conventuales se construyeron en una sola etapa edificatoria a corto, mediano o largo plazo. Éstas fueron cubiertas con bóvedas de cañón corrido de mampostería. Para los casos analizados, en Dzidzantún la cubierta abovedada se sustituyó por elementos horizontales de concreto prefabricado pretensado, mientras que en Uayma fue reconstruida con dovelas de concreto. Por otra parte, la secuencia histórica de la edificación de las naves de capillas de visita está configurada por cuatro etapas constructivas:

1. La techumbre de la ramada es una estructura de madera a dos aguas cubierta con hojas de huano, apoyada en horcones de madera.
2. Los horcones son sustituidos por muros de mampostería; se conserva la techumbre de la ramada y el muro piñón de la fachada exhibe grandes declives, siguiendo la pendiente de la ramada.
3. La techumbre de la ramada es sustituida por cubiertas abovedadas de mampostería o por bóvedas de rollizos apoyadas en arcos de mampostería, adicionando a los muros contrafuertes para recibir los empujes generados por bóvedas y arcos.
4. A finales del siglo XIX, las techumbres de ramadas sobrevivientes o desaparecidas fueron

² ANSI/ASHRAE Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.

sustituidas por armaduras de madera a dos aguas. En el siglo xx se cubrieron con estructuras metálicas y láminas, y en algunos casos fueron sustituidas por losas de concreto plana o abovedadas o con elementos prefabricados de concreto pretensado.

Ejemplos de esta problemática existieron en las capillas de poblados de poca limosna, donde las naves no pudieron quedar cubiertas con bóvedas de mampostería o de rollizos debido a la fuerte inversión de recursos materiales y humanos que se requería. Las naves de capillas que se analizan aquí se configuraron con base en la secuencia de las etapas 1, 2 y 4. Las techumbres de las capillas fueron sustituidas, en Dzilam González y Dzoncauich, por elementos horizontales de concreto prefabricado pretensado; en Muxupip, por bóveda de concreto armado, y en Ucí, con armadura metálica. La descripción de las naves de los ex conventos y capillas de visita y sus etapas constructivas se organizó de acuerdo con los sistemas constructivos de cubiertas modernas: concreto, concreto prefabricado y estructura metálica.

Cubiertas de concreto

Capilla de Santiago, Muxupip, Yucatán

Muxupip fue visita de la doctrina de Motul (1567), por lo que la construcción de la capilla pudo haberse efectuado a partir de esa fecha y terminado antes de 1581, año en que se menciona que estaba edificada a cal y canto.³ La capilla de visita constaba de presbiterio, sacristía y coro, y ramada.

La capilla tiene bóvedas de cañón corrido en los tres espacios, y los muros son de mampostería aparejada nucleada con espesores de 1.20 m en la sacris-

³ *Relaciones histórico-geográficas de la Gobernación de Yucatán*, vol. I, México, UNAM, 1983, p. 73.

tía y el coro, así como de 1.80 m en el presbiterio. Aparentemente, la primitiva espadaña se construyó antes que el coro, pues se observa la estructura de mampostería y sillares de refuerzo, arrancando desde el nivel del terreno, y la mampostería del muro se ajustó a los espacios dejados entre los dos pilares de la espadaña.

La nave estaba cubierta con una estructura de madera y techumbre de huano a dos aguas, llamada ramada. La sustitución de los postes u horcones de la ramada de la nave por los muros de mampostería no tiene una fecha documentada; sin embargo, es posible que se haya efectuado a principios del siglo xvii, como fue la tendencia observada en las capillas de visita pertenecientes al partido de la Costa, donde se ubica esta edificación.⁴ Los muros de la nave son de mampostería, con un poco más de 90 cm de ancho, y el claro es de casi 14 m. Los claros de los vanos fueron librados con dinteles de vigas de madera, a diferencia de otros casos, en que se resolvieron con capialzados.

La nave permaneció mucho tiempo sin cubierta, y fue antes de 1929 cuando se construyó una techumbre de dos aguas con armaduras y postes de madera, así como con cubierta de lámina acanalada, formado tres naves en el interior de la iglesia⁵ (figura 1).

En el último tercio del siglo xx, la cubierta de madera fue sustituida por otra de concreto con forma abovedada en la nave central y plana en las naves laterales, sostenidas por columnas de concreto armado, además de que se repararon las azoteas del presbiterio, la sacristía y el coro (figura 2).

En este caso, para la elección de la forma de la cubierta actual no se tomó en cuenta la inclinación

⁴ Manuel Arturo Román Kalisch, "El proceso constructivo y sus transformaciones de la arquitectura religiosa virreinal en Yucatán", tesis de doctorado, México, UNAM, 2005, pp. 128-146, 158-167.

⁵ Justino Fernández (comp.), *Catálogo de construcciones religiosas del estado de Yucatán*, México, SHCP, 1945, vol. II, p. 465.

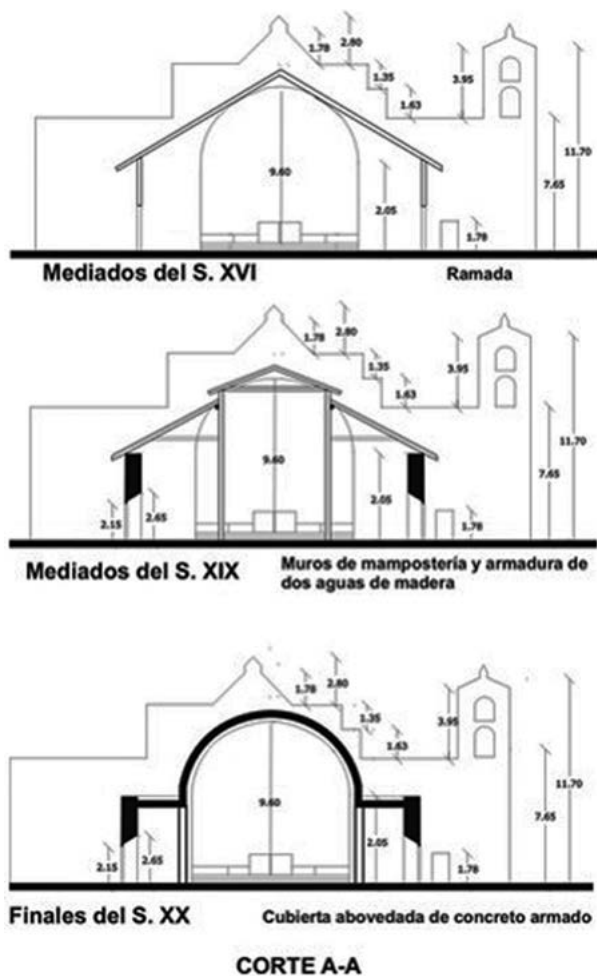


Figura 1. Cortes arquitectónicos en los que se aprecian los diferentes tipos de cubiertas de la capilla de Santiago, Muxupip, Yucatán. Plano elaborado por los autores con base en el levantamiento de Justino Fernández, Justino Fernández (comp.), *Catálogo de construcciones religiosas del estado de Yucatán, México*, SHCP, 1945, vol. II, p. 465.

del muro piñón que contenía a la techumbre de dos aguas de la ramada primitiva. Por lo tanto, se perdió la oportunidad de restituir la espacialidad original que poseía la nave de la capilla con la techumbre perecedera.

Iglesia conventual de Santo Domingo, Uayma, Yucatán

Antes de ser fundado el convento de Santo Domingo, en 1581, fue visita de la doctrina de San Bernardino de Sisal. Hacia 1580, el encomendero Juan Vellino

escribió acerca de Uayma que “[...] tiene este pueblo iglesia y sacristía y coro y casa para los religiosos con sus celdas”⁶ Menciona además que él mismo llegó acompañado por un religioso franciscano para visitar y trazar la obra de la iglesia, por lo que es posible elucidar que la iglesia existente haya sido la primitiva capilla de indios, ubicada al sur del convento, y que a partir de 1581 se iniciaran los trabajos de construcción del convento y de la iglesia conventual, al parecer terminada en la década de 1640.⁷

La nave de la iglesia conventual se construyó con una bóveda de medio punto con piedras *tzales*⁸ asentadas con mortero de cal, conformando las hiladas longitudinales con aparejo recto y traslapes entre hiladas. El lecho superior tenía una capa de argamasa con agregado pétreo de unos 5 cm de ancho y otra inferior de menor espesor. Los muros de mampostería aparejada nucleada tienen un grosor de casi 3 m.

En los trabajos de restauración de la nave, el personal encargado de la obra describe a detalle la configuración de la bóveda de mampostería:

Los aparejos o *tzales* que conforman la bóveda tienen una dimensión aproximada de 40 centímetros de canto por 30 centímetros de largo y su espesor va de los 8 a los 10 centímetros. Las juntas son de mortero de unos 3 a 5 cm de espesor, dispuestas radialmente de acuerdo a la geometría del elemento. En el sentido longitudinal, las piezas no describen arcos individuales, sino que se encuentran cuatrapeadas dando continuidad constructiva a la techumbre, este cuatrapeo es de un tercio del largo de la pieza aproximadamente, que equivale a

⁶ *Relaciones histórico-geográficas...*, *op. cit.*, vol. I, p. 171.

⁷ J. Fernández, *op. cit.*, vol. II, p. 766; Martha Pacheco León *et al.*, *Memoria de restauración de un inmueble histórico. Templo y ex convento de Santo Domingo, Uayma, Yucatán*, México, Gobierno del Estado de Yucatán, 2007, p. 22.

⁸ Las piedras *tzales* o laja tienen forma cuneiforme y se utilizaron en aparejo recto para configurar las hiladas de arcos, capialzados, bóvedas y cúpulas.



Figura 2. Vista del interior de la nave hacia el presbiterio, con la cubierta abovedada de concreto armado en la capilla de Santiago, Muxupip, Yucatán. Fotografía de los autores.

unos 10 centímetros. En la parte superior de los aparejos se aprecian cuñas de piedra que ayudan a conformar la curvatura y a fijar la posición de los aparejos.⁹

En el siglo xx la nave estaba prácticamente destechada por el colapso que sufrió la bóveda en algún momento; el segmento de la cubierta sobreviviente estaba en malas condiciones de estabilidad, además de que el muro de la fachada principal presentaba cuarteaduras¹⁰ (figura 3).

⁹ M. Pacheco, *op. cit.*, p. 22.

¹⁰ J. Fernández, *op. cit.*, vol. II, p. 766.

En el primer lustro del siglo XXI, el gobierno del estado, a través de la Dirección de Preservación del Patrimonio Histórico, realizó la restauración de la bóveda de la nave del templo y el coro, así como de la pintura mural y los estucos, apoyándose en la reconstrucción virtual para el proyecto de restauración de las cubiertas abovedadas y de los elementos decorativos que la distinguen; otro acierto fue el de utilizar un sistema constructivo similar al original de la bóveda de piedras lajas con dovelas de concreto, con lo que se rescató la espacialidad original del inmueble.¹¹ La solución

¹¹ M. Pacheco, *op. cit.*, pp. 15-25.



Figura 3. Vista de la nave destechada hacia 2003, donde se observa el deterioro de la iglesia conventual de San Antonio, Uayma, Yucatán. Fotografía tomada de Martha Pacheco, 2007, p. 22.



Figura 4. Vista durante la ejecución de la obra de la nueva bóveda de la iglesia conventual de San Antonio, Uayma, Yucatán. Fotografía tomada de Martha Pacheco León et al., *Memoria de restauración de un inmueble histórico. Templo y ex convento de Santo Domingo, Uayma, Yucatán, México, Gobierno del Estado de Yucatán, 2007*, p. 25.

constructiva y estructural consistió en un aparejo de dimensiones similares a las originales, fabricado con concreto aligerado tipo adocreto víbro comprimido mecánicamente. Las piezas tienen una resistencia a la compresión de 40 kg/cm², con dimensiones estándar de 50 × 50 × 8 cm, junteadas con mortero de cemento y polvo¹² (figura 4).

Cubiertas de concreto prefabricado

Iglesia conventual de Santa Clara, Dzidzantún, Yucatán

La fundación del convento se efectuó en 1567,¹³ y la construcción del conjunto religioso ya estaba termi-

nada hacia 1580, dato confirmado por la asistencia de los vecinos de la población cercana de Buctzotz al convento de Dzidzantún a oír misa a la iglesia conventual.¹⁴ El fraile franciscano Francisco Gadea edificó el convento y la iglesia que el cronista Lizana consideraba la mejor edificada hasta ese momento.¹⁵ En 1588 el cronista fray Antonio de Ciudad Real describió las partes y dimensiones de la iglesia:

Es el cuerpo desta [sic] iglesia de un cañón de bóveda de ciento sesenta pies de largo y de cuarenta de ancho, la capilla está labrada de cantería de lazos, y tiene de largo desde el arco toral hasta el testero del altar

¹² *Ibidem*, p. 24.

¹³ Diego López de Cogolludo, *op. cit.*, vol. I, p. 410; J. Fernández, *op. cit.*, vol. I, p. 149.

¹⁴ *Relaciones histórico-geográficas...*, *op. cit.*, vol. I, p. 402.

¹⁵ Bernardo de Lizana, *Historia de Yucatán. Devocionario de nuestra Señora de Izamal y conquista espiritual*, México, UNAM, 1995, p. 249.



Figura 5. Vista hacia el presbiterio, donde se observa la techumbre de concreto prefabricado y los arranques de la bóveda de mampostería de la nave de la iglesia conventual de Santa Clara, Dzidzantún, Yucatán. Fotografía de los autores.

mayor, ochenta y dos pies; el ancho es el mismo [sic] que el de la iglesia [...] el suelo del coro alto es también de bóveda, del mismo [sic] ancho y de treinta y nueve pies de largo.¹⁶

Los muros son de mampostería aparejada nucleada de un poco más de 2.50 m de ancho. Los capialzados de accesos y ventanas están configurados por piedras laja o *tzales*. El aparejo de la bóveda es similar al de Uayma.

En 1928, García Preciat escribió que el muro sur de la iglesia se desplomó y provocó la caída de la cubierta de cañón corrido hasta el arco del triunfo o toral del presbiterio. Este arquitecto desconoce la fecha del derrumbe, pero supone que fue durante el siglo XIX, y afirma que en la segunda década del siglo XX el muro de la fachada principal fue demolido, ya que se consideró que, dadas las condiciones que presentaba, constituía un peligro para la población.¹⁷

La nave permaneció destechada hasta que en el último tercio del siglo XX fue cubierta con una techumbre de trabe losas de concreto prefabricado. Las trabe losas fueron colocadas arriba del nivel del lecho superior de los arranques de la bóveda de mampostería, los cuales no fueron demolidos durante los trabajos de integración de la techumbre prefabricada y quedaron como evidencia física de la cubierta original (figura 5).

Éste es otro caso en que no se proyectó la nueva cubierta con base en la forma abovedada de la cubierta anterior, con lo que se modificó de manera sustancial la espacialidad original de la nave.

Capilla de San Juan Bautista, Dzoncauich, Yucatán

Dzoncauich fue visita de la doctrina de Temax, fundada en 1591, por lo que la capilla podría haber sido

¹⁶ Antonio de Ciudad Real, *Tratado curioso y docto de las grandezas de la Nueva España*, t. 2, México, UNAM, 1976, p. 335.
¹⁷ J. Fernández, *op. cit.*, vol. I, pp. 149-150.

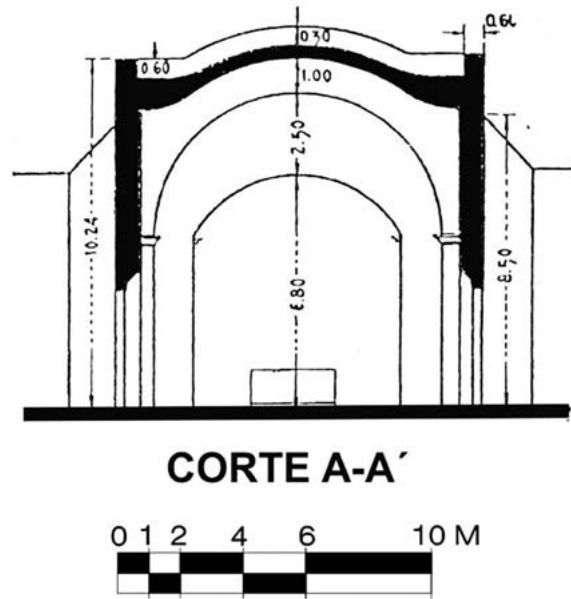


Figura 6. Corte arquitectónico en el que se aprecia la desaparecida bóveda de rollizos en la capilla de San Juan Bautista, Dzoncauich, Yucatán. Tomado de J. Fernández, *op. cit.*, vol. I, p. 172.

construida a partir de ese año. La capilla de visita estaba compuesta por el presbiterio, que tenía bóveda de cañón corrido, en tanto que la sacristía y el baptisterio tenían techumbres de rollizos y la ramada. Más adelante se construyeron muros de mampostería nucleada aparejada en sustitución de los horcones de la nave, y se conservó la cubierta de huano de la ramada. Durante el periodo de gran actividad constructiva secular de la segunda mitad del siglo XVIII, la cubierta vegetal fue sustituida por una cubierta de bóveda de rollizos, soportada por arcos perpiaños o fajones, los cuales descargaban los empujes en pilastras y contrafuertes de mampostería del mismo aparejo que los muros (figura 6).

Hacia 1929, la cubierta de bóveda de rollizos se encontraba en malas condiciones.¹⁸ Años más tarde, y debido al continuo deterioro de la bóveda de rollizos, ésta colapsó, permaneciendo destechada hasta la década de 1970.¹⁹ En ese tiempo la nave

¹⁸ *Ibidem*, vol. I, p. 172.
¹⁹ Alrededor de 1975, el sacristán de la capilla, Juan Verde Euan, atestiguó el estado de deterioro del inmueble.



Figura 7. Vistas de la nave hacia el presbiterio de la capilla de San Juan Bautista, Dzidzantún, Yucatán. Fotografía de los autores.

fue cubierta con trabe losas de concreto pretensado (figura 7), mientras que el presbiterio quedó cubierto con bóveda de concreto armado; la sacristía y el antiguo baptisterio fueron techados con losa de viga y bovedilla. De nuevo la forma de la cubierta abovedada de rollizos no se tomó en cuenta para la selección de un sistema constructivo que mantuviera la espacialidad anterior de la nave.

Capilla de San Francisco, Dzilam González, Yucatán

Fue visita del convento de Dzidzantún (1576), y aunque no hay datos sobre la construcción de la capilla,

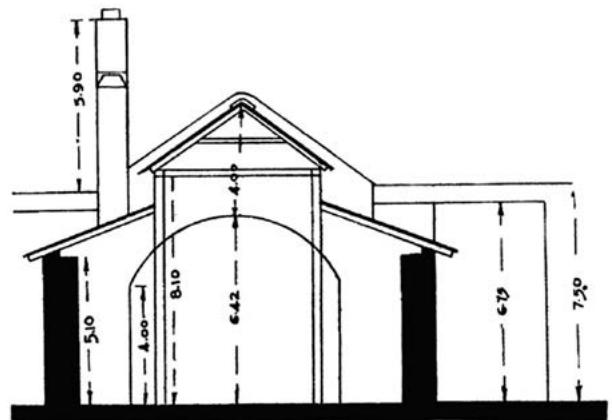


Figura 8. Corte arquitectónico en el que se aprecia la cubierta metálica en 1929 de la capilla de San Francisco, Dzilam González, Yucatán. Tomado de J. Fernández, *op. cit.*, vol. 1, p. 162.



Figura 9. Vista hacia el presbiterio, donde se observa la techumbre plana de concreto prefabricado y las ventanas adosadas en los muros laterales en la nave de la capilla de San Francisco, Dzilam González, Yucatán. Fotografía de los autores.

es posible estimar su construcción a partir de 1603, año en que la visita de Dzilam González ya tenía un franciscano residente.²⁰ La capilla constaba de presbiterio, sacristía y baptisterio, todos cubiertos con bóvedas de mampostería, y la nave, de ramada. Más adelante los horcones de la ramada fueron sustituidos por muros de mampostería. Luego desapareció la cubierta de la ramada, y hacia 1900 la cubierta de la iglesia fue reconstruida, formando tres naves, con una estructura de madera de dos aguas con cubier-

ta de lámina y sostenida por postes de madera en la nave central y por los muros de mampostería en las laterales²¹ (figura 8).

De seguro en la década en que se sustituyó la cubierta de Dzoncauich sucedió lo mismo en esta capilla: la cubierta metálica cedió su lugar a una techumbre de trabe losas de concreto pretensado, con lo que también cambió la espacialidad de la nave. En el lecho superior de los muros laterales se colocaron ventanas para darle mayor iluminación al interior de la nave (figura 9).

²⁰ Peter Gerhard, *La frontera sureste de la Nueva España*, México, UNAM, 1991, p. 87.

²¹ J. Fernández, *op. cit.*, vol. 1, pp. 161-162.



Figura 10. Vista de la nave de la capilla de San Antonio, Ucí, Yucatán, ca. 2000. Fotografía de los autores.

Cubiertas con estructura metálica

Capilla de San Antonio, Ucí, Yucatán

No hay datos acerca de la fecha de construcción de la capilla de indios; sin embargo, es posible situarla en el último tercio del siglo XVI, a partir de la fundación del convento de Motul, en 1567. La capilla de indios se compone de presbiterio, sacristía y baptisterio abovedados. La mampostería de la capilla es de hieladas regulares, con una gran cantidad de sillarejos, seguramente de extracción de las ruinas prehispánicas del lugar. En esos años la nave estaba compuesta por una ramada hecha con estructura de madera a dos aguas, recubierta de palmas de huano. Los muros de la nave tienen 4.75 m de altura y 1.25 m

de espesor; la nave tiene un claro de 14.85 m, mayor que la de Muxupip, y también quedó destechada. Por el ancho de la nave, cabe suponer que los religiosos encargados de la obra pensaron en construir una iglesia de tres naves.

A principios del siglo XXI la nave presentaba un estado de conservación pésimo y sin techumbre; sólo estaban en pie los muros laterales, mientras que el muro piñón de la fachada principal poniendo se vino abajo, dejando a la vista la composición interior de los muros, con un núcleo de piedras de medianas a chicas, con mortero de cal. El interior de la nave se hallaba dividido en dos partes por un muro de mampostería transversal con un vano al centro; adosada al presbiterio estaba una estructura



Figura 11. Vista del interior de la nave hacia el presbiterio, donde se aprecia la estructura metálica de la nueva techumbre en la capilla de San Antonio, Ucí, Yucatán. Fotografía de los autores.

de concreto armado con cubierta de lámina de asbesto, donde se oficiaba la misa (figura 10).

En 2005, el gobierno del estado inició los trabajos de integración de una cubierta metálica de dos aguas a la nave de la capilla. Los trabajos comenzaron a mediados de 2005 y terminaron un poco después.²² La techumbre de dos aguas está configurada por marcos rígidos a base de columnas y vigas "I". La cubierta es de paneles metálicos con aislamiento a base de membranas de refuerzo. Las columnas quedaron integradas en el espesor de los muros de mampostería (figura 11). Ésta fue una solución constructiva en la que se reinterpretó a la estructura de

madera de dos aguas de la ramada y que mantiene la espacialidad original de la nave, contrario a lo que sucedió en las otras iglesias analizadas, donde cambiaron por completo la forma original y la espacialidad.

Transformación de condiciones térmicas internas por la integración de techumbres modernas

Condiciones térmicas de la región

Todas las iglesias conventuales y capillas de visita que son objeto de este trabajo se ubican en el estado de Yucatán, en la zona noroeste de la península del mismo nombre, y a una distancia que oscila entre los 7 y los 32 km de la costa (mapa 1, *supra*). La ex-

²² *Diario de Yucatán*, 5 de junio de 2005, sección Local, p. 20.

cepción es Uayma, ubicada al este, y cuya distancia al mar es de 91 km. Respecto a las condiciones climáticas de los edificios estudiados, y de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García,²³ la mayoría está en la zona de clima subtipo Aw_0 , que es el menos húmedo de los Aw —los subhúmedos—, aunque Dzilam González se encuentra en los límites donde prevalece el tipo Bs (árido), y Uayma, muy cerca del subtipo Aw_1 , más lluvioso que el Aw_0 .

No obstante, para las consideraciones de la sensación térmica que se realizan más adelante, el término árido y subhúmedo de la clasificación de Köppen modificada por García no es conveniente, ya que se refiere al régimen de lluvias y no a la cantidad de humedad en la atmósfera, que es la que importa desde el punto de vista de la sensación térmica.

En el caso de la región cercana a la costa de Yucatán, las lluvias son poco abundantes, si bien el océano y ciénagas constituyen una inmensa fuente de vapor de agua. Esos lugares, por lo tanto, pueden ser más húmedos que los clasificados así por García. En estos sitios prevalece el calor. Las temperaturas medias anuales varían entre $25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $27.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, y las máximas promedio del mes más caliente entre $34.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque se han registrado temperaturas récord entre $40.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, en Valladolid, estación cercana a Uayma, y $46\text{ }^{\circ}\text{C}$, en Motul, ciudad cercana a las poblaciones donde se ubican los otros templos considerados.

Las condiciones térmicas interiores de los edificios estudiados se evaluaron en función de las condiciones de confort, cuya zona se calculó con la fórmula de la ASHRAE ya citada y la temperatura media de todo el año de Motul reportada en las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), igual a $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. De tal manera, para 90%

²³ Enriqueta García, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, México, UNAM, 1973.

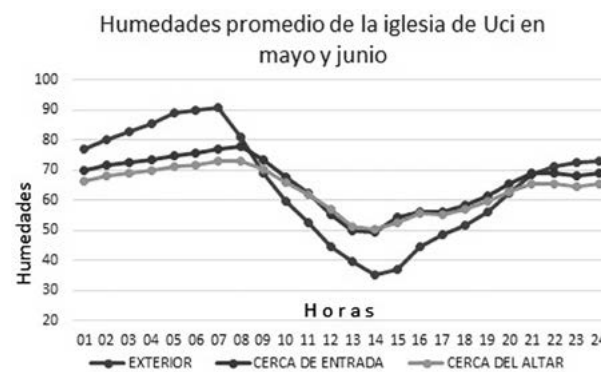
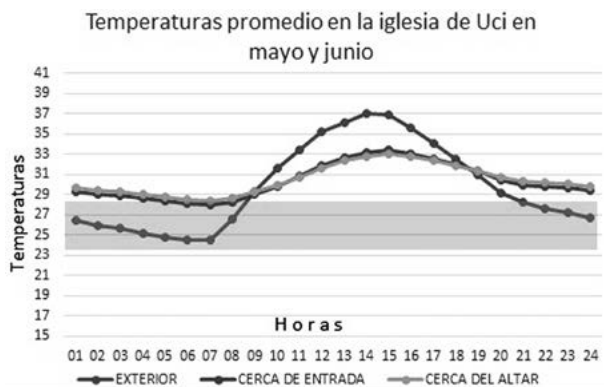
de la población el límite inferior de la zona de confort calculado es de $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el superior de $28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Caso 1. Condiciones térmicas de la capilla de visita de San Antonio de Ucí con techumbre actual de multipanel

La capilla de San Antonio de Ucí se encuentra a 1.7 km de Motul, su cabecera municipal, y a 3.5 km de la iglesia principal. La capilla está construida con muros de mampostería, y la techumbre actual de la nave, que alguna vez fue de ramada, es de dos aguas con estructuras metálicas, cubierta de paneles metálicos con aislamiento a base de membranas de refuerzo, que cubre aproximadamente 720 m^2 . En este caso la techumbre no se apoya directamente sobre los muros, quedando una separación de 36 cm entre ambos elementos. El sistema constructivo de la cubierta, “multipanel” o “panel sándwich”, se conforma por una placa con láminas de acero que comprimen un núcleo o alma de material aislante, ya sea poliestireno o poliuretano. La superficie de la cubierta que está en contacto con el ambiente exterior quedó forrada con malla de poliéster de refuerzo con impermeabilizado rojo terracota, mientras que en el espacio interior el plafón está pintado de blanco.

Para determinar las condiciones térmicas se colocaron sensores digitales de temperatura y humedad en dos puntos distantes en el interior, uno cercano a la entrada principal y otro al presbiterio, y como testigo de comparación de las condiciones externas se usaron datos medidos en el poblado de Muxupip. Éstos también se emplearon en el estudio de la capilla de esa población, debido a la distancia (10 km) y a que no existen condiciones naturales que alteren las condiciones térmicas de uno y otro sitio. El periodo monitoreado fue de mayo a junio de 2016.

Los resultados se muestran en las gráficas 1 y 2. Las condiciones de las dos zonas monitoreadas son muy semejantes, por lo que puede hablarse de una condición homogénea dentro del edificio. La prime-



Gráficas 1 y 2. Variabilidad de la temperatura y la humedad, respectivamente, en un día promedio del periodo de medición, en la capilla de Uci, con su techumbre actual de materiales modernos. Elaboradas por los autores.

ra característica notoria es la gran variabilidad térmica durante el día. La oscilación o diferencia entre las temperaturas extremas es de 4.5 °C.

Se observa que para la humedad promedio pre- valeciente en el interior y mayor de 50%, las temperaturas promedio son cómodas de 2:00 a 8:00 de la mañana, pero incómodas el resto del día, que es el horario de uso de estos edificios.

Caso 2. Condiciones térmicas de la capilla de visita de San Antonio de Uci con techumbre original de ramada

Originalmente, y en su última etapa constructiva, antes de su colapso y posterior reconstrucción, la cubierta de palma de huano o ramada fue la solución utilizada para cubrir el amplio espacio de la nave del templo de San Antonio de Padua. La cubierta de material vegetal perecedero fue armada con una estructura de madera. Esta solución autóctona se emplea en casas mayas como una expresión tecnológica y del material constructivo disponible en el lugar, a la vez utilizada como medio de adaptación climática por ser permeable al aire caliente del interior.

Para conocer el comportamiento térmico de la capilla con techumbre de ramada se dibujó un modelo en 3D orientado 17° respecto al eje noroeste-sureste, tal como se encuentra el sitio (figura 12). Esto propicia una adaptación climática, al reducir la expo-

sición de la envolvente al sol por su posición, siendo más notorio el beneficio en la segunda mitad del año. Así, el modelo fue configurado con las propiedades térmicas de los materiales empleados en los diferentes sistemas constructivos de la capilla, y calibrado utilizando los resultados reales de la medición del periodo de estudio conseguidos por los registradores digitales, con el objetivo de lograr confiabilidad en los resultados simulados al tomar como base los datos medidos. Por último, se realizó la simulación para el mismo periodo con la condición de cubierta de huano (figura 13).

Los resultados se muestran en las gráficas 3 y 4 y son muy semejantes a los que se midieron con la cubierta moderna. Se aprecia que existe una reducción de la temperatura máxima en el interior de 4 °C en relación con la exterior, y que durante el periodo útil no existen condiciones de confort.

Caso 3. Condiciones térmicas de la capilla de visita de Santiago de Muxupip con la techumbre actual de concreto

La capilla de Santiago de Muxupip también está construida con muros de mampostería; la techumbre actual cubre las naves laterales con losas planas, y la nave central, con losa abovedada. Las tres son de concreto. Para determinar las condiciones térmicas también se colocaron sensores digitales de

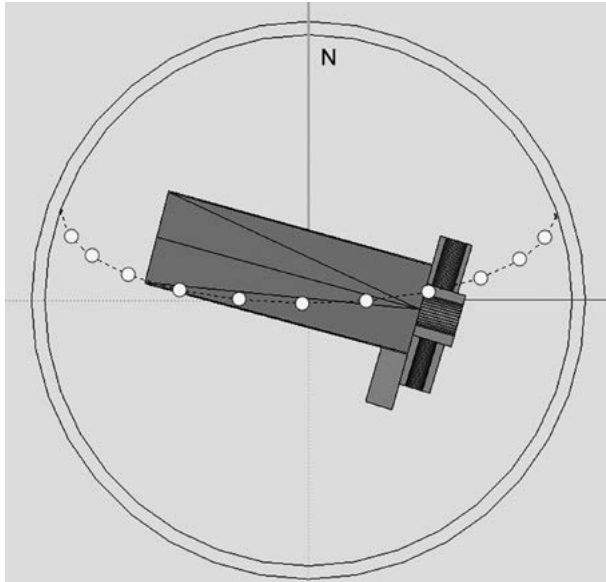


Figura 12. Vista de planta del modelo 3D de la capilla de Ucí, creado para la simulación con su orientación original y recorrido del sol. Elaborada por los autores.

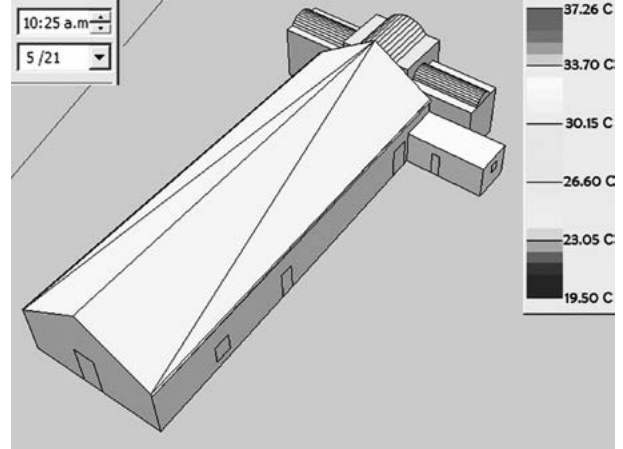


Figura 13. Vista del modelo de simulación con resultados para uno de los días del periodo de medición. Elaborada por los autores.

temperatura y humedad, uno cercano a la entrada principal y otro al presbiterio; como testigo de comparación de las condiciones externas se colocó uno en el exterior. El periodo monitoreado, como en el caso de Ucí, fue mayo y junio de 2016.

Los resultados se presentan en las gráficas 5 y 6. Las condiciones de las dos zonas monitoreadas del edificio también son prácticamente exactas, por lo que se puede decir que hay una gran homogeneidad en las tres naves del interior. Las variaciones durante el día no son mayores a 1 °C, con una temperatura un poco más elevada que la temperatura media de la zona, arriba de la zona de confort; es decir, incómoda durante todo el día.

Caso 4. Condiciones térmicas de la capilla de visita de Santiago de Muxupip con la techumbre antigua de bóveda de mampostería

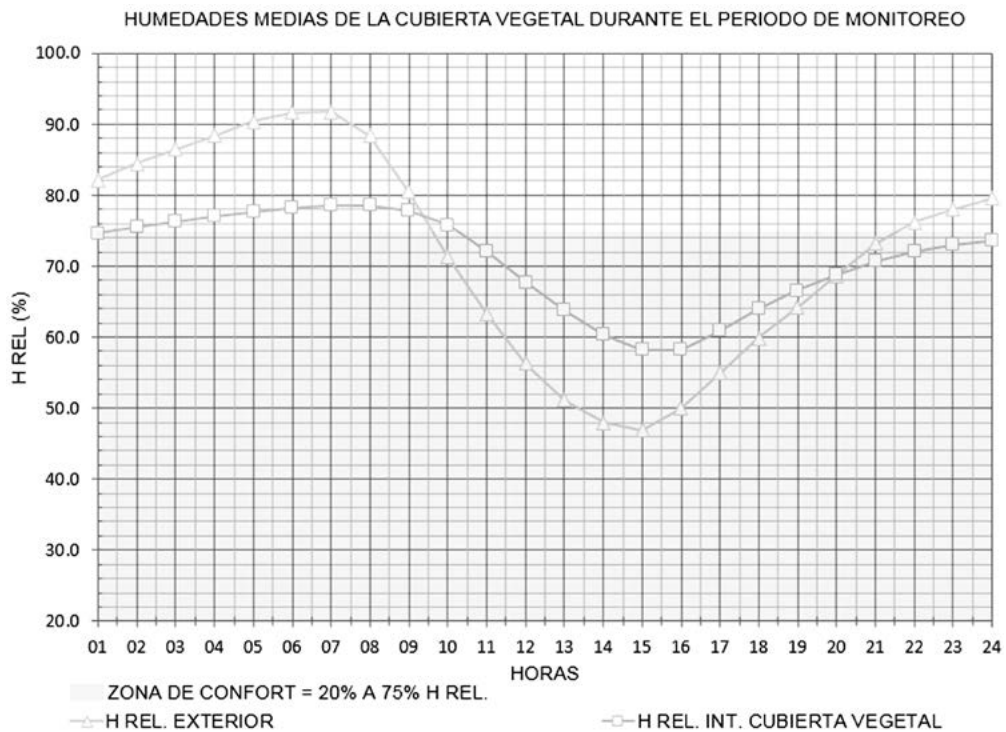
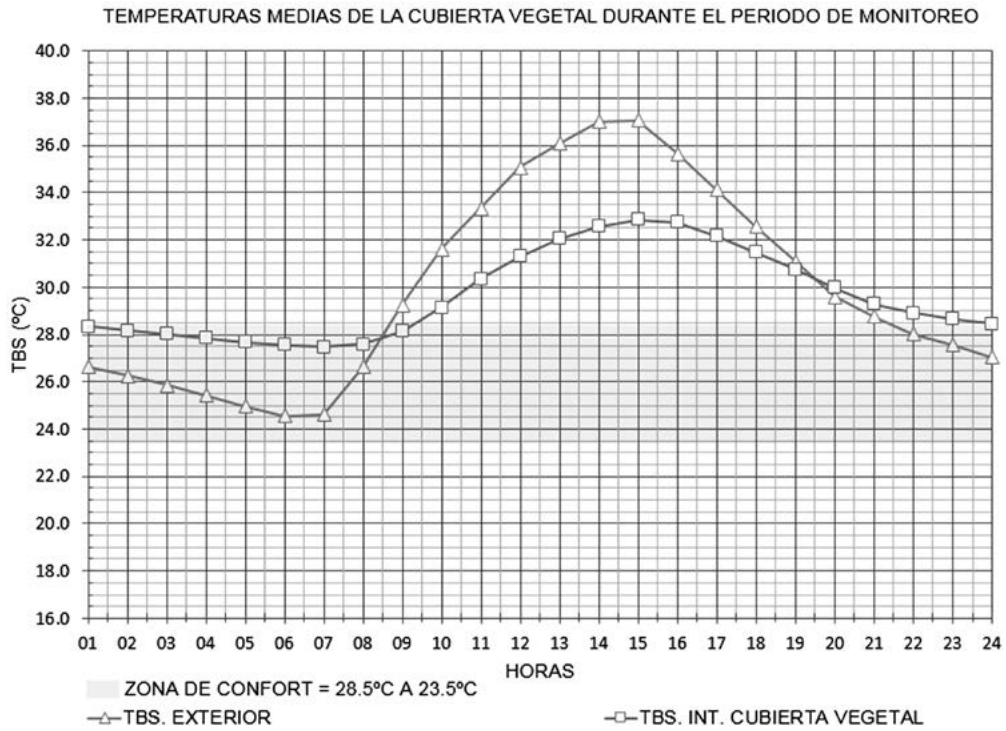
En general, los edificios, al igual que la superficie terrestre, se calientan en el día y se enfrían en la noche. El resultado es una temperatura interior pro-

medio algo más arriba de la temperatura promedio del aire en el exterior.²⁴ En el caso de los edificios de mucha masa térmica, las gruesas y pesadas paredes y techos suprimen en los interiores las variaciones que se presentan en el exterior, estabilizando la temperatura a un valor ligeramente arriba del promedio de la temperatura exterior.²⁵ Así, tener condiciones confortables en el interior depende de que la temperatura media exterior sea poco menor que la temperatura de confort.

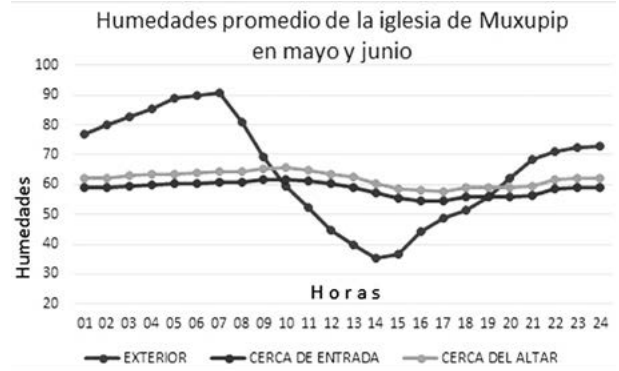
Lo anterior se confirma con los resultados de las mediciones que se han realizado por parte de la FAUADY en la Iglesia de Jesús o de la Tercera Orden, ubicada en el centro histórico de Mérida, de muros de mampostería de piedra de aproximadamente 120 cm de espesor y dimensiones de los espacios que la componen de aproximadamente 12 m de ancho, 40 m de largo y 10 m de altura. Se encontró que la oscilación de la temperatura varía apenas entre 1 y 1.75 °C durante las 24 horas, y que en todo momento está arriba del límite superior de confort, como se observa en la gráfica 7.

²⁴ Baruch Givoni, *Passive Low Energy Cooling of Buildings*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1994.

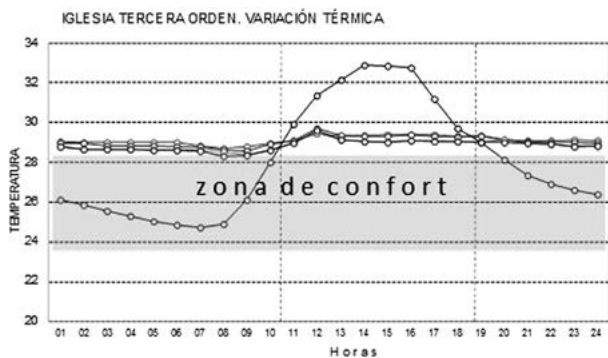
²⁵ B. Givoni, *Climate Considerations in Building and Urban Design*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1998.



Gráficas 3 y 4. Respectivamente, se muestra la variabilidad de la temperatura y de la humedad para un día promedio del periodo de estudio. Los resultados se obtuvieron por simulación para la condición de cubierta de ramada en la capilla de Ucí. Elaboradas por los autores.



Gráficas 5 y 6. Variabilidad de la temperatura y la humedad, respectivamente, en un día promedio de mayo, en el interior de la capilla de Muxupip. Elaboradas por los autores.



Gráfica 7. La curva de mayor oscilación corresponde al exterior; las otras, a diversas zonas del interior. La zona de confort de Mérida es igual a la de Motul, pues tienen la misma temperatura media anual. Elaborada por los autores.

Comparación de techumbres a dos aguas: la de cubierta actual con sistema prefabricado multipanel y la cubierta original con sistema de ramada

Para comparar las condiciones de la capilla de Ucí con techumbre de materiales modernos con las condiciones que tuvo con el sistema de estructura de madera y cubierta de ramada, se utilizó el resultado de la simulación previa con techumbre de ramada y se simuló, para utilizar el mismo tipo de recurso, el comportamiento de las condiciones de la techumbre moderna. Los datos obtenidos en el periodo de medición sirvieron para comprobar la confiabilidad de la simulación. Los resultados se muestran en las gráficas 8 y 9, de temperatura y humedad, en las que es-

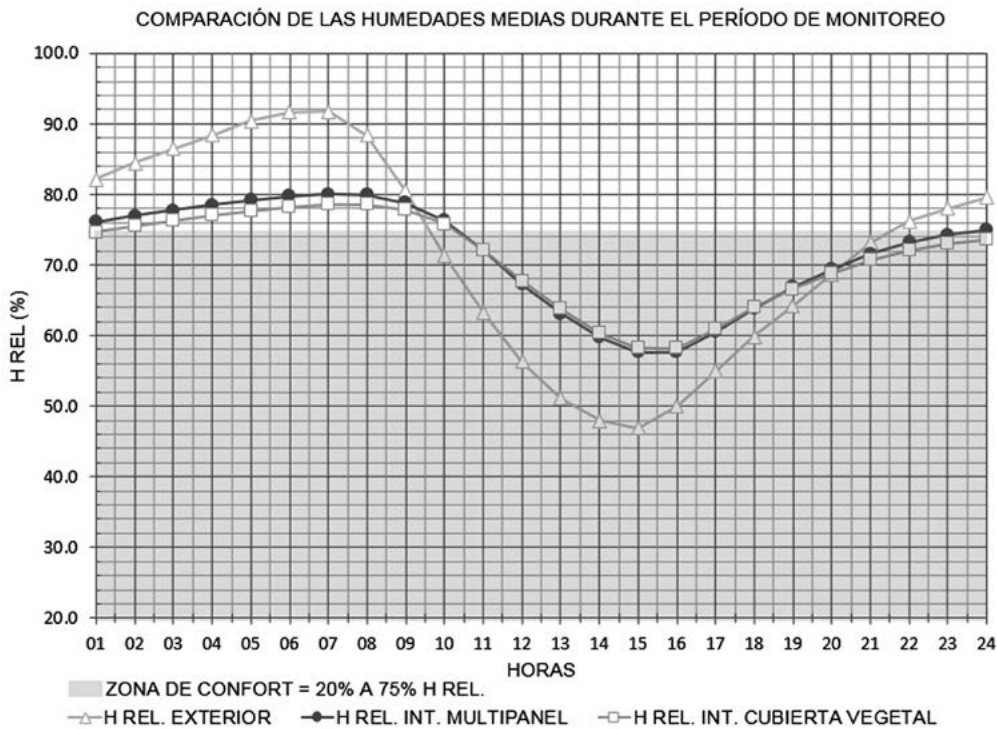
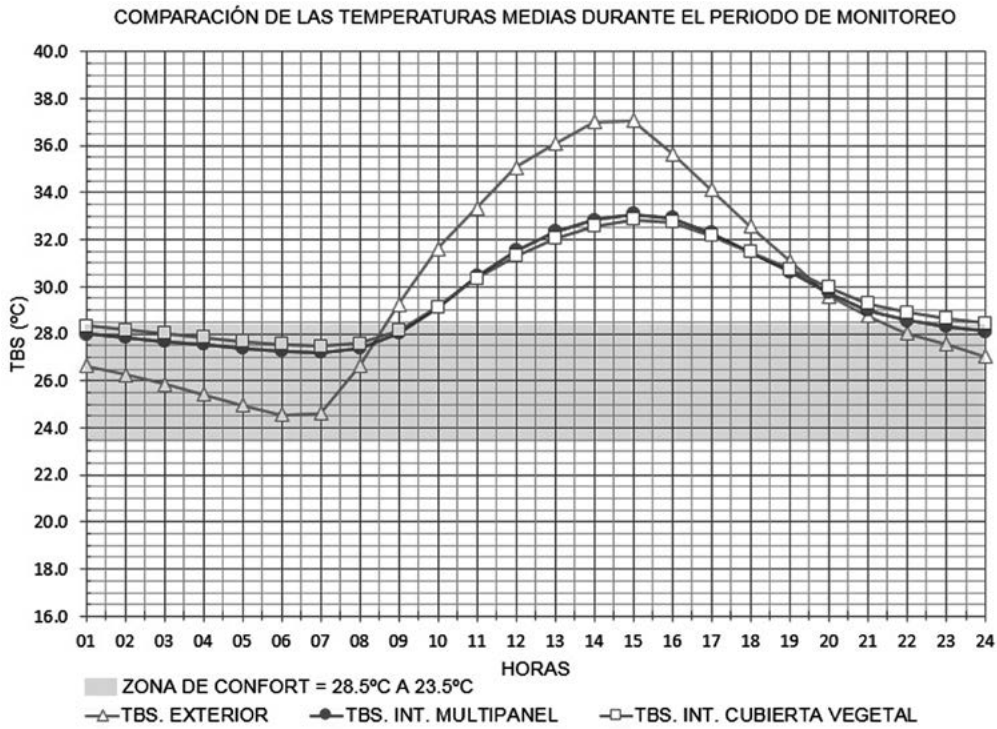
tán superpuestas las curvas de las condiciones dadas con los dos tipos de techumbre y las exteriores. En estas gráficas se observa que tanto la variación de temperatura como la de humedad son prácticamente las mismas a lo largo del día en los interiores y que, por lo tanto, presentan la misma protección en relación con el exterior. En cuanto a éste, se reduce hasta en 4.5 °C la temperatura en el horario pico, pero resulta insuficiente para lograr el confort en el interior.

Comparación de techumbres abovedadas: cubierta actual de concreto y cubierta antigua de mampostería

Las gráficas 5, 6 y 7 muestran el comportamiento semejante de las techumbres de concreto o de mampostería. La variabilidad térmica se reduce a una medida superior cercana a la temperatura media, que está por encima de condiciones de confort (véase *supra*).

Conclusiones

La poca durabilidad de las cubiertas con materiales perecederos como las ramadas y las bóvedas de rollizos de madera, así como la escasa capacidad económica de los poblados de visita franciscanos, fueron las principales causas de la desaparición de las techumbres de las capillas analizadas. Asi-



Gráficas 8 y 9. Comparación de la variabilidad de la temperatura y la humedad, respectivamente, en un día típico del periodo de estudio, en la capilla de Ucí con la techumbre actual y con la de ramada. Elaboradas por los autores.

mismo, las fallas estructurales presentadas en los muros de carga de las iglesias conventuales, que deberán ser tipificadas en investigaciones futuras, fueron la principal causa de la caída de las bóvedas de mampostería.

La selección de las cubiertas modernas para techar las naves de los edificios estudiados se debió principalmente a la disponibilidad de recursos gubernamentales y a los sistemas constructivos que satisficieran las necesidades de cubrir las naves de manera expedita, como en el caso de las trabe losas de concreto prefabricado, que estaban en boga en la década de 1970. La selección de la bóveda de concreto armado en Muxupip se debió a que tenía una espacialidad más rica que la tradicional propiciada por las ramadas; sin embargo, en Ucí sí se pensó en recuperar esa espacialidad de las ramadas con la estructura metálica a dos aguas como una respuesta tecnológica a esta necesidad en particular. Asimismo, es de resaltar el logro de proyectos de restauración e intervención adecuados a las características particulares de los inmuebles por mejorar, como en el caso de Uayma, en que se reinterpretó la solución constructiva virreinal con una contemporánea.

En los casos comparados para conocer los cambios en los ambientes térmicos determinados por los tipos de techumbres con sistemas constructivos actuales, el resultado fue que no se dan cambios sustanciales en las condiciones térmicas internas al sustituir el sistema de ramada a dos aguas por el de estructuras metálicas y cubierta de paneles metálicos con aislamiento a base de membranas de refuerzo. Posiblemente esto se deba a la similitud en los valores de las propiedades térmicas de densidad y conductividad térmica de los materiales protagonistas en ambas cubiertas, los cuales impiden el paso del calor al interior, siendo para la ramada la fibra vegetal y para el panel metálico el núcleo o alma aislante de poliuretano. La estrategia de utilización de un material vegetal y de un material

artificial empleados en cubiertas brindan una respuesta similar por su efecto de aislamiento y rechazo de la radiación térmica.

La misma característica de presentar una variación mínima se da en la iglesia que actualmente tiene techumbre de concreto abovedado, en comparación con las que originalmente tendrían cubierta abovedada de mampostería, a causa de los materiales comúnmente pétreos similares en ambos tipos de cubiertas. Sin embargo, parecen presentar mejores condiciones las de techumbre a dos aguas, tanto con los materiales modernos como con los antiguos de ramada. En éstas existe una mayor variabilidad interna que en la que usa materiales pétreos en muros y techos. En las primeras existen momentos del día de mayor comodidad térmica, pero ésta no se da en los horarios de uso común, por lo que, en resumen, ese mejor funcionamiento no es relevante.

La diferencia de funcionamiento entre ambos sistemas de seguro se debe a la permeabilidad del aire en los sistemas a dos aguas respecto a los de techumbres abovedadas, ya sean de concreto o de mampostería. En el caso del sistema a dos aguas actual, la permeabilidad se da a través de la separación entre muro y techo (36 cm); en el caso del sistema de ramada, la permeabilidad se daba por la permeabilidad del aire caliente interno a través de la cubierta de ramada. Por otra parte, la diferencia de funcionamiento también se debía a la mayor conductividad térmica, densidad y capacidad de almacenamiento de calor por la naturaleza pétrea de las techumbres de concreto y mampostería, lo cual resulta negativo en nuestro clima.

Todos esos casos resultan inadecuados para nuestro medio. En ninguno se presentan condiciones de confort durante los horarios de uso de las capillas. La característica principal de este tipo de envolventes, por tener una elevada masa térmica además del excesivo periodo en que la envolvente permanece cerrada, son factores que mantienen las

condiciones interiores con poca variabilidad y por encima del confort.

Desde la implementación de los modelos de templos católicos europeos existió un choque fuerte con las culturas autóctonas, al menos las que presentan climas cálidos como el de Yucatán; por lo tanto, es una arquitectura que no responde a los criterios de adaptación necesarios para nuestro clima. En todas se han integrado ventiladores como expresión de la necesidad de viento sobre las personas para ayudar a sus sistemas fisiológicos de enfriamiento. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al calor del

ambiente interno de las capillas se suma el calor de los feligreses, sensible y latente, durante las actividades religiosas. La solución es la ventilación, y los muros gruesos de mampostería para llevar a cabo la renovación y el intercambio de aire con el exterior son un fuerte obstáculo.

Como una posibilidad de corrección, en tales edificios se podría recurrir a intercambiadores mecanizados de aire para propiciar un enfriamiento llevado desde el exterior hacia el interior, a modo de lograr condiciones más adecuadas de confort durante el reducido horario de actividades.

