

Rehabilitación estructural de la fachada y del sector poniente de la cubierta del templo de San Luis Obispo de Tolosa Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, delegación Xochimilco, Ciudad de México

El templo de San Luis Obispo de Tolosa, ubicado en el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, delegación Xochimilco, Ciudad de México, catalogado como monumento histórico, es una edificación pequeña y sobria, constituida por muros y cubierta a base de fragmentos de basalto. Durante las últimas décadas, la fachada registró un mal comportamiento que se manifestó como grietas y fracturas por efecto sísmico y el hundimiento regional diferencial. En este artículo se presentan el análisis y revisión estructural de la edificación en la zona de deterioro, la evaluación del comportamiento mediante el monitoreo topográfico y la descripción de los trabajos de obra. Se hace énfasis en las recomendaciones que se adoptaron para restablecer los márgenes de seguridad en la fachada con bajo costo, y poco invasivas para la operación del templo. Los estudios y obras de rehabilitación se realizaron con la organización y cooperación de la comunidad, bajo la coordinación y dirección de Ingeniería Experimental, S.A. de C.V., para coadyuvar a la organización y orientación del esfuerzo de la comunidad.

Palabras clave: comportamiento, sísmico, hundimiento, seguridad y rehabilitación.

The church of San Luis Obispo de Tolosa in San Luis Tlaxialtemalco in the Xochimilco district in Mexico City, catalogued as a Historical Monument, is a small and sober building with walls and roof made of basalt fragments. In recent decades, the facade displayed small cracks and larger fractures from seismic effects and regional subsidence sinking. This paper presents the structural review and analysis of the building in the damage zone, employing topographic monitoring and description of the construction work to assess the structure's behavior. Emphasis is placed on low-cost recommendations adopted to restore the security margins of the facade with the lowest impact on church activities. The studies and rehabilitation works were carried out with the organization, cooperation, and resources of the townspeople, under the direction of Ingeniería Experimental, S.A. de C.V., to contribute to the organization and orientation of community efforts.

Keywords: behavior, seismic, sinking, security and rehabilitation.

El templo de San Luis Obispo de Tolosa (figura 1) se ubica en calle Floricultor s. núm, entre las calles Magdalena Moreno y Tulipán, en el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco —“en donde está el incensario del juego de pelota”— (figuras 1-3), delegación Xochimilco, en la Ciudad de México.¹ La edificación es monumento histórico, cumpliendo con lo establecido en los artículos 35 y 36 de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas vigente,

* Ingeniero civil, gerente de Proyectos y Obra Especializada, Ingeniería Experimental, S.A. de C.V.

¹ Oscar Barranco Carmona, “Dictamen técnico para la comisión de la rehabilitación de la fachada y bóvedas del templo de San Luis obispo de Tolosa”, México, INAH, agosto de 2013.



Figura 1. Templo de San Luis Obispo de Tolosa. Fotografía de Ingeniería Experimental, S. A. de C. V. (en adelante IESA).

y figura en el Catálogo Nacional de Monumentos Históricos del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Es una edificación pequeña y sobria construida por la orden de los franciscanos.²

De acuerdo con la ficha nacional del Catálogo de Monumentos Históricos, el templo dedicado a san Luis Obispo de Tolosa fue construido hacia el año 1603 por fray Alonso de Paz Monterrey; en aquel año también fue fundado el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.³

² Óscar Prado S. y Guillermo Cruz S., "Inventario de los bienes y valores culturales de la zona patrimonio mundial de la humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta", en *Bienes y valores culturales y naturales de la zona patrimonio Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta*, México, pp. 29 y 30, en línea [<https://issuu.com/axelleonard/docs/binder32>], consultado en marzo de 2016.

³ *Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Muebles*, México, Delegación Azcapotzalco-Departamento del Distrito Federal, INAH.



Figura 2. Incensario del juego de pelota. Fotografía de IESA.

El pueblo se formó con habitantes de Jesús Nazareno Xochitepec y San Juan Evangelista, del barrio de los acospanecos, uno de los cinco de San Gregorio Atlapulco. Se tiene conocimiento de tres etapas de construcción, ya que existió una ermita hacia el año 1586; en 1603 se inició la construcción formal de templo y hacia 1897 se hizo una reconstrucción del mismo, la cual permanece hasta la fecha.⁴ Su sistema estructural está constituido por muros de mampostería con fragmentos de basalto cementados con lodo, sobre los cuales se encuentra soportado el campanario y la cubierta a base de bóvedas. En el lado sur del templo se identificaron

⁴ Sóstenes Chapa N., *San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F.: pueblo que nació luchando por sus tierras y ha vivido defendiéndolas, en el IV centenario de su fundación; contribución a las historias locales y a la agraria del país*, México, s.e., 1957, 365 pp.

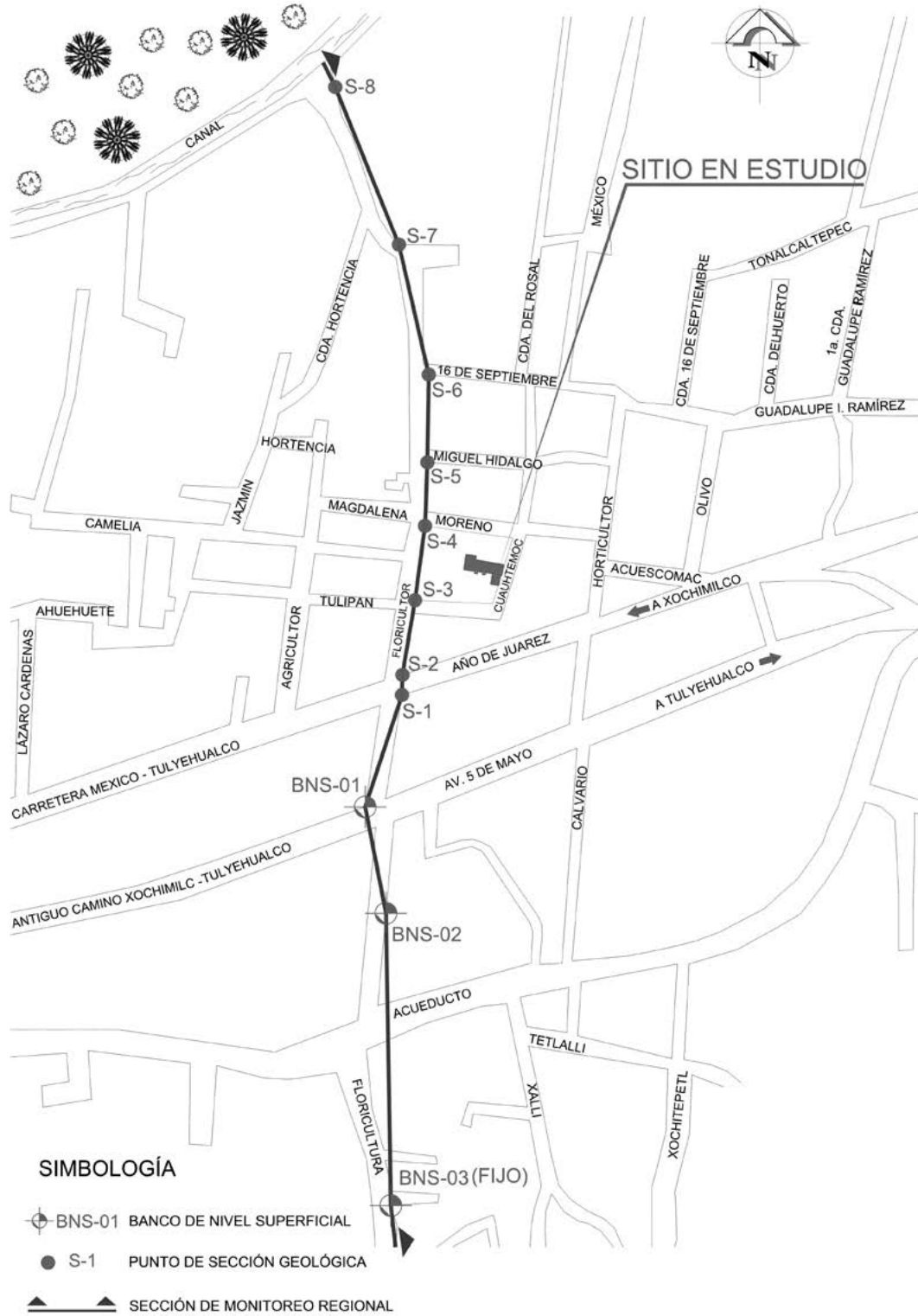


Figura 3. Localización del templo de San Luis Obispo de Tolosa en el pueblo de San Luis Tlaxiámalco, delegación Xochimilco, Ciudad de México. Diagrama elaborado por Rogelio Vargas Villanueva (IESA), 2014.



Figura 4. Fisuras y grietas en la parte superior de la fachada principal. Fotografía de Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

contrafuertes, mientras que en el lado norte se alojan algunos salones de un solo nivel destinados a actividades y servicios de la comunidad religiosa. En el entorno del campanario hay vestigios de un antiguo contrafuerte, que tal vez se retiró para conformar un acceso al campanario en el exterior del templo, suprimiéndose posiblemente la escalera del interior.

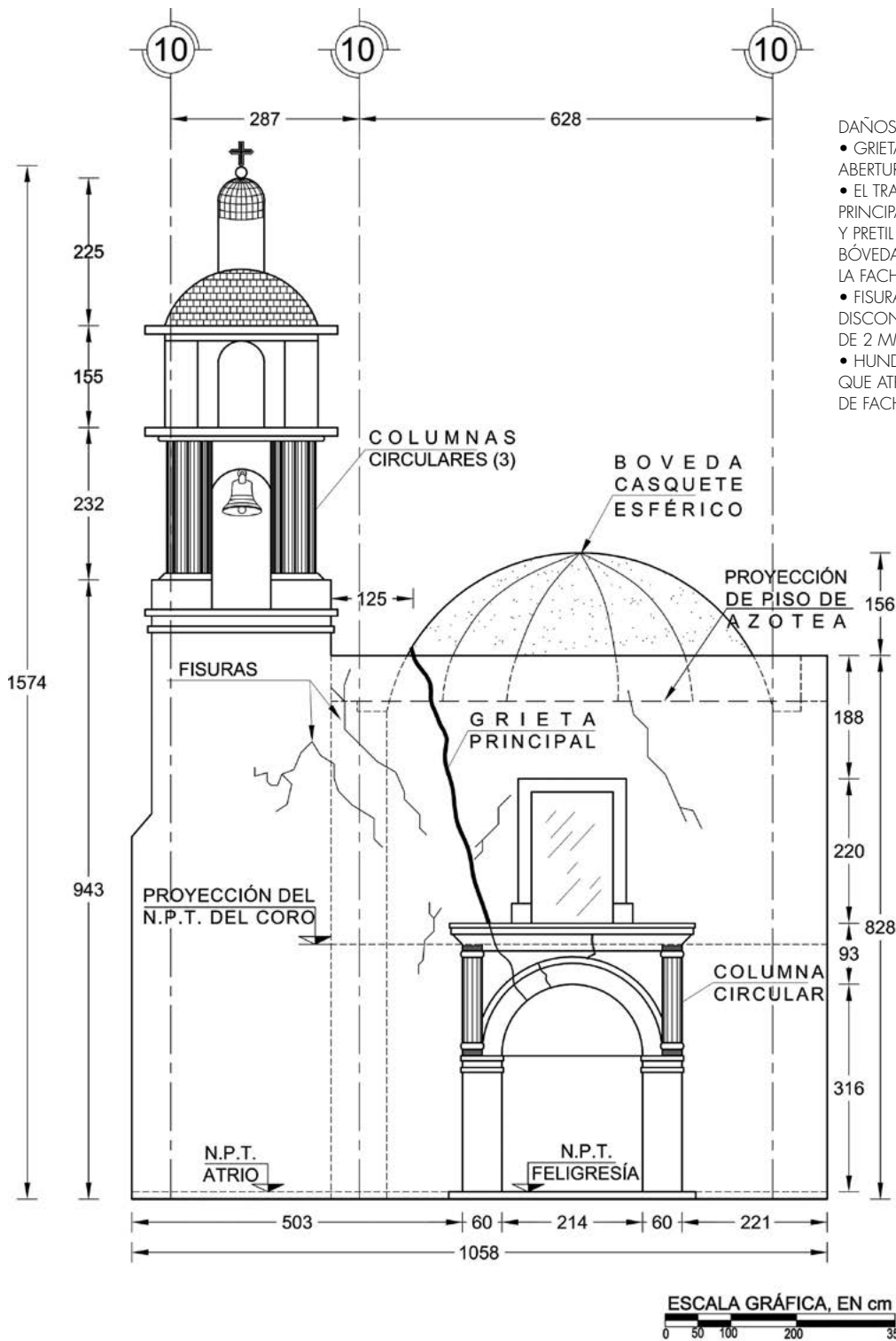
El templo tiene en la dirección oriente-poniente seis ejes arquitectónicos transversales, con separaciones que varían de 86 cm a 7.20 m, y en la dirección ortogonal cuenta con dos ejes principales que delimitan propiamente el recinto de feligresía, con una distancia entre ellos de 6.28 m. En la esquina sureste se halla un apéndice que corresponde a la

sacristía, y en la esquina opuesta —es decir al norponiente— se ubica la torre del campanario, cuya altura de 15.74 m rebasa el nivel promedio de azotea e induce una concentración de cargas asociadas al peso propio de la torre.

A raíz de presentarse durante la última década un severo patrón de fisuras y grietas (que evolucionaron hasta fracturas) en la fachada del templo y en la bóveda del techo adyacente a dicha fachada, la comunidad del pueblo —a sugerencia del presbítero Jaime Ávila Sánchez— formó una comisión constituida por feligreses para promover y organizar la rehabilitación de la fachada y parte de la cubierta del templo (figura 4).

La comisión, presidida por los señores Víctor Robles B. y Alfonso Sánchez M., hizo contacto con el autor de este artículo, quien fue el enlace y coordinador entre la comunidad del pueblo de San Luis Tlaxiatalmalco y la empresa Ingeniería Experimental, S.A. de C.V. (IESA) del grupo Colinas de Buen, S.A. de C.V., para llevar a cabo en principio el levantamiento dimensional, interpretación del comportamiento y posteriormente el estudio para elaborar la propuesta de rehabilitación estructural de la fachada y del sector poniente de la cubierta del monumento histórico (figura 5), considerando en este último sitio la impermeabilización. Una vez que se contó con los resultados del estudio, incluyendo la interpretación del comportamiento aplicando un criterio observacional a partir de los resultados de las mediciones topográficas en el monumento histórico, se pasó a la etapa de obra, previa revisión y autorización de la propuesta de intervención que promovieron la comunidad y la empresa IESA ante el INAH. En la etapa de obra el responsable de los trabajos fue el ingeniero Víctor Moreno Trejo que, conjuntamente con el autor de este artículo, forman parte de IESA.

Es necesario comentar que si bien durante el desarrollo de los trabajos se han otorgado, por parte del presbítero en turno, los permisos de acceso



VISTA A-A'

Figura 5. Levantamiento dimensional de la fachada. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

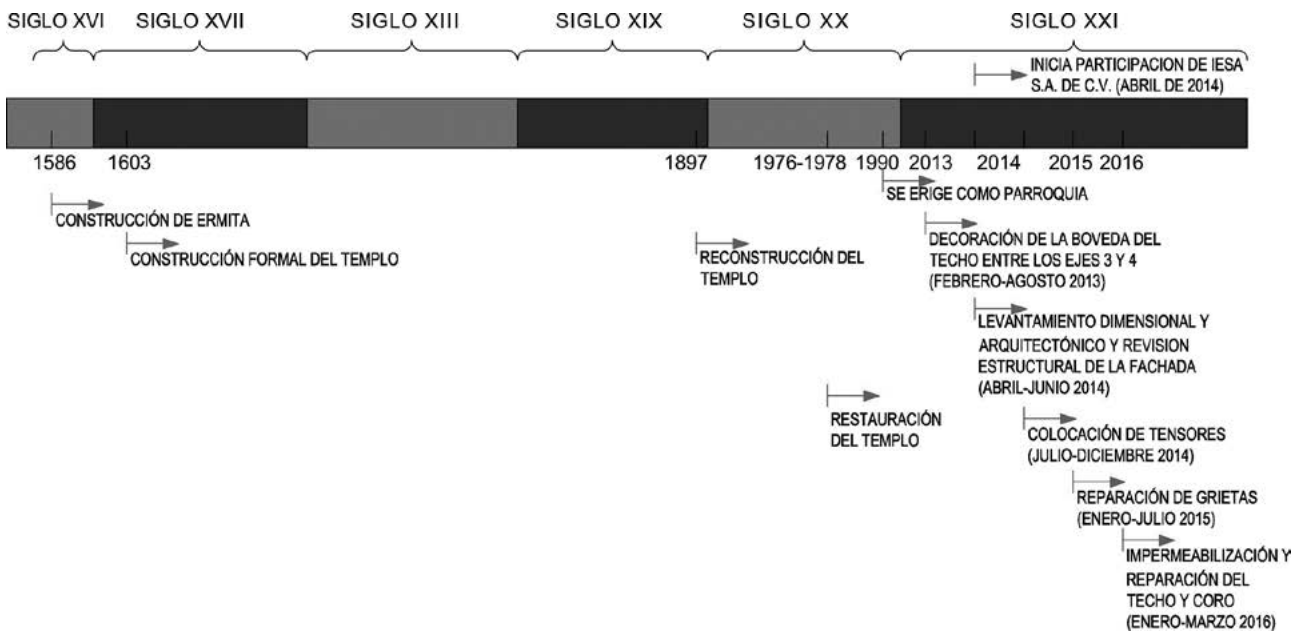


Figura 6. Cronología resumida del templo de San Luis Obispo de Tolosa. Diagrama elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

y estancia al sitio, los recursos económicos provienen de la comunidad del pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, bajo el tesón y trabajo esforzado por parte de la comisión de rehabilitación de la fachada. Asimismo es de hacer notar la generosa participación de IESA, que además de prestar sus servicios a costos directos tuvo la disposición para adaptarse en tiempo y forma de pago de los servicios prestados, consistentes en la elaboración del proyecto de rehabilitación estructural de la fachada y la franja poniente de la cubierta, incluyendo su impermeabilización, así como el desarrollo de acciones y conceptos de obra que se desprendieron de dicho proyecto. Por otro lado, cabe resaltar que la ejecución de los trabajos y obra de rehabilitación, con recursos de la comunidad, contribuyeron a la conservación del patrimonio histórico cultural y artístico de la delegación Xochimilco.

En la figura 6 se incluye un resumen de la cronología de la construcción e intervenciones, incluyendo las más recientes, en el templo de San Luis Obispo de Tolosa en el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.

Metodología de trabajos realizados

Los trabajos desarrollados en abril y mayo de 2014, en el Templo de San Luis Obispo, fueron los siguientes.

Trabajos de topografía

Debido a que en el momento de iniciar el estudio no se contaba con planos dimensionales y arquitectónicos ni con las características de los materiales que constituyen los elementos estructurales portantes del templo, se optó por realizar el levantamiento geométrico y estructural de dichos elementos, y se elaboraron los planos donde se incluyen plantas y cortes, lo que permitió a su vez elaborar el modelo geométrico necesario para realizar el análisis estructural simplificado de la fachada (figura 7).

Asimismo se escogió un elemento del piso de feligresía para determinar la configuración actual que presenta dicho elemento y poder correlacionar de manera aproximada el comportamiento histórico del inmueble. La nivelación topográfica del elemento está referida al Banco de Nivel Superficial BNS-03,

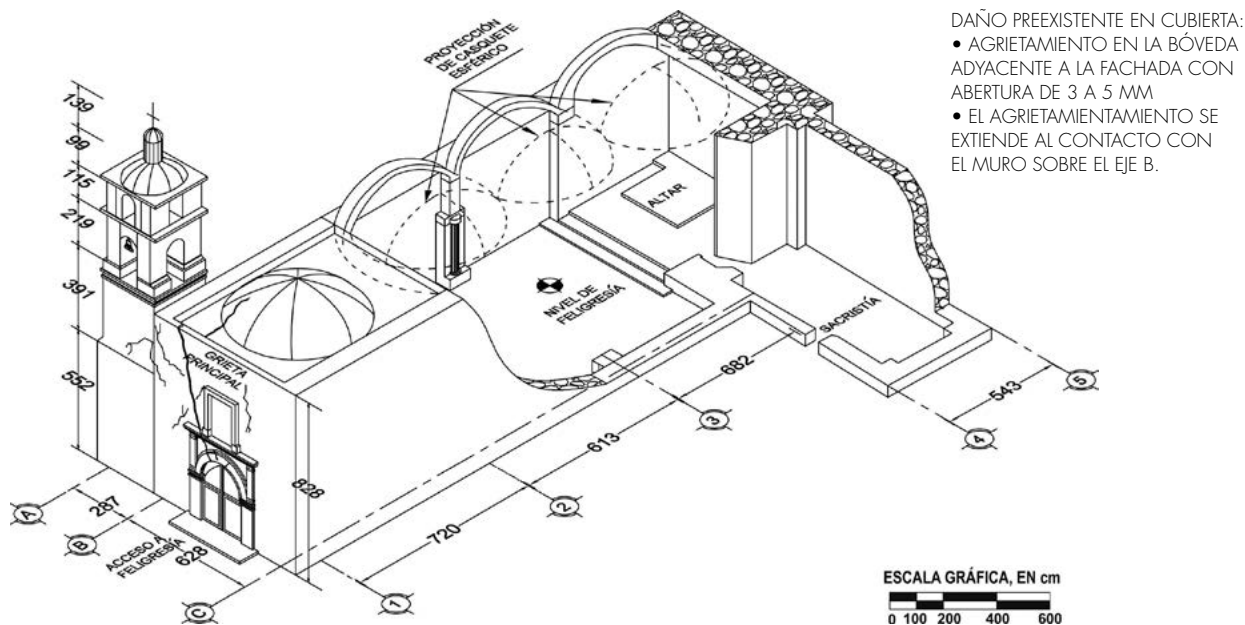


Figura 7. Representación de la forma general del templo. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

con cota arbitraria 100 m, ubicado en la prolongación de la calle Floricultor esquina con Acueducto (figura 3).

Para registrar y evaluar la tendencia contemporánea del comportamiento del templo se instalaron en columnas y muros referencias topográficas, a las cuales se les asignó una cota de elevación. Lo anterior sirvió como marco de comparación para las mediciones topográficas subsecuentes que se realizaron y permitieron cumplir con el objetivo previsto. También se instalaron referencias topográficas en muros y bóvedas de la cubierta en los sitios donde se presentan grietas, con el objetivo de registrar su eventual actividad.

Para conocer la pérdida de verticalidad que presenta actualmente el monumento histórico objeto de estudio, se midieron los desplomos en aristas representativas para obtener una configuración de deformaciones más completa (figura 11).

Definición de una sección de monitoreo topográfico regional

Se definió una sección de monitoreo topográfico para registrar la distribución y velocidad de hundi-

mientos sobre el trazo de la calle Floricultor, y verificar de este modo si dichos movimientos verticales inciden en el surgimiento y activación de fisuras y grietas en los muros y cúpulas de la edificación. La sección de control topográfico, cuyo trazo se muestra también en la figura 3, se desarrolla sobre las tres zonas geológicas y geotécnicas que fue posible identificar *a priori*.

Calas en elementos de la edificación

Con el propósito de conocer el tipo y calidad de los materiales y espesor de los elementos que constituyen el templo de San Luis Obispo, se realizaron calas en sitios selectivos de muros, cuya ubicación se indica en la figura 8.

Los resultados de las calas que se muestran en la figura 9 permitieron confirmar que los muros de la edificación están constituidos por fragmentos de roca volcánica (basalto) con tamaños de diámetro equivalente de 10 a 15 cm, cementados con lodo (limo arenoso). El espesor de los muros es de 65 a 70 cm, y conviene aclarar que en la franja superior del muro

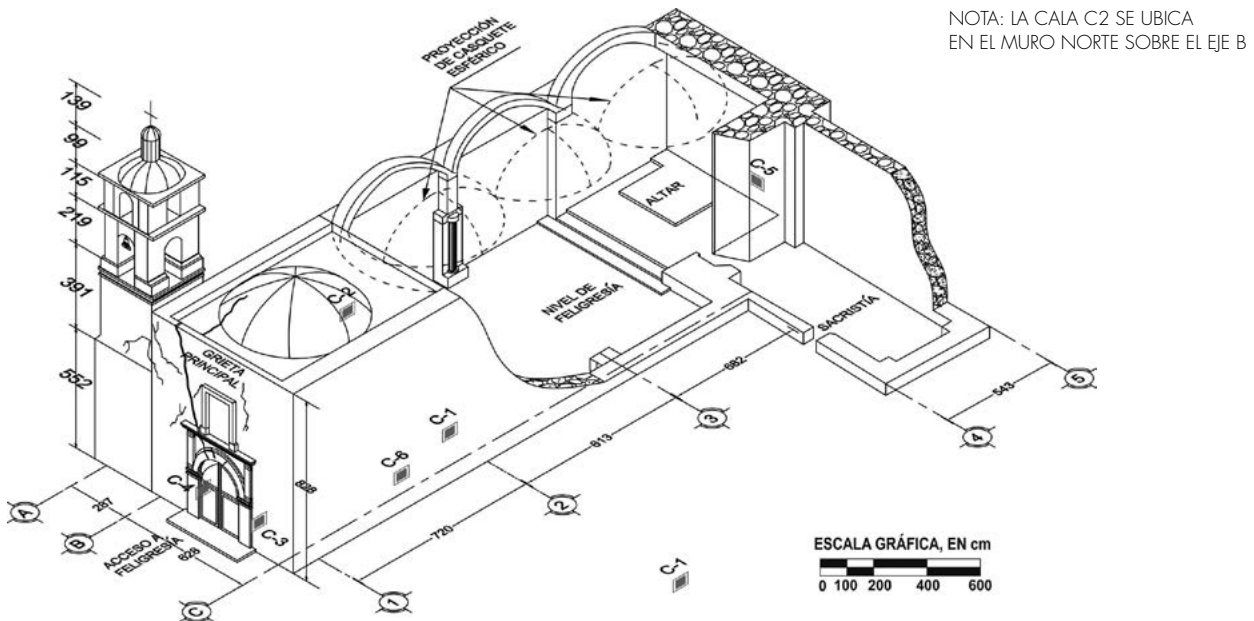


Figura 8. Ubicación de calas para obtener información de carácter estructural. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

norte, adyacente al pretil perimetral sobre el eje A, se advierte un tamaño mayor de bloques de basalto y otro tipo de junteo entre ellos, que puede estar asociado a otra etapa de construcción diferente a la original.

Definición del modelo para análisis estructural

La información obtenida en el levantamiento dimensional y estructural del templo y del levantamiento de calas y resultados de laboratorio de materiales, se integró para generar un modelo matemático para la revisión estructural de la fachada y de la crujía adyacente.

Interpretación del comportamiento histórico

Movimientos verticales

A partir de los resultados obtenidos de la nivelación del piso de feligresía, que se considera representativa del comportamiento histórico del inmueble, se elaboraron curvas de igual nivel (figura 10). Las curvas de igual nivel acusan una distribución de movi-

mientos verticales no uniforme, con un patrón de hundimiento menor al norponiente y mayor en el sector noreste, manifestándose, en el tercio central del muro norte, los asentamientos históricos de mayor magnitud.

La distribución y magnitud de las curvas de igual nivel muestran que en toda la superficie que abarca el templo los movimientos verticales diferenciales rebasan en más de 50% el rango permisible establecido en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones vigente para el Distrito Federal. El desnivel más desfavorable se registró de sur a norte, con una magnitud de 80 mm, en una distancia de 4.50 m.

Desplomos

Los resultados de la medición de desplomos en aristas representativas del templo se muestran en la figura 11 y se indican de manera resumida en las tablas 1 y 2. Asimismo, tanto en esa figura como en las tablas de referencia se observa que la mayoría de los desplomos medidos en las aristas representativas del templo se pre-

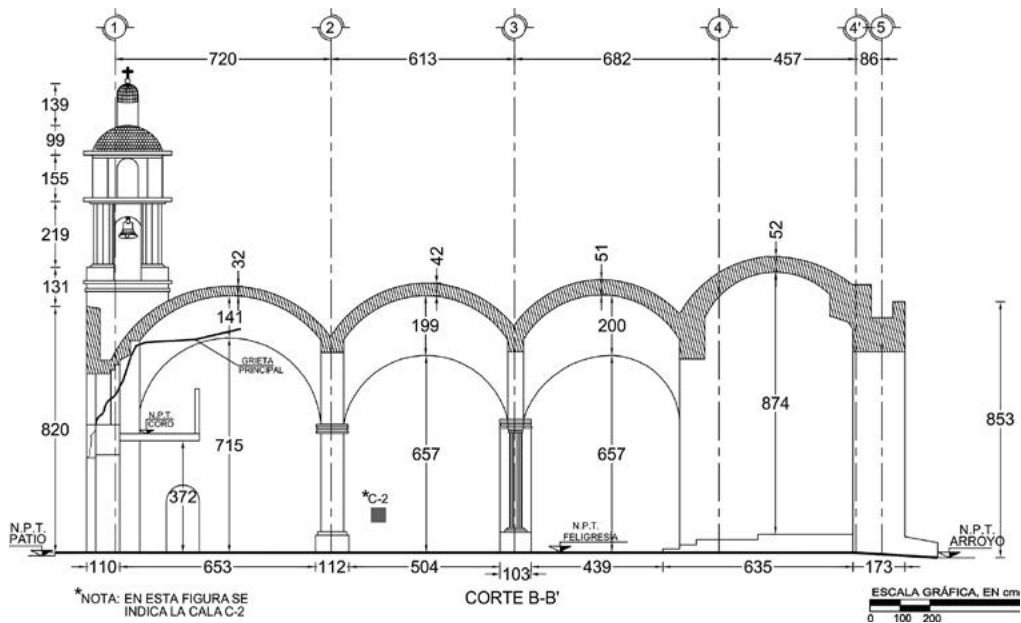


Figura 9. Corte en alzado del templo. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

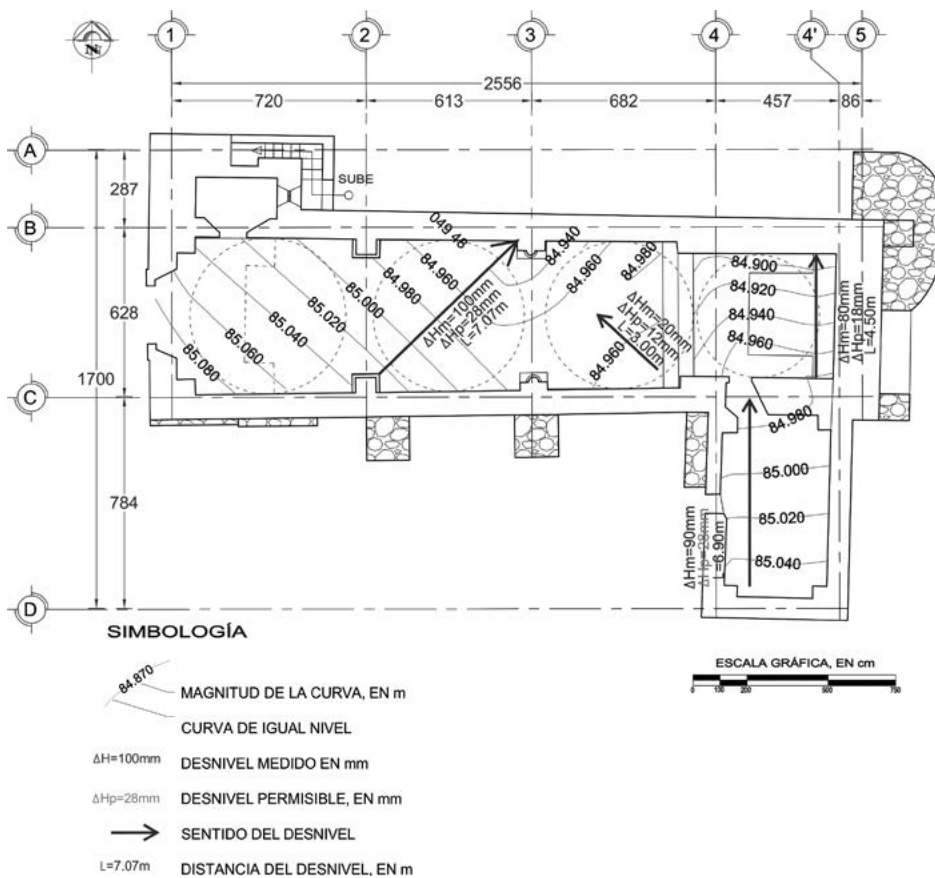


Figura 10. Curvas de igual nivel del piso de feligresía. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

Tabla 1. Resultados de medición de desplomos en aristas en fachada

<i>Arista de medición de desplomo</i>	<i>Altura de medición (m)</i>	<i>Desplomo medido (2 de abril de 2014) (mm)</i>	<i>Desplomo permisible (mm)</i>	<i>Dirección del desplomo</i>
A-1	7.87	Desplomo	64	Norte
		0		Oriente
C-1	7.87	129	64	Norte
		16		Oriente

Tabla 2. Resultados de medición de desplomos de aristas ubicadas en varias direcciones del templo

<i>Arista de medición de desplomo</i>	<i>Altura de medición (m)</i>	<i>Desplomo medido (2 de abril de 2014) (mm)</i>	<i>Desplomo permisible (mm)</i>	<i>Dirección del desplomo</i>
B-2	3.06	74	28	Norte
		2		Poniente
C-4	3.04	76	28	Norte
		37		Oriente
C-4'	3.94	43	33	Norte
		47		Oriente
B3	3.11	64	28	Norte
		14		Oriente
B4	3.05	65	28	Norte
		40		Oriente
B4'	3.69	61	33	Norte
		30		Oriente
C2	2.84	59	26	Norte
		10		Poniente
C3	2.88	70	27	Norte
		9		Poniente

senta de manera consistente en las direcciones norte y oriente, cuyas magnitudes rebasan el rango permisible que establecen las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones vigente para el Distrito Federal. La mayor pérdida de verticalidad se manifiesta en las aristas A-1 y C-1 (en dirección norte), localizadas sobre la fachada, con magnitudes de 235 y 129 mm, respectivamente (figura 11).

Si bien los movimientos horizontales y verticales registrados se han comparado con los rangos de referencia aceptables en la normatividad y reglamentación actuales definidas en el siglo xx, en rigor el

parámetro representativo y de mayor importancia es el agrietamiento y fracturamiento de los elementos portantes, considerando sobre todo que es una estructura de mampostería frágil y sin refuerzo de acero.

Discusión del comportamiento

Características del templo y condiciones del subsuelo

El templo de San Luis Obispo de Tolosa es una edificación histórica con una estructuración hecha a base de muros de mampostería constituidos por fragmentos de basalto, cuyo criterio de construcción

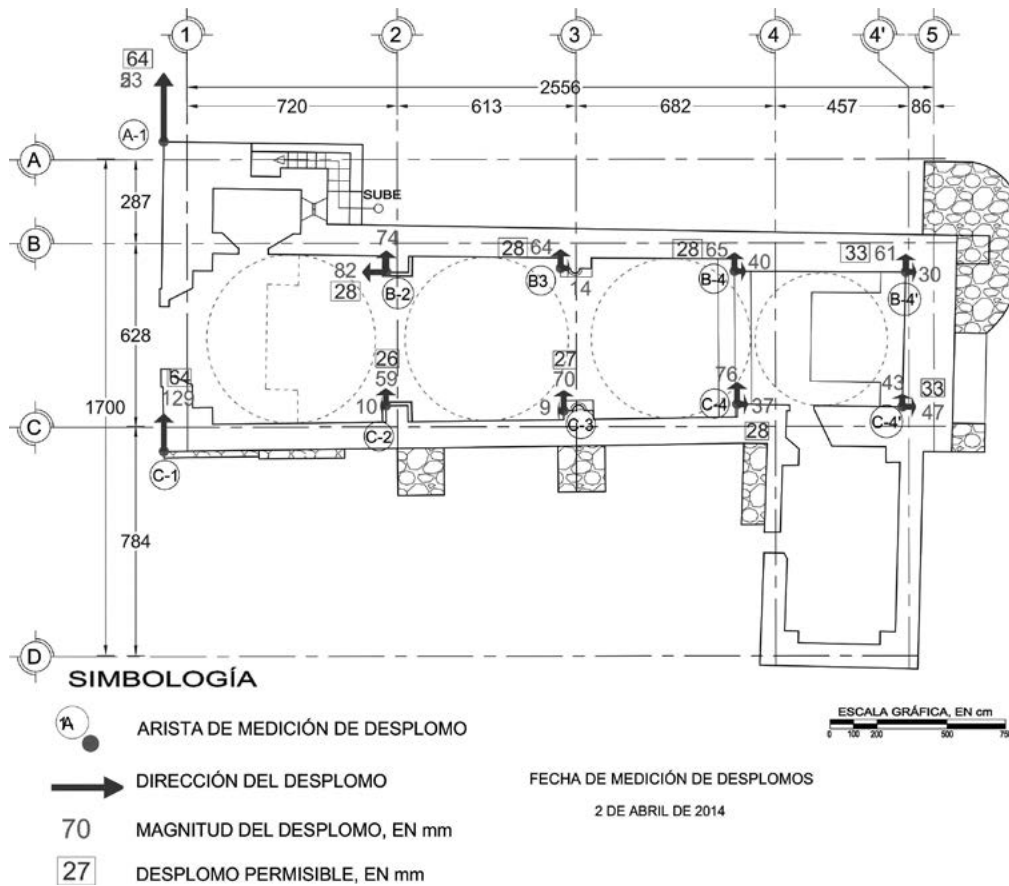


Figura 11. Resultados de desplomos (2 de abril de 2014). Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2014.

estuvo encaminado principalmente a soportar cargas verticales. En consecuencia, su capacidad ante acciones horizontales como fuerzas de tensión inducidas en sismo, es prácticamente nula. Por lo anterior, la edificación es sensible a eventos sísmicos que ocurren con frecuencia en el Valle de México, así como al hundimiento regional que se origina por la intensa explotación de mantos acuíferos en la región de Xochimilco para el suministro de agua de la ciudad. Esto último modifica el estado de esfuerzos en el subsuelo e induce a deformaciones volumétricas significativas que se manifiestan en la superficie como hundimientos. Bajo estas circunstancias los efectos sísmicos —y en menor medida el hundimiento regional—, son los factores que gobiernan actualmente el comportamiento estructural del templo.

Daños en la estructura

A partir de la inspección ocular realizada al templo, y desde el punto de vista geotécnico y estructural, los daños preexistentes que presentaba el templo de San Luis Obispo de Tolosa eran: 1) fracturas y grietas en la fachada y franja poniente de la cubierta, y 2) grietas y fisuras en la parte superior del muro norte en el entorno del apoyo de la cubierta.

Debido a la existencia de las discontinuidades señaladas, las aguas de lluvia producen filtraciones, humedecimiento y lavado de las partículas finas de la mezcla de materiales que cementan los fragmentos de piedra basáltica. Asimismo, debido a eventos sísmicos y a la continuidad del fenómeno de hundimiento regional que se manifiesta, de manera no uniforme, las



Figura 12. Grietas y fisuras en la fachada principal. Fotografía de Salvador Ávila Gaytán, 2015.

fisuras y grietas han evolucionado y aumentado su abertura, situación que incide en las condiciones de seguridad y servicio del templo, sobre todo en los sitios donde se han presentado históricamente dichas discontinuidades (figura 12).

Es posible que la magnitud de las oquedades en los volúmenes de los elementos estructurales sea mayor a la que se estima visualmente en una inspección ocular, debido a imperfecciones constructivas y tomando en cuenta además la ocurrencia de movimientos inducidos por los factores ya señalados, que conllevan un reacomodo de los materiales estructurales.

Humedades

Respecto a las condiciones de humedad en el templo, en la fachada se observaron filtraciones descendentes de lluvia, a través de las grietas y fracturas, que atraviesan el espesor del muro y se manifiestan como humedades en su cara interior que da al coro. En las grietas de la bóveda de la franja poniente de la cubierta se observaron también filtraciones de lluvia y efectos de humedad en el intradós (figura 13). Además de las fisuras y grietas originadas por la respuesta de la estructura al comportamiento del subsuelo, se identifica también la existencia de discontinuidades asociadas a juntas constructivas entre la nave que constituye el templo y el cuerpo del campanario.



Figura 13. Grieta sobre la bóveda de la cubierta. Fotografía de Salvador Ávila Gaytán, 2015.

Otros factores que originan esta problemática es la inhabilitación de una bajada de agua al oriente del campanario en la cubierta y la falta de mantenimiento en el templo, así como la práctica desacertada para su impermeabilización, que consiste en la colocación de diferentes capas de morteros sin respetar el uso de materiales originales, y que considera como etapa final del proceso la aplicación de una película en forma de pintura espesa que ofrece la tecnología moderna.

Aunado a lo anterior, en el pequeño recinto a nivel de feligresía ubicado por debajo del campanario, y que ahora está destinado a la imagen del Niño Jesús de San Luis Tlaxialtemalco, se han observado efectos significativos de humedad provenientes de escalones y descansos del desarrollo de la escalera perimetral de la torre, así como evidencias de humedad ascendente y migración del salitre en el exterior e interior del pequeño recinto. Además se advierte en el patio exterior que flanquea la escalera de acceso al coro y en el descanso que constituye el vestíbulo de entrada al coro y campanario, la falta de drenaje superficial para captar y desalojar las aguas de lluvia. Incluso en el patio interior se recibe una aportación de las mismas de la cubierta a través de una gárgola que descarga al patio. Como se desprende de lo anterior, este sector del templo acusa mayores problemas de humedad de origen multifactorial, que

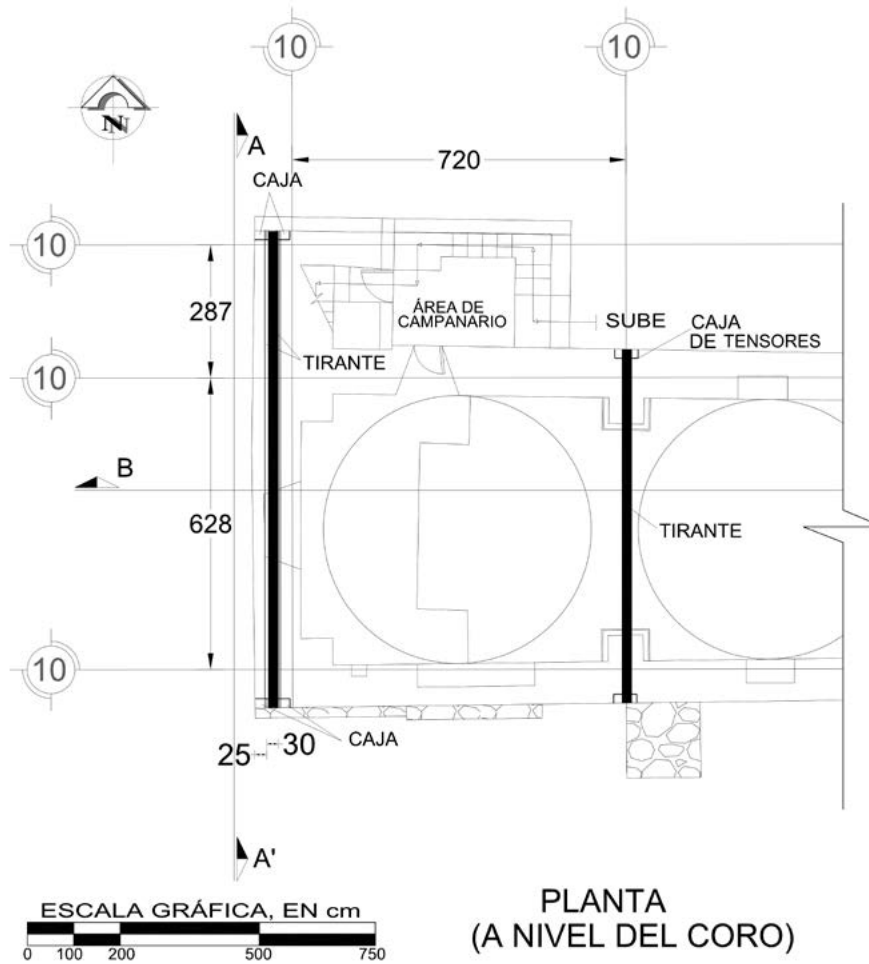


Figura 14. Distribución de tendones. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva (IESA), 2014.

por consiguiente induce un deterioro progresivo de dicho sector.

Finalmente, y de manera general, se notan en el monumento histórico problemas de humedad ascendente en los muros sobre los ejes "A" y "C", desde los pisos interior y exterior, donde se reporta también la migración del salitre, por efectos de capilaridad, hasta una altura aproximada de 1.00 m respecto al nivel de feligresía.

Aspectos geotécnicos y estructurales

El templo de San Luis Obispo acusa desniveles y pérdida de verticalidad generalizados hacia el norte,

que se acentúa en la fachada que da al atrio, en el entorno del coro y sobre todo en la esquina norponiente del campanario. Esta tendencia histórica dominante hacia el norte, ha inducido una fractura principal en la franja adyacente al campanario y una familia de grietas y fisuras que arrancan del marco de la puerta hacia el pretil de la azotea.

Estas discontinuidades se extienden además hacia el interior del templo, de manera que también se manifiestan en el muro norte y la bóveda, ubicados en la parte poniente del templo en la franja delimitada por los ejes 1 y 2, donde se aloja el coro, que es una estructura de madera. En el interior del templo las fisuras se remarcan en la unión entre el muro

Tabla 3. Especificaciones técnicas para mezclas secas tipo OXI-CAL

Proporción de cal (en volumen)	1 parte.
Proporción de arena (en volumen)	2 partes.
Tipo de cal	Pasta de cal añejada, obtenida mediante el apagado artesanal de óxido de calcio de alta pureza.
Tipo de arena	Arena de río lavada y cribada con granulometría controlada.
Granulometría de la arena	Arena fina cuyas partículas pasan por un tamiz de 2.5 mm y son retenidas por otro de 1 milímetro.
Densidad	1.6-1.7 g/cm ³ .
Empleo preferente	Aplanados medios, reparación de grietas y fisuras, muros de ladrillos, etcétera.

norte de la franja de referencia y el contacto con la bóveda.

Los daños estructurales que se identifican en el templo en estudio no son recientes, y están asociados muy probablemente a eventos sísmicos que han afectado de manera grave la unión de la torre con el resto de la fachada, en superposición con una tendencia moderada de hundimiento regional diferencial. Lo anterior por efecto de la distribución no uniforme de cargas en la fachada que induce una concentración de esfuerzos en el campanario, con la consecuente excentricidad de cargas.

Revisión estructural

Con el objetivo de verificar la respuesta del inmueble durante eventos sísmicos y proponer, en su caso, las medidas de reparación, se realizó el análisis sísmico de la fachada. Se consideró un coeficiente sísmico de 0.4, que corresponde al tipo de suelo más crítico, ya que si bien se puede inferir que el templo se ubica en una zona de transición, el rebote de las ondas sísmicas puede provocar que el subsuelo se comporte como de zona de lago.

El modelo matemático empleado se construyó con ayuda del programa de análisis estructural Structural Analysis and Design (STAAD), utilizando las herramientas que proporciona dicho programa, correspondientes al método de elemento finito con elementos placa.

El análisis estructural del templo se realizó para las diferentes combinaciones de cargas, como las gravitacionales y accidentales debidas a un sismo, como lo estipula la reglamentación y normatividad vigente.

Resultados del modelo

Los resultados obtenidos en el análisis estructural indican que en un sismo se presentan esfuerzos de tensión en la mampostería en la franja adyacente al campanario y que corresponde justamente con la zona de grietas y fracturamiento. Conviene señalar que en este tipo de edificaciones de carácter histórico y de mampostería a base de fragmentos de basalto de tamaño reducido, la capacidad a la tensión de los elementos es prácticamente nula por las consideraciones expresadas.

Recomendaciones

Considerando los resultados del análisis y la concordancia con los daños físicos en el sitio, se recomendó la colocación de un grupo de tres tensores; dos de ellos en la fachada y un tercero sobre el eje 2 cercano a la misma fachada (figuras 14 y 15). Los tensores consisten en torones de diámetro de 1.25 pulgadas de acero SAE 9840 con un esfuerzo de fluencia (f_y) mínimo de 7400 kg/cm², placas de acero American Society for Testing and Materials (ASTM). A36 con un

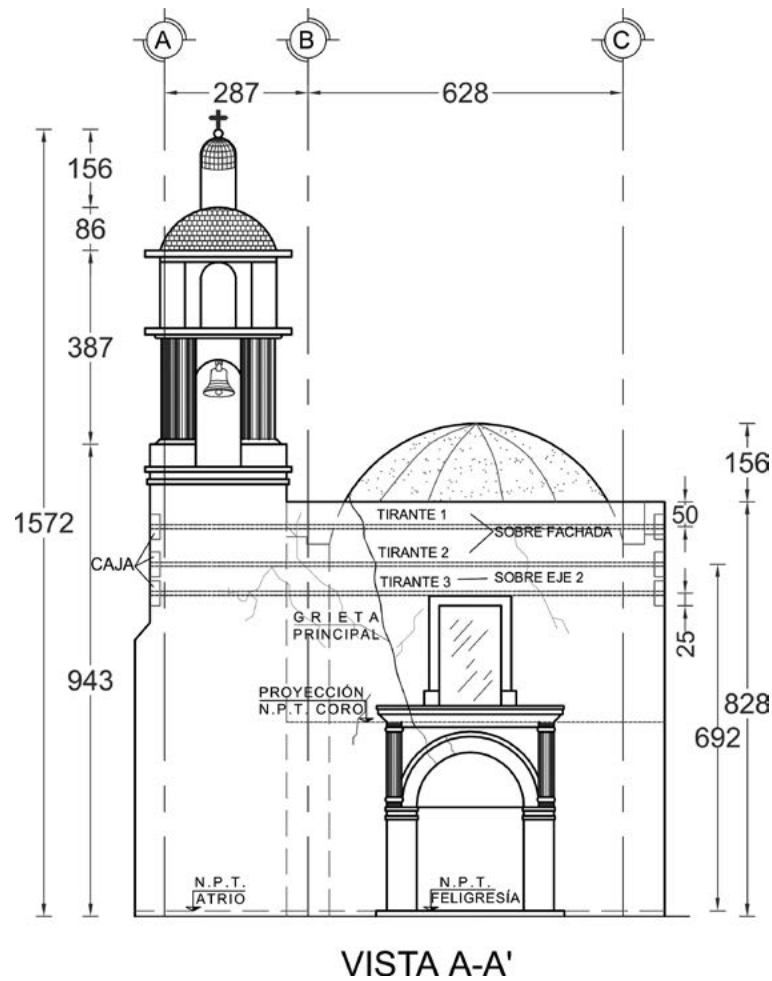


Figura 15. Colocación de tensores vista A-A'. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva (IESA), 2014.

fy mínimo de 2530 kg/cm², y la sujeción de las placas con tuercas de acero ASTM A563.

Asimismo se indicó que una vez que se concluyeran los trabajos de colocación de tensores, y previa protección de los elementos artísticos que se encuentran ubicados cerca de la fachada y del coro, se procediera al tratamiento de las fracturas, grietas y fisuras en el muro. Dicho tratamiento consiste en el remamposteo en forma discontinua y alternada en toda la altura de la fractura principal, complementado con el tratamiento de discontinuidades mediante inyección de morteros preparados en el sitio con mezclas secas elaboradas en fábrica del tipo OXI-CAL, seleccionándose para este caso un mortero

compatible con el material cementante original y tipo de muros, con las especificaciones técnicas que se muestran en la tabla 3.

Es oportuno señalar que la selección de una mezcla seca de mortero elaborado en fábrica tiene la ventaja del suministro y uso inmediatos, sin necesidad de implementar en obra procesos complejos, como el apagado de la cal y selección y compra de los otros agregados, que lleva un periodo mínimo de seis meses; debiéndose considerar además los volúmenes reducidos de mortero por utilizar. Aunado a lo anterior, las mezclas prefabricadas ofrecen un control sistemático en su elaboración y el cumplimiento de las propiedades indicadas.



Figura 16. Tratamiento de la fractura en la fachada. Fotografía de Salvador Ávila Gaytán, 2015.

El tratamiento de las discontinuidades que se recomendó y se adoptó en obra consistió en el siguiente proceso: 1) limpieza con chiflón de aire evitando el agua, conociendo que la mezcla entre fragmentos es lodo; 2) calafateo de discontinuidades con mortero del tipo OXI-CAL en proporción 1:1 en peso (1 agua por 1 mezcla seca); 3) colocación de boquillas con manguera de plástico de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con una profundidad de 10 cm en el espesor del muro, y 4) inyección de mortero mediante progresiones en sentido ascendente (mínimo tres etapas).

La proporción en peso de la mezcla fluida de mortero preparada en la obra, empleada para las discontinuidades en muros fue 1:1 (1 agua por 1 mezcla seca), y para la inyección en fisuras y grietas



Figura 17. Rehabilitación del muro de la fachada, vista desde el interior del coro. Fotografía de Salvador Ávila Gaytán, 2015.

tas de las bóvedas de la cubierta fue 1:4 (1 agua por 4 mezcla seca), también expresada en peso.

El remamposteo se hizo colocando fragmentos de piedra braza de basalto a cada 50 cm en el sentido vertical. También se indicó la necesidad de mejorar la continuidad estructural mediante el sellado de grietas y fisuras en el muro de fachada y bóveda de azotea en la franja del coro (figuras 16 y 17). Lo anterior aplicando el tratamiento y procedimiento descritos.

Como parte de las recomendaciones, se indicó la necesidad de realizar a la brevedad posible la colocación de los tensores en los muros y posteriormente la reparación y tratamiento de las grietas.

Asimismo se señaló la conveniencia de realizar trabajos de impermeabilización para evitar la hume-

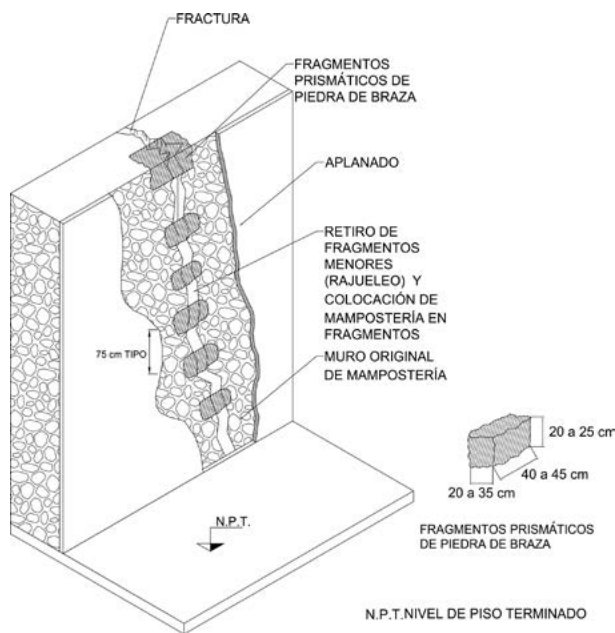


Figura 18. Remamosteado de la fractura en fachada. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2015.

dad y filtraciones que pueden ocasionar el lavado de las partículas finas que conforman la mampostería de los muros del templo. Lo anterior con el objetivo de evitar el deterioro progresivo del inmueble.

Es oportuno señalar que se reiteró implementar un monitoreo topográfico periódico del templo para reportar oportunamente cualquier tendencia que pueda representar un riesgo a la edificación, y evaluar la respuesta estructural después de los trabajos de rehabilitación de la fachada (figuras 18 y 19).

Comportamiento regional reciente después de la rehabilitación

Hundimiento regional a nivel manzanero

El comportamiento en el entorno del templo que se ha registrado recientemente se describe a continuación.

1) En la sección geológica de control topográfico —definida entre las estribaciones de los lomeríos del pueblo en su sector sur y la zona chinampera del lago— se ratifica la tendencia de hundimiento regio-

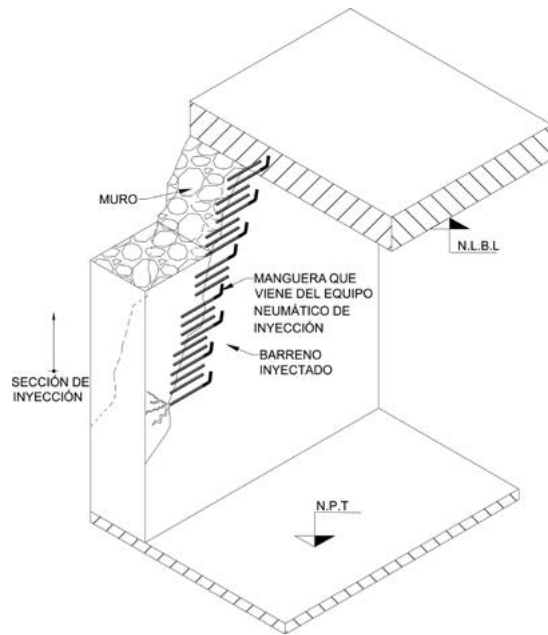


Figura 19. Inyección de mortero en grietas. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2015.

nal diferencial en dirección sur-norte (congruente con la zonificación que se puede inferir y correlacionar a partir de los rasgos topográficos y geográficos, y ahora con los propios resultados del comportamiento del subsuelo).

2) Entre la calle Acueducto y la calle Año de Juárez se registra una muy baja velocidad de hundimiento regional entre 0.7 y 2.7 cm/año que se puede correlacionar con la franja de transición alta. El tramo comprendido entre las calles Año de Juárez y Magdalena Moreno que delimita el centro del pueblo, donde se encuentra construido el templo, en la manzana delimitada por su atrio, la velocidad de hundimiento es baja y se ubica en un rango de 2.7 a 4.4 cm/año, y se puede asociar con una zona de transición baja.

3) En el tramo complementario de la sección geológica hacia el sector norte del pueblo —donde se ubica la región chinampera dedicada ahora, esencialmente al cultivo de plantas y flores, y donde más se remarca el efecto de hundimiento regional—, la velocidad registrada está comprendida entre 6.2 y 11.8 cm/año. En este sector del pueblo que se ubica en una zona de



Figuras 20 a y b. Tensor a base de torones sobre el eje B. Fotografías de Rogelio Vargas Villanueva, 2015.



Figura 21. Caja de sensores sobre el eje 1 para tomar fuerzas de tensión en el muro de la fachada. Fotografía de Rogelio Vargas Villanueva, 2015.

lago desde el punto de vista geotécnico, el subsuelo está constituido por materiales muy compresibles.

Sobre la calle Floricultor, en el subtramo comprendido entre las calles Tulipán y Magdalena Moreno, que corresponde a la manzana donde se ubica propiamente el recinto religioso delimitado por su atrio y templo, la velocidad de hundimiento regional diferencial es de 0.90 cm/año, en una distancia de 85 m, que se considera de impacto moderado sobre el monumento histórico.

Hundimiento en el templo

Los resultados obtenidos en las referencias ubicadas en los elementos de cornisa del templo muestran asentamientos asociados con el hundimiento regional comprendido entre los 69 y 72 mm, en el periodo de abril de 2014 y enero de 2016 (figura 25).

Se advierte un suave patrón de movimientos no uniformes con una muy baja velocidad de hundimiento diferencial entre los ejes C y D, que corresponden a los muros que delimitan el templo, con una velocidad de 0.8 a 1 mm/año. Dicho patrón se acentúa en la franja delimitada por los ejes 2 a 4, y en la fachada se advierte ahora una condición de movimientos verticales uniformes.

Desplomo

En relación con la tendencia contemporánea de las condiciones de verticalidad medidas recientemente en el templo de San Luis Obispo, se puede comentar que en la fachada, durante la colocación de los sensores en la arista norte, que se ubica en una de las esquinas del campanario, se reportó una reducción del desplomo preexistente de -9 mm en dirección norte, y en contraparte, en la arista sur, se reportó un incremento de +11 mm. Después de la colocación de los sensores, en dichas aristas se ha reportado una condición de estabilidad.

En las aristas de medición ubicadas sobre el eje 2, donde también se colocó una línea de sensores, se reportó un comportamiento análogo: reducción del desplomo en el eje norte de -7mm e incremento en el lado sur de +5 mm. Asimismo, después de la colocación de los sensores se reporta una condición de estabilidad (figuras 20 y 21).

En el resto de las aristas de medición en la parte central y oriente del templo se advierten fluctuaciones mínimas que pueden asociarse con una tendencia de incremento de desplomo hacia el norte (zona



Figura 22. Tratamiento de la fractura en el muro de fachada a base de remamposteo e inyección, vista desde el interior del coro. Fotografía de Rogelio Vargas Villanueva, 2015.

chinampera del lago), de muy baja magnitud y con una condición de estabilidad.

Conclusiones y recomendaciones finales

a) A partir de los resultados de la revisión estructural y del monitoreo topográfico realizado para evaluar el comportamiento del inmueble y de su entorno, se determinó la necesidad de rehabilitar estructuralmente la fachada y la franja poniente de la cubierta, mediante la colocación de tensores, el tratamiento de fracturas, grietas y fisuras y la impermeabilización de este último sector (figuras 22 y 23).

b) Los criterios y actividades de atención y mejoramiento del templo son congruentes con los lineamientos establecidos en el dictamen inicial elaborado



Figura 23. Proceso de remamposteo en la fractura principal sobre la fachada, vista exterior. Fotografía de Rogelio Vargas Villanueva, 2015.

por el INAH en mayo de 2014, y para su implementación fue necesario distinguir entre dos ámbitos de intervención, en función de la inversión económica: el comunitario, que abarcó acciones de bajo costo, y el institucional, con intervenciones de mayor alcance y costo.

c) Los trabajos de proyecto y obra de rehabilitación de la fachada y la franja poniente de la cubierta se desarrollaron en el ámbito comunitario de recursos económicos limitados, y se debe resaltar su bondad y eficiencia a bajo costo, con acciones poco invasivas —sin interrumpir el funcionamiento del templo—, de respuesta inmediata y tiempo de ejecución reducido.

d) Tomando en cuenta que uno de los factores que inciden en el comportamiento del templo es el

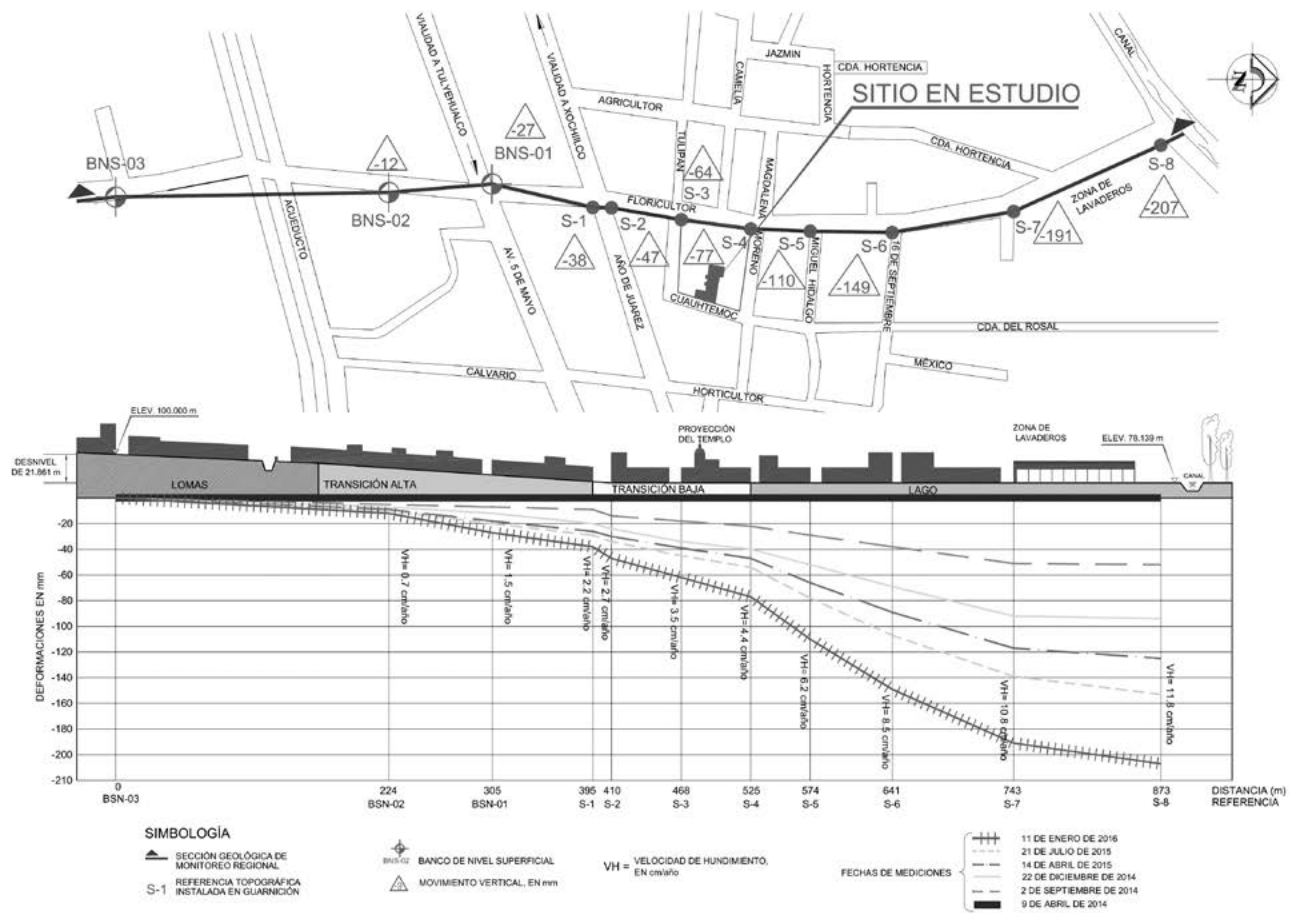


Figura 24. Hundimiento regional a nivel manzanero. Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2016.

hundimiento regional que seguirá evolucionando en los próximos años, es necesario implementar un monitoreo topográfico una vez cada dos años, incluyendo inspecciones técnicas y un programa de mantenimiento preventivo y correctivo en el templo, que considere el tratamiento de discontinuidades. El monitoreo topográfico deberá incluir nivelaciones de precisión, lectura de desplomos y medición de actividad en grietas (figuras 24 y 25).

e) Si bien queda abierta la posibilidad de efectuar estudios en el subsuelo y proyectos integrales de restauración a mayor profundidad y detalle, una vez que se han mejorado las condiciones estructurales del templo es preciso dar continuidad a las etapas de intervención señaladas en el dictamen de referencia, solucionando en el corto plazo los pro-

blemas de humedad e impermeabilización complementaria de cubiertas y muros, antes de proceder a la decoración interior de las bóvedas de la cubierta.

Todo lo anterior tiene el propósito de frenar el deterioro del templo de San Luis Obispo de Toluca y lograr de manera gradual su rehabilitación arquitectónica y su embellecimiento, recuperando al mismo tiempo su contexto histórico con sus permanencias y cambios, como parte esencial del patrimonio arquitectónico, artístico y cultural de la delegación Xochimilco de la Ciudad de México.

Agradecimientos

La empresa IESA agradece a la Comisión de Rehabilitación de la Fachada del Templo su confianza para

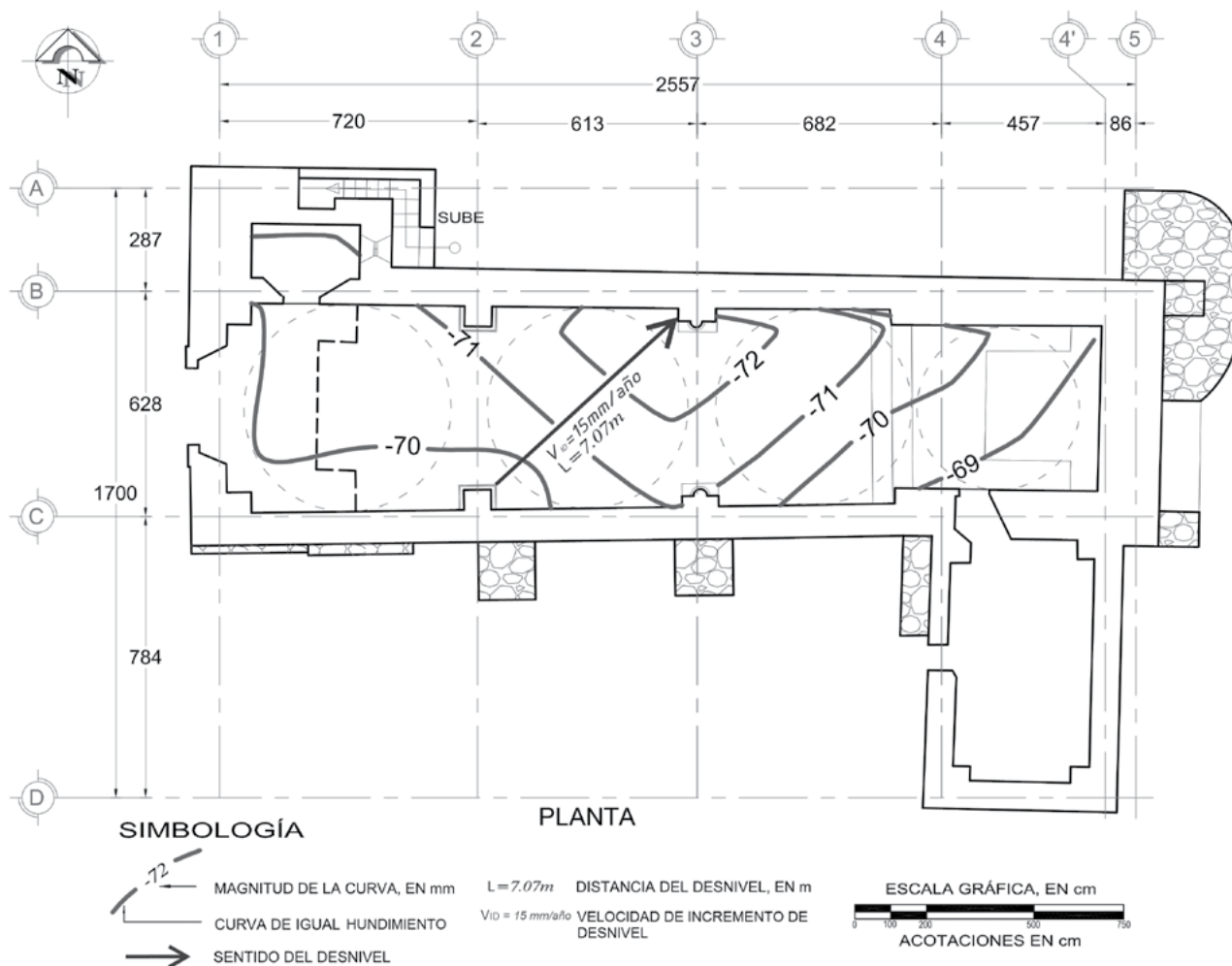


Figura 25. Curvas de igual hundimiento que representa el comportamiento reciente del templo (9 de abril de 2014-11 de enero de 2016). Dibujo elaborado por Rogelio Vargas Villanueva, 2016.

el desarrollo de los trabajos, con el objetivo de lograr decisiones efectivas para la organización de la comunidad; en particular a los señores Alfonso Sánchez M. y Víctor Robles B., así como a las señoras María Teresa Xolalpa B., Josefina Cruz B., María Josefina Cabrera E., Gudelia Noriega X. y Josefina Barrera C.

Es momento de resaltar la generosa actitud de los directivos de IESA por adaptarse en tiempo y forma a la disponibilidad de los recursos de la comunidad. Además de reconocer la labor del ingeniero Víctor Moreno Trejo, quien dirigió la obra de rehabilitación estructural, y del arquitecto Salvador Ávila Gaytán por sus comentarios y observaciones.

