



CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

TESIS

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CAPILLA DE SAN JUAN
NEPOMUCENO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO
HISTÓRICO EDIFICADO

PRESENTA

BRANDON LOUIS BECERRA AVELAR

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS**

TUTOR

DR. JESÚS PACHECO MARTÍNEZ

COTUTOR

DR. RAUDEL PADILLA CENICEROS

ASESOR

MTRA. MARISOL NAVARRO HERNÁNDEZ

AGUASCALIENTES, AGS., MÉXICO, 20 DE NOVIEMBRE DE 2023

CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL

MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCION

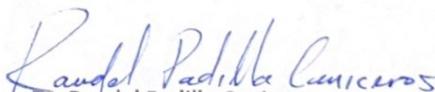
PRESENTE

Por medio del presente como **COTUTOR** designado del estudiante **BRANDON LOUIS BECERRA AVELAR** con ID **148498** quien realizó la tesis titulada: **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CAPILLA DE SAN JUAN NEPOMUCENO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO EDIFICADO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 28 de noviembre de 2023.


Dr. Raudel Padilla Cenicerros
Cotutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL

MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCION

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **BRANDON LOUIS BECERRA AVELAR** con ID **148498** quien realizó la tesis titulada: **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CAPILLA DE SAN JUAN NEPOMUCENO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO EDIFICADO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que **él** pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 28 de noviembre de 2023.



Mtra. Marisol Navarro Hernández
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 28/11/2023

NOMBRE: Brandon Luis Becerra Avelar **ID** 148498

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil **LGAC (del posgrado):** Estructuras y Construcción

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo Práctico

TITULO: Análisis Estructural de la Capilla de San Juan Nepomuceno para la Conservación del Patrimonio Histórico Edificado

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Se contribuye a la conservación patrimonial de la capilla de San Juan Nepomuceno y a la elaboración de una metodología específica para el análisis de edificios de carácter histórico.

INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
NO				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Si
 No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

Dr. Mario Eduardo Zermeño de León

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Dr. Martín Hernández Marín

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Dr. Mario Ernesto Esparza Díaz de León

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

Mtra. Ma. Guadalupe Lira Peralta

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por otorgar el financiamiento durante este proceso.

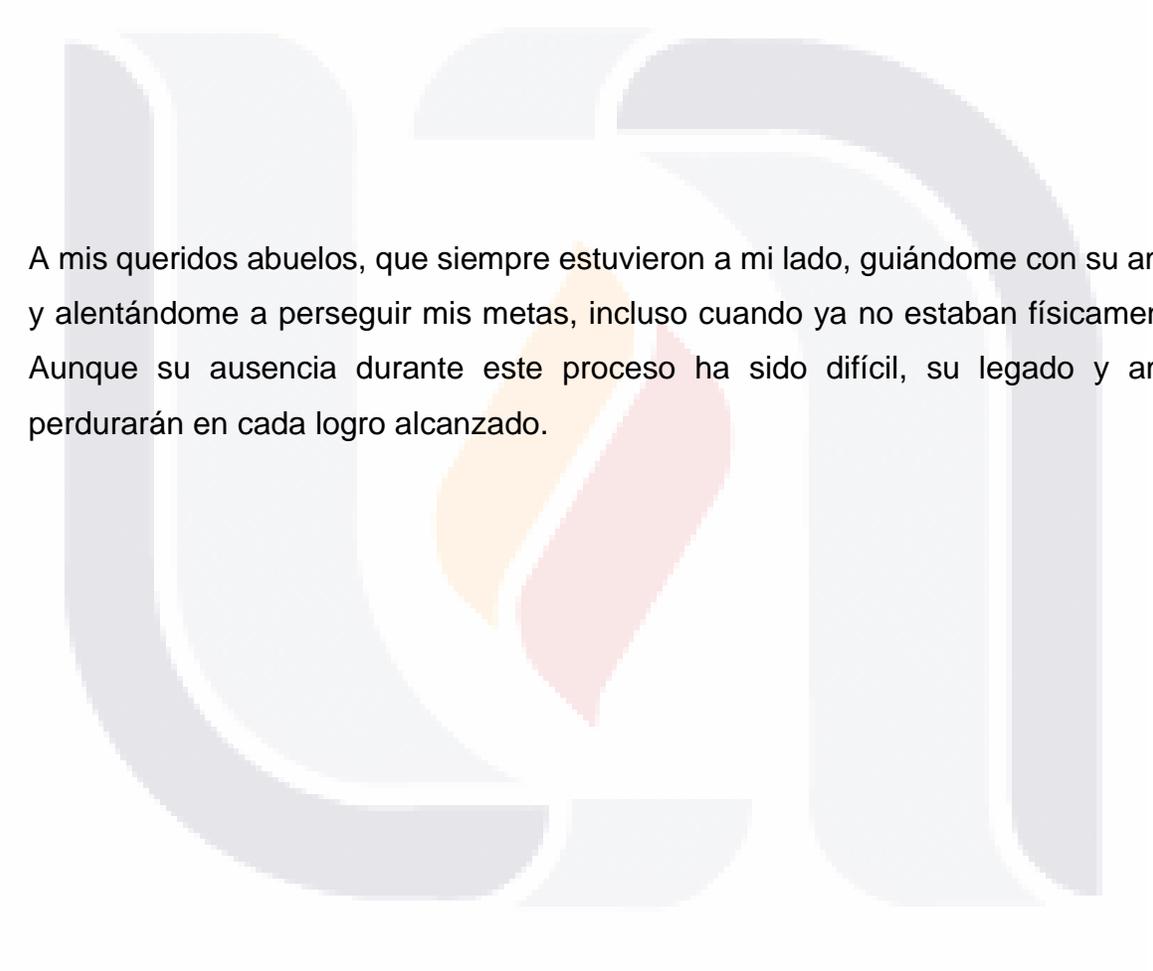
A mi Tutor, el Dr. Jesús Pacheco Martínez por su invaluable orientación, apoyo y dedicación como tutor de este trabajo. Su conocimiento y guía fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Al Dr. Raudel Padilla Ceniceros por su valiosa asesoría, sugerencias y aportes durante el proceso de investigación.

A la Mtra. Marisol Navarro Hernández, por su generosidad y gran disposición para compartir conocimientos a lo largo de mi trayectoria en la maestría.

A mi familia y amigos por su constante apoyo, comprensión y ánimo durante esta etapa académica.

DEDICATORIAS



A mis queridos abuelos, que siempre estuvieron a mi lado, guiándome con su amor y alentándome a perseguir mis metas, incluso cuando ya no estaban físicamente. Aunque su ausencia durante este proceso ha sido difícil, su legado y amor perdurarán en cada logro alcanzado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	1
----------------------------	----------

ÍNDICE DE TABLAS	3
-------------------------	----------

ÍNDICE DE FIGURAS	4
--------------------------	----------

RESUMEN	9
----------------	----------

ABSTRACT	10
-----------------	-----------

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	11
---------------------------------	-----------

CONTEXTO HISTÓRICO Y RELEVANCIA DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO	11
---	----

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
-------------------------	----

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	16
---------------------------	----

HIPÓTESIS	18
-----------	----

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
-------------------------------	----

METODOLOGÍA EMPLEADA	19
----------------------	----

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	23
-------------------------------------	-----------

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	26
------------------------------------	-----------

PRINCIPIOS Y NORMATIVAS PARA LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO	26
---	----

PRINCIPIOS BÁSICOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.	29
LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS	31
CONCEPTOS BÁSICOS DEL MÉTODO DE NAKAMURA	36
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	42
GEOPSY	44

CAPITULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO **45**

ULTIMA INTERVENCIÓN AL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO	48
RECOPIACIÓN DE DATOS SOBRE EL TEMPLO	53
MEDICIONES DE VIBRACIÓN AMBIENTAL	68
MODELADO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL	78

CAPITULO V: DISCUSIÓN **95**

CAPITULO VI: CONCLUSIONES **96**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **98**

ANEXOS **107**

FICHAS DE DAÑOS Y DETERIOROS	107
------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE PROPIEDADES, COMPORTAMIENTO Y ACCIONES EN EL MEF (GONZÁLEZ, 2019).	43
TABLA 2- INTERVENCIONES REALIZADAS A LO LARGO DEL TIEMPO.	45
TABLA 3 VALORES DE ESFUERZOS CRÍTICOS Y SU CORRESPONDIENTE COMPARACIÓN CON LOS VALORES DE LOS ESTADOS LÍMITE DE FALLA EN KG/CM² (ARAIZA 2009)	50
TABLA 4 FRECUENCIAS OBTENIDAS POR H/V	77
TABLA 5 FORMAS MODALES DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO	82
TABLA 6 ESPECTROS DE FRECUENCIA DE LAS CAMPAÑAS EXPERIMENTALES EN LAS BÓVEDAS 1, 2 Y 3 DE LA NAVE CENTRAL.	90
TABLA 7 COMPARATIVA DE FRECUENCIAS MODALES SIN CALIBRAR	91
TABLA 8 VARIACIÓN DE FRECUENCIAS MODALES CALIBRADAS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- UBICACIÓN DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO DENTRO DE LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES.	12
FIGURA 2 FOTOGRAFÍA DE INTERVENCIÓN REALIZADA EN 2009 A BÓVEDA DE CORO(EXTERIOR) (FEBRERO 2022)	47
FIGURA 3 FOTOGRAFÍAS DE INTERVENCIÓN REALIZADA EN 2009 A BÓVEDA DE CORO(INTERIOR) (FEBRERO, 2022)	47
FIGURA 4 IMAGEN DE LA BÓVEDA DEL CORO EN LA QUE SE APRECIA CLARAMENTE LA DEFORMACIÓN (HUNDIMIENTO EN CLAVE). OBTENIDA DEL DOCUMENTO “EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA BÓVEDA DE CUBIERTA DEL CORO DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO” (ARAIZA 2009) ..	48
FIGURA 5 ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE PLACAS ANCLADAS A LOS MUROS LATERALES DEL TEMPLO PARA MONITOREO DE DESPLAZAMIENTOS (ARAIZA, 2009).....	51
FIGURA 6 FIGURA CONCEPTUAL SISTEMA DE CABLES COLGADOS EN VIGAS DE ACERO (ARAIZA, 2009).	52
FIGURA 7 FOTOGRAFÍA DE CANTERA UTILIZADA PARA CONSTRUCCIÓN DE ALGUNOS ELEMENTOS TEMPLO SAN JUAN NEPOMUCENO (MARZO 2022)	54
FIGURA 8 FOTOGRAFÍA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO MUROS DE TEMPLO SAN JUAN NEPOMUCENO (MARZO 2022)	55
FIGURA 9 (A) EN LOS RECUADROS INTERIORES, ANCLAJES DE LOS TENSORES TRANSVERSALES ADOSADO A LAS BÓVEDAS. (B) DETALLE DEL TENSOR CORRESPONDIENTE A LA BÓVEDA DEL CORO (ARAIZA 2009).....	56

FIGURA 10 ELABORACIÓN DE MODELO COMPUESTO DE ELEMENTOS 3D FACES EN AUTOCAD 57

FIGURA 11 FACHADA PRINCIPAL DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO 58

FIGURA 12 FOTOGRAFÍA FACHADA PRINCIPAL DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO (MARZO 2022) 58

FIGURA 13 PLANTA ARQUITECTÓNICA DE ACCESO (ELABORADO POR LA MTRA. MARISOL NAVARRO HERNÁNDEZ, 2019)..... 59

FIGURA 14 PLANTA ARQUITECTÓNICA DE CORO (ELABORADO POR LA MTRA. MARISOL NAVARRO HERNÁNDEZ, 2019) 60

FIGURA 15 PLANTA DE AZOTEA (ELABORADO POR LA MTRA. MARISOL NAVARRO HERNÁNDEZ, 2019) 61

FIGURA 16 PLANTA DE CONJUNTO (ELABORADO POR LA MTRA. MARISOL NAVARRO HERNÁNDEZ, 2019) 62

FIGURA 17 FICHA 1 DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO..... 64

FIGURA 18 FICHA 8 DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO..... 65

FIGURA 19 FICHA 10 DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO 66

FIGURA 20 FICHA 11 DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO 67

FIGURA 21 LECTURA OBTENIDA EN P-01, SENTIDO VERTICAL-TRANSVERSAL 69

FIGURA 22 LECTURA OBTENIDA EN P-01, SENTIDO VERTICAL-LONGITUDINAL 70

FIGURA 23 REGISTROS DE VIBRACIONES DE LAS 3 COMPONENTES DEL P-04.
 LOS COLORES REPRESENTAN LOS TIEMPOS DE PROCESAMIENTO PARA LA
 OBTENCIÓN DE LA FRECUENCIA DEL PUNTO..... 70

FIGURA 24 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS SOBRE EL TEMPLO DE SAN JUAN
 NEPOMUCENO..... 71

FIGURA 25 FOTOGRAFÍA DE REGISTRO DE VIBRACIONES EN P-01, P-02 Y P-
 04, RESPECTIVAMENTE 72

FIGURA 26 PREPARACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA TOMA DE LECTURAS EN P-
 06. 73

FIGURA 27 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-01 73

FIGURA 28 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-02 74

FIGURA 29 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-03 74

FIGURA 30 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-04 75

FIGURA 31 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-05 75

FIGURA 32 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-06 76

FIGURA 33 ESPECTRO DE FRECUENCIA EN P-07 76

ILUSTRACIÓN 34 EJEMPLO DE SECCIONAMIENTO EN MACROELEMENTOS DE
 IGLESIAS DE PUEBLA: A) FACHADA, B) NAVE Y C) TRANSEPTO. (MEZA,
 2013) 78

FIGURA 35 GRIETA EXISTENTE EN BÓVEDA INTERMEDIA DE NAVE PRINCIPAL.
 79

FIGURA 36 MODELO 3D EN SAP2000 DE NAVE PRINCIPAL Y CRUCERO DEL
 TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO, ELEMENTOS TIPO FRAME. 80

FIGURA 37 ESFUERZOS NORMALES DE NAVE CENTRAL, EN KG/CM²..... 82

FIGURA 38 MODE 1: FRECUENCY 0.6307 PERIOD 1.5856 UX 0% UY 82%
 UZ 0%..... 83

FIGURA 39 MODE 2: FRECUENCY 1.139 PERIOD 0.878 UX 0% UY 0.0001%
 UZ 0%..... 83

FIGURA 40 MODE 3: FRECUENCY 1.8756 PERIOD 0.5332 UX 68% UY 0%
 UZ 0.0002% 84

FIGURA 41 MODE 4: FRECUENCY 1.9447 PERIOD 0.5142 UX 0.0027% UY
 0.0002% UZ 15% 84

FIGURA 42 MODE 5: FRECUENCY 2.1117 PERIOD 0.4736 UX 12% UY 0%
 UZ 0.0001% 85

FIGURA 43 MODE 6: FRECUENCY 2.1745 PERIOD 0.4599 UX 0% UY
 0.0416% UZ 0.0002% 85

FIGURA 44 MODE 7: FRECUENCY 2.3294 PERIOD 0.4293 UX 0.0008% UY
 0% UZ 0.3113% 86

FIGURA 45 MODE 8: FRECUENCY 2.6515 PERIOD 0.3771 UX 0% UY
 0.0008% UZ 0.0002% 86

FIGURA 46 MODE 9: FRECUENCY 2.691 PERIOD 0.3716 UX 0.0001% UY
 2.719% UZ 0.0008% 87

FIGURA 47 MODE 10: FRECUENCY 2.8389 PERIOD 0.3522 UX 0.0211% UY
 2.668% UZ 3.598% 87

FIGURA 48 MODE 11: FRECUENCY 2.8398 PERIOD 0.3521 UX 0.0269% UY
 1.454% UZ 6.476% 88

FIGURA 49 MODE 12: FRECUENCY 2.8976 PERIOD 0.3451 UX 1.961% UY
 0.0002% UZ 0.1854% 88

FIGURA 50 ESPECTRO DE FRECUENCIAS CORRESPONDIENTE A LA BÓVEDA 1
 DE LA NAVE CENTRAL, EN SENTIDO LONGITUDINAL..... 89

FIGURA 51 ESPECTRO DE FRECUENCIAS CORRESPONDIENTE A LA BÓVEDA 1
 DE LA NAVE CENTRAL, EN SENTIDO TRANSVERSAL..... 90

FIGURA 52 ESFUERZOS NORMALES DE NAVE CENTRAL, EN KG/CM^2
 (CALIBRADO)..... 93

FIGURA 53 DEFORMACIONES EN SENTIDO VERTICAL DE BÓVEDA DE CORO
 (ARAIZA, 2009), EN CM. 94

FIGURA 54 DEFORMACIONES EN SENTIDO VERTICAL DE BÓVEDA DE CORO, EN
 CM. 94

RESUMEN

El presente trabajo aborda el análisis de la salud estructural del Templo de San Juan Nepomuceno, un importante patrimonio histórico edificado que requiere medidas de conservación adecuadas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el estado de la salud estructural del templo y proponer recomendaciones para su preservación. Para lograrlo, se aplicaron métodos de análisis estructural, incluyendo inspecciones visuales, mediciones y la implementación de resultados de pruebas de resistencia de los materiales, obtenidas de una reciente intervención. La metodología utilizada involucró la recopilación de datos mediante visitas al sitio, registro fotográfico y la utilización de herramientas de análisis estructural asistido por computadora. Los resultados revelaron deficiencias estructurales en elementos del templo. Estas deficiencias se atribuyeron al envejecimiento natural de los materiales, la exposición a fenómenos climáticos de los elementos estructurales y el uso continuo a lo largo del tiempo del edificio. Con base en los resultados obtenidos, se formularon recomendaciones para continuar con el monitoreo del templo para que sea usado con seguridad por los feligreses que lo visitan. La presente investigación contribuye al conocimiento científico en el campo de la conservación del patrimonio histórico edificado al proporcionar un análisis preliminar del estado estructural del Templo de San Juan Nepomuceno. Los resultados y las recomendaciones obtenidas pueden servir como referencia para el seguimiento del caso de estudio del Templo de San Juan Nepomuceno o en su defecto la conservación de edificios históricos similares.

Palabras clave: frecuencia; patologías; patrimonio histórico edificado; Templo de San Juan Nepomuceno; vibraciones ambientales.

ABSTRACT

This work addresses the analysis of the structural health of the Temple of San Juan Nepomuceno, an important historical built heritage that requires appropriate conservation measures. The objective of this research was to evaluate the state of the structural health of the temple and propose recommendations for its preservation. To achieve this, structural analysis methods were applied, including visual inspections, measurements and the implementation of material resistance test results, obtained from a recent intervention. The methodology used involved data collection through site visits, photographic recording and the use of computer-aided structural analysis tools. The results revealed structural deficiencies in elements of the temple. These deficiencies were attributed to the natural aging of the materials, the exposure of the structural elements to climatic phenomena and the continuous use of the building over time. Based on the results obtained, recommendations were made to continue monitoring the temple so that it is used safely by the parishioners who visit it. The present research contributes to scientific knowledge in the field of conservation of built historical heritage by providing a preliminary analysis of the structural state of the Temple of San Juan Nepomuceno. The results and recommendations obtained can serve as a reference for monitoring the case study of the Temple of San Juan Nepomuceno or, failing that, the conservation of similar historical buildings.

Keywords: frequency; pathologies; built historical heritage; Temple of San Juan Nepomuceno; environmental vibrations.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

CONTEXTO HISTÓRICO Y RELEVANCIA DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

En la conservación del patrimonio arquitectónico, la comprensión de la salud estructural y su monitoreo continuo son aspectos fundamentales. Los edificios históricos, como el Templo de San Juan Nepomuceno, poseen un valor cultural, arquitectónico e histórico invaluable. Sin embargo, con el paso del tiempo y la exposición a diversos factores ambientales, estos edificios pueden sufrir deterioros que afecten su integridad.

La preservación efectiva del patrimonio arquitectónico histórico requiere un enfoque integral que valore la importancia del monitoreo continuo de la salud estructural. La capacidad de identificar signos iniciales de posibles deterioros o cambios estructurales posibilita una intervención preventiva que evita la progresión de problemas, salvaguardando la integridad de la estructura y contribuyendo a su preservación a largo plazo.

Según el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), existen 481 estructuras históricas registradas en el estado de Aguascalientes, México. El Templo de San Juan Nepomuceno es catalogado como el 448, con número de captura: I-0010200111. Dicho templo se localiza sobre la calle Francisco G. Hornedo, en la zona centro de la ciudad de Aguascalientes. Fue construido en el barrio de Tenería o Curtidores, que se ubicaba a orillas del arroyo que bajaba por lo que ahora es avenida Adolfo López Mateos. Su construcción tuvo lugar entre los años de 1764 y 1769 y ha sido testigo de importantes eventos a lo largo de los años. El templo visto en planta, tiene forma de cruz latina tradicional, aunque este concluye en un presbiterio de planta circular, lo cual no era común en la arquitectura religiosa del siglo en que se construyó, en la Villa de Aguascalientes.



Figura 1.- Ubicación del Templo de San Juan Nepomuceno dentro de la Ciudad de Aguascalientes.

El presente trabajo se enfoca en la valoración del estado actual de la salud estructural del objeto de estudio, enfocado en la obtención de los valores intrínsecos del inmueble mediante el uso de Métodos No Destructivos (NDT por sus siglas en inglés). Para ello se realizó una recopilación de los datos históricos (intervenciones), una inspección visual para obtener datos como sus elementos estructurales, sistemas constructivos y patologías existentes en su estructura. Así también se realizan campañas experimentales para la obtención de la frecuencia y modos de vibrar del estado actual del edificio y el periodo fundamental del terreno.

Los datos obtenidos por las campañas experimentales se utilizaron para la calibración de un modelo numérico que permitió identificar su comportamiento estructural en su condición actual dañada.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Existen diversas asociaciones, organismos, institutos o dependencias de gobierno que tienen como objeto investigar, preservar y difundir el patrimonio antropológico, arqueológico, histórico y paleontológico, ya sea de la nación o de los continentes con el fin de fortalecer la identidad y la memoria de la sociedad que lo posee, entre las más importantes figuran, a escala internacional, la UNESCO y el International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), y a escala nacional, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

Con el transcurso del tiempo, las estructuras dejan de desempeñar su función de la misma manera que cuando fueron erigidas, ya que sus características se deterioran gradualmente (Ancona, 2010). Factores como la exposición a condiciones climáticas adversas, actos de vandalismo o intervenciones sin un análisis previo contribuyen al deterioro de la construcción.

Aguascalientes es un estado conservador que es rico en su historia, cultura y tradición. Gracias a esto se ha preservado el patrimonio arquitectónico, principalmente en el centro de su capital, los cuales tienen especial atención de diversas instituciones, como el INAH, por ser parte de importantes sucesos históricos. De todo el patrimonio edificado reconocido, se centrará la atención en el templo de San Juan Nepomuceno.

En la antigüedad, una de las principales técnicas de construcción era la mampostería, la cual se basaba en conocimientos tradicionales. Su conocimiento se limitaba en seguir reglas prácticas muy generales. El daño que presentan las estructuras de mampostería consiste en su mayoría en grietas, degradación de sus materiales por intemperismo y deformaciones. Cuando aparecen grietas, generalmente son fácilmente localizadas, al igual que es perceptible la junta entre

elementos estructurales. Un cambio en las propiedades dinámicas de una estructura ya sea por corrosión, degradación, erosión, fisuras, daño parcial o pérdida del material, tiene un impacto directo en el comportamiento dinámico de la estructura de la edificación (Vázquez, 2005).

Las estructuras de mampostería erigidas en siglos pasados presentan propiedades mecánicas inciertas debido a que no siempre son visibles o perceptibles las irregularidades geométricas y la composición de la mampostería, es decir, que pueden implicar una discontinuidad en los materiales, tener una cantidad incierta vicios ocultos, humedad interior, variabilidad de las resistencias de los materiales, efectos de los últimos daños e intervenciones por cambios de arquitectura o por manipulaciones. Las estructuras de estos edificios requieren ser intervenidos con periodicidad, esto con la finalidad de conservarlas de la mejor manera, y cada que sea necesario, se hace una restauración más precisa para corregir los daños causados. (Anastasi, 2009).

Entender la condición actual de la integridad estructural de un edificio en relación con su antigüedad, su propósito de uso y su capacidad para resistir eventos es crucial y fundamental. Dado el considerable número de estructuras antiguas que aún están en funcionamiento en la actualidad, hay una gran preocupación en torno a la preservación y la necesidad de rehabilitación. Evaluar la seguridad no puede depender exclusivamente de la detección visual de grietas o signos de daño en los componentes estructurales (De Solà-Morales et al., 2006).

Así mismo, es importante comprender el estado de salud de la estructura del edificio y de sus componentes para garantizar su seguridad durante su uso continuo y para garantizar su durabilidad a largo plazo. Esta comprensión facilita la planificación de acciones necesarias para preservar adecuadamente el edificio y, si es necesario, restaurarlo. Esta preservación no solo se enfoca en aspectos ornamentales, sino

también en los elementos esenciales que aseguran su estabilidad estructural. En suma, en forma de pregunta, el problema de investigación de este trabajo se plantea: ¿Cuál es el estado estructural actual del Templo de San Juan Nepomuceno?

El uso de una metodología no invasiva para la caracterización de las propiedades de edificaciones consideradas como patrimonio, como lo es el Templo de San Juan Nepomuceno, es importante ya que Instituciones como el INAH protegen la integridad original del inmueble, requiriendo técnicas que arrojen datos tanto para su conservación estética como para su estabilidad estructural con la mínima alteración posible.

El proporcionar datos para el análisis estructural del Templo es fundamental para su permanencia, ya que este se encuentra en condiciones visibles de deterioro. Esto permitirá tomar las medidas preventivas adecuadas para garantizar su seguridad estructural y por ende su permanencia en el tiempo.

El trabajo realizado tiene como referencia el trabajo de Animas Rivera (2015), "El uso de la vibración ambiental como indicador para evaluar la condición estructural de edificios históricos", el cual tiene como objetivo principal desarrollar un enfoque metodológico que utilice la respuesta vibracional inducida por el ruido ambiental en edificios históricos, con el fin de valorar su seguridad estructural y determinar sus características. El trabajo realizado se basa en el hecho de que cualquier disminución en la eficiencia estructural de un edificio conlleva a cambios en las propiedades dinámicas de la estructura, relacionadas con su rigidez, y estas alteraciones en las propiedades mecánicas ocasionan modificaciones en la frecuencia de vibración (Pacheco et al., 2013).

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El análisis estructural del Templo de San Juan es de gran importancia para su conservación, debido a varias razones fundamentales:

a) Preservación del patrimonio histórico edificado:

El templo en conjunto con su historia, figura ser un valioso patrimonio histórico edificado el cual debe ser preservado. Tratándose como edificio patrimonial, tiene una conexión con el pasado de la villa de Aguascalientes y es un testimonio de su historia y religión. La conservación de este patrimonio es básica para garantizar su transmisión a las próximas generaciones y preservar la memoria colectiva.

b) Salvaguardia de la identidad cultural:

Dentro de la comunidad local, el Templo de San Juan Nepomuceno desempeña un papel importante en su identidad cultural. Su existencia y preservación promueven un sentido de pertenencia y arraigo y su conservación contribuye a la preservación de las tradiciones y valores culturales y religiosos que se le atribuyen, fortaleciendo así la cohesión social y la identidad colectiva.

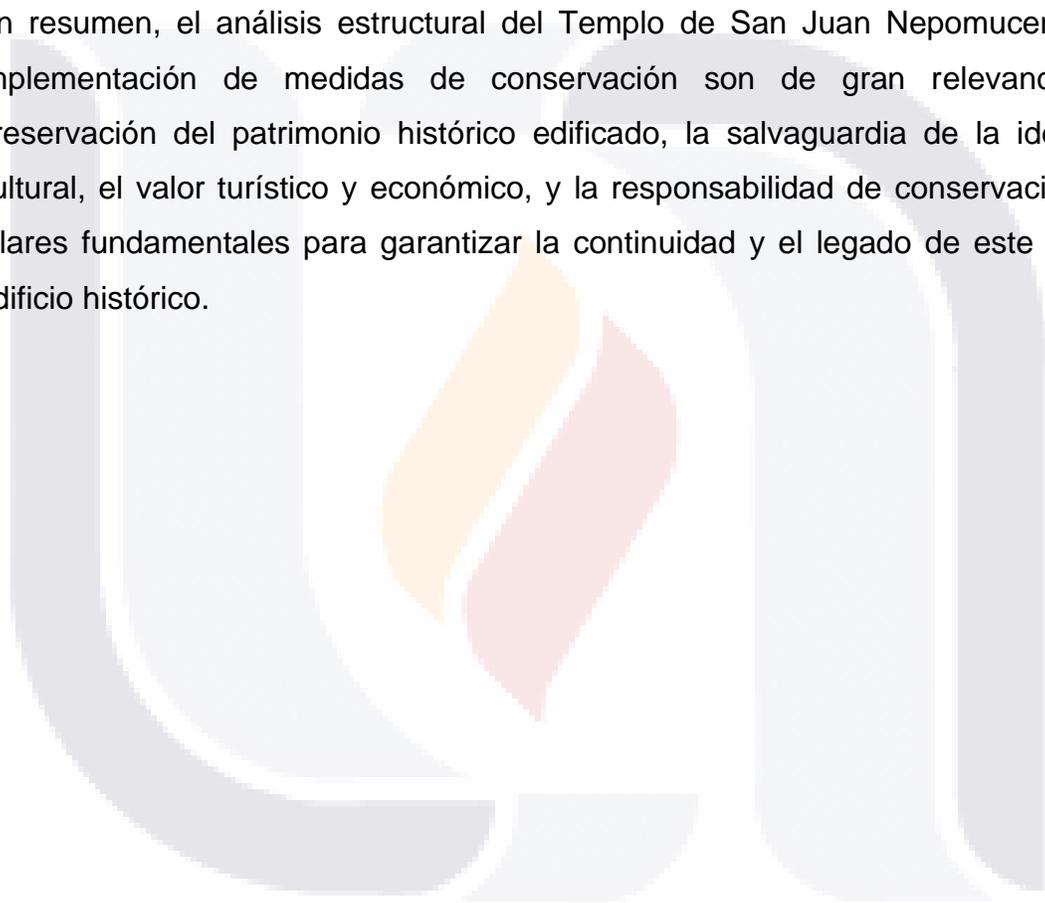
c) Valor turístico y económico:

Aunque en menor medida, el Templo también cuenta con un potencial en términos de turismo cultural y desarrollo económico local. Como edificio histórico, puede atraer a visitantes nacionales e internacionales interesados en conocer su arquitectura y su contexto histórico. Esto puede generar ingresos para la comunidad local a través del turismo, fomentando así el crecimiento económico y desarrollo sostenible.

d) Responsabilidad de la conservación:

La conservación del patrimonio histórico edificado es una responsabilidad compartida entre la comunidad, las autoridades locales y los expertos en patrimonio cultural. Este estudio contribuye a asumir esa responsabilidad al proporcionar un análisis estructural detallado y recomendaciones específicas para la conservación del Templo de San Juan Nepomuceno. Es imperativo actuar ahora para evitar una mayor degradación y pérdida de este importante patrimonio.

En resumen, el análisis estructural del Templo de San Juan Nepomuceno y la implementación de medidas de conservación son de gran relevancia. La preservación del patrimonio histórico edificado, la salvaguardia de la identidad cultural, el valor turístico y económico, y la responsabilidad de conservación son pilares fundamentales para garantizar la continuidad y el legado de este valioso edificio histórico.



HIPÓTESIS

Es posible realizar un diagnóstico confiable de la condición estructural actual del templo utilizando el software SAP2000 y la metodología de los elementos finitos, validando el modelo numérico por medio de la obtención de frecuencias fundamentales y modos de vibrar del Templo de San Juan Nepomuceno, posibilitando la implementación de medidas correctivas o preventivas adecuadas para su conservación.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo general de este trabajo se centra en realizar un diagnóstico a la estructura del templo para evaluar su condición estructural actual, validando un modelo numérico mediante la obtención de las frecuencias y modos de vibrar del templo, por medio del programa SAP2000, con el método de elementos finitos. Para alcanzar el objetivo, se aborda una serie de objetivos específicos:

- Realizar una recolección de la información referente a los antecedentes históricos que afecten directamente la geometría del Templo.
- Identificar las patologías que presenta el templo de San Juan Nepomuceno para conocer las afectaciones que provocan el deterioro de su estructura.
- Obtener el periodo natural del terreno por medio de acelerómetros y procesar las lecturas para obtener el H/V con el programa Geopsy.
- Realizar el modelo numérico de la condición estructural de las bóvedas del Templo, considerando un análisis lineal, elástico, así como un material homogéneo e isotrópico.
- Obtener la validación del modelo numérico por medio de la calibración de los resultados obtenidos "in situ" de las frecuencias naturales del edificio y las obtenidas en un análisis modal.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Para poder alcanzar los objetivos planteados se realizó una investigación bibliográfica, que como resultado muestra las intervenciones estructurales que sufrió el inmueble a lo largo del tiempo y se comparó con edificios con características similares, para con ello tener un criterio más amplio para las herramientas o metodologías a seguir en su diagnóstico.

Se consultaron diversas fuentes de información donde el objeto de estudio es catalogado como de valor patrimonial, fuentes como lo son artículos, tesis de posgrado y libros especializados, entre otros, donde se explican los procesos de evaluación del estado físico de estructuras.

Por su naturaleza el presente trabajo es un estudio de caso con enfoque mixto, con enfoques tanto cualitativo como cuantitativo, basándose en las metodologías sugeridas por diversos autores para la caracterización completa del inmueble que se tiene como enfoque de estudio.

- De tipo cualitativo porque se realizaron observaciones directas y detalladas de las condiciones visibles, identificando grietas, daños y cualquier indicio de deterioro; se buscó información visual del edificio en cuanto a su sistema constructivo, sus elementos, materiales utilizados en su construcción (y su posible origen), historia, entre otros. Todo esto es encaminado a los daños en su estructura, su historia y a la degradación existente en sus elementos, ya sea por patologías o por agentes de intemperismo.
- De tipo cuantitativo pues se utilizaron métodos de medición precisos para evaluar dimensiones, ángulos y propiedades físicas de los elementos estructurales del templo.

Existen distintos tipos de metodologías empleadas al momento de realizar diagnósticos de edificios antiguos, la mayoría de estas con un enfoque meramente estético, las cuales manejan técnicas tradicionales de restauración, conservando el estilo del inmueble, pero dejando en segundo plano la parte estructural.

En este contexto, comprender el comportamiento estructural de un edificio histórico antiguo resulta crucial al intentar evaluar su estado antes de cualquier tipo de intervención. La caracterización de un material implica analizar sus propiedades morfológicas y físicas con el fin de obtener información relevante sobre estos. Algunas de las características más empleadas en el ámbito estructural que proporcionan detalles sobre el comportamiento mecánico de un material incluyen el peso volumétrico (γ), el módulo de elasticidad (E), el módulo de Poisson (ν), la resistencia a esfuerzos de cortante, tensión y compresión.

Por lo general, estas propiedades se pueden obtener mediante pruebas destructivas realizadas en muestras o probetas del material a estudiar. Sin embargo, en el caso particular presentado, esto no fue viable debido a que el edificio está catalogado como patrimonio histórico. Por ende, para caracterizar sus materiales, se emplea un enfoque de medición "in situ" por medio de la aplicación de métodos no invasivos o destructivos. Estos métodos no destructivos, denominados NDT (Non-Destructive Testing), implican la medición de un parámetro físico específico del material en la superficie de dicho elemento.

La metodología específica que se siguió en el presente trabajo engloba lo siguiente

1. Estado del Conocimiento:

Revisión exhaustiva de la literatura y estudios previos relacionados con el análisis estructural de edificios históricos y la conservación del patrimonio.

2. Datos Históricos del Templo de San Juan Nepomuceno:

Recopilación de información histórica relevante sobre la construcción, remodelaciones, eventos importantes y contextos culturales asociados al templo.

3. Localización del Objeto de Estudio:

Identificación y delimitación geográfica y geoespacial específica del templo como objeto de estudio.

4. Levantamiento Topográfico:

Realización de mediciones y levantamiento topográfico para obtener información detallada sobre las dimensiones y configuración del templo y su entorno.

5. Caracterización Dinámica “in situ” de Elementos Estructurales:

Evaluación dinámica de la estructura para comprender su comportamiento ante cargas y movimientos, mediante pruebas de vibración.

6. Levantamiento de Patologías Estructurales:

Identificación y documentación de las patologías existentes, como grietas, fisuras, alteraciones, entre otros.

7. Caracterización de Materiales:

Análisis detallado de los materiales utilizados en la construcción del templo para comprender su composición, propiedades físicas y durabilidad.

8. Modelo Numérico Matemático:

Desarrollo de un modelo matemático o computacional que represente la estructura del templo para simular su comportamiento ante diferentes condiciones y cargas. Este modelo se calibra y valida comparando los modos de vibrar del modelo numérico contra las frecuencias dominantes determinadas con las mediciones “in situ”.

9. Resultados:

Presentación y análisis de los datos recopilados, pruebas realizadas y resultados obtenidos en cada etapa de la investigación.

10. Comentarios y Conclusiones:

Análisis crítico de los resultados, interpretación de hallazgos y formulación de conclusiones basadas en los resultados obtenidos.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

El proceso de modelado de una estructura histórica con el fin de evaluar su estado actual y prevenir su comportamiento futuro es una tarea altamente compleja. Requiere la participación de ingenieros especializados en estructuras que posean experiencia y conocimientos profundos en este campo, además de herramientas de análisis modernas. Sin embargo, llevar a cabo un modelado preciso y seguro resulta inviable sin un entendimiento apropiado de las características relevantes del prototipo en cuestión.

La tecnología actual ofrece a todos los profesionales involucrados una amplia gama de ensayos, dispositivos y técnicas, la mayoría de los cuales son no destructivos o tienen un impacto mínimo, permitiendo recopilar los datos esenciales para la construcción y verificación del modelo. Estos métodos no solo pueden aplicarse en las etapas de rehabilitación de la estructura, sino también antes y después de dicha intervención, considerando que el modelado de la estructura constituye únicamente una fase específica dentro del proceso global. (Cóias, 2006).

Peña (2013) en conjunto con otros autores, realiza una metodología específica que se enfoca en una evaluación integral del edificio histórico para comprender en su totalidad su funcionamiento estructural. Se desarrollan actividades como el levantamiento de materiales constructivos y levantamiento de daños, con la finalidad de realizar una caracterización dinámica y una posterior validación de un modelo numérico, obteniendo así resultados confiables. El uso de los aspectos básicos de la metodología descrita organiza en gran manera la recolección de datos que conforman un análisis integral para el diagnóstico de un edificio patrimonial.

De la Torre (2004) en conjunto con colaboradores, lleva a cabo una investigación sobre la evaluación y restauración de edificios históricos situados en áreas sísmicas

del país. Debido a los materiales utilizados en su construcción, estos edificios no presentan un comportamiento adecuado frente a sismos de moderada a alta intensidad. Se rescata en el artículo el comportamiento de elementos como arcos, bóvedas, cúpulas y muros ante interacciones sísmicas, describiendo diversos tipos de fallas, entre ellos los más comunes para mampostería no confinada de ladrillo y piedras de la región.

Manzano (2014) lleva a cabo la caracterización dinámica elástica de templos coloniales mexicanos, donde realiza análisis variados de las propiedades mecánicas y su impacto en el comportamiento dinámico elástico de dos templos coloniales mexicanos. A través de un análisis modal espectral, Manzano llega a la conclusión de que el templo de San Bartolomé, con su estructura en Cruz Latina, exhibe una significativa contribución de rigidez lateral proveniente de los muros y la bóveda del crucero en la dirección transversal, lo que resulta en la presentación de frecuencias altas en esa dirección modal. En contraste, el templo de Oaxaca, al ser de una sola nave, posee menos muros que proporcionan rigidez lateral en la dirección transversal, siendo esta la razón por la cual se observan frecuencias más bajas en dicha dirección.

Animas (2015) evalúa el empleo del modo de vibrar como un indicador de la condición estructural de edificios históricos, sin centrarse en una edificación en específico. Llegando a la conclusión de que puede ser empleado un análisis dinámico para cuantificar las propiedades mecánicas de construcciones de mampostería, debido a que la frecuencia con la que vibra el elemento se relaciona directamente con la condición de sus materiales. Es decir, si existe un cambio en sus propiedades dinámicas tendrá una influencia directa en el comportamiento de la estructura. Partiendo de esa suposición se utilizarán las frecuencias obtenidas del edificio en cada una de sus componentes para calibrar el modelo con las

condiciones actuales que presentan los materiales constructivos del Templo (propiedades dinámicas) posibilitando la evaluación del comportamiento estructural de forma confiable.

Milani (2017) en conjunto con otros autores realiza estudios en el nártex de la Iglesia de la Natividad en Belén, la cual posee tres bóvedas con un considerable deterioro. Para entender las posibles razones detrás de estos daños, llevaron a cabo simulaciones numéricas utilizando elementos finitos, recreando la respuesta sísmica y el proceso de deformación de un modelo tridimensional del pórtico, desde una configuración inicial asumida hasta una etapa que permitiera comparar el daño con la condición actual. Su modelo de elementos finitos incorpora en el análisis a la geometría de la estructura con su deformación actual. Se consideran varias suposiciones sobre las posibles causas de los daños. Mediante análisis paramétricos, se evalúa el impacto de las propiedades del material en la integridad estructural y, a través de análisis estáticos, se interpreta el estado presente de la estructura.

Sabrina (2018) y colaboradores lleva a cabo investigaciones en la Iglesia de San Michele Arcangelo para recopilar datos sobre su salud estructural y caracterizar el suelo en el que está ubicado. Utilizaron métodos no invasivos como el Georradar (GPR) y métodos sísmicos para obtener información sobre el comportamiento vibratorio de la estructura y las propiedades de propagación de ondas sísmicas en el suelo. Esta investigación descarta efectos de resonancia entre el terreno y el edificio, revelando que no había una amplificación de la frecuencia de vibración en la iglesia.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

PRINCIPIOS Y NORMATIVAS PARA LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO

La comprensión de los principios y las normativas establecidas a nivel internacional, nacional y local para la preservación del patrimonio histórico es crucial para desarrollar estrategias efectivas de conservación que respeten la autenticidad, integridad y valor histórico de los edificios históricos, incluyendo en este caso al Templo de San Juan Nepomuceno.

La conservación del patrimonio histórico se basa en diferentes estándares y directrices, dependiendo de su categorización y de los lineamientos aceptados internacionalmente en este campo. En México, la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (2018), en sus artículos 39, 40 y 41, establece las siguientes definiciones:

Monumentos arqueológicos: Se refieren a objetos o estructuras, tanto móviles como inmóviles, que se originaron en civilizaciones prehispánicas y que representan la evolución de dichas culturas, estando ubicados en el subsuelo o en la superficie del territorio nacional.

Monumentos históricos: Comprenden elementos, tanto móviles como inmóviles, que tienen su origen en la evolución histórica de México, reflejando la evolución de la historia del país y ubicados en la superficie del territorio nacional.

Monumentos artísticos: Incluyen objetos o estructuras, móviles o inmóviles, que resultan de la creatividad artística y representan la evolución de las artes en México, estando localizados en la superficie del territorio nacional.

La preservación del patrimonio histórico sigue una serie de principios y normativas que varían en alcance y aplicación dependiendo de la ubicación geográfica, la cultura y las leyes específicas de cada país o región. A continuación, se presentan algunos principios y normativas generales que suelen ser considerados en la preservación del patrimonio histórico:

Principios Generales (ICOMOS, 1964):

Autenticidad: La preservación debe conservar la autenticidad de los elementos históricos, manteniendo su integridad y originalidad tanto en aspectos físicos como en su contexto cultural.

Integridad: La conservación busca mantener la totalidad de los elementos históricos en su forma original, evitando intervenciones que puedan afectar su integridad física o significado cultural.

Continuidad Cultural: La preservación debe asegurar la transmisión de valores culturales a través del patrimonio, manteniendo su relevancia para las generaciones futuras.

Sostenibilidad: La conservación debe buscar un equilibrio entre la protección del patrimonio y su uso sostenible, considerando aspectos sociales, económicos y ambientales.

Normativas y Convenciones Internacionales:

Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural (UNESCO, 1972): Esta convención establece directrices para identificar, proteger y preservar sitios de importancia cultural o natural a nivel mundial.

Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios (ICOMOS, 1964): Proporciona principios éticos y técnicos para la conservación y restauración de monumentos y sitios culturales.

Carta de Venecia, adoptada en 1964 durante el II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos: Documento clave que establece directrices fundamentales para la conservación y restauración del patrimonio cultural y arquitectónico a nivel mundial.

La Carta de Venecia enfatiza varios principios importantes:

Respeto por la autenticidad: Insta a conservar la autenticidad material e histórica de los monumentos, reconociendo que cada estructura tiene un valor único y debe ser respetada en su contexto histórico y cultural.

Adopción de métodos reversibles: Propone utilizar técnicas y materiales que sean reversibles, de manera que las intervenciones actuales no comprometan la integridad del monumento ni impidan futuras investigaciones y restauraciones.

Evitar la falsificación: Promueve la prevención de falsificaciones o reconstrucciones excesivas que alteren la autenticidad de los monumentos, sugiriendo que las intervenciones deben ser claras y respetuosas con la historia original.

Equilibrio entre conservación y desarrollo: Reconoce la importancia de preservar el patrimonio cultural, a la vez que considera su integración en contextos urbanos modernos y su relevancia en el desarrollo sostenible de las comunidades.

Rol ético de los profesionales: Destaca la responsabilidad ética de los expertos en patrimonio cultural, conservadores, restauradores, arquitectos y autoridades, para garantizar la protección adecuada del patrimonio.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.

Para garantizar un análisis estructural confiable en edificaciones de carácter histórico, es esencial comprender el comportamiento estructural de la construcción (Ortiz et al., 2015). Este conocimiento es crucial para evitar la pérdida de los valores intrínsecos de la estructura. Por consiguiente, el enfoque principal conlleva a una estrategia integral de análisis que permite obtener una comprensión global de la edificación.

Según Ortiz (2015), los análisis se dividen en tres categorías: análisis de las condiciones pasadas, condiciones actuales y condiciones futuras. El análisis de las condiciones pasadas se concentra en explorar la historia de la edificación a lo largo del tiempo, lo que permite identificar sus valores inherentes y entender su situación estructural actual.

El análisis de las condiciones presentes proporciona información sobre el grado de afectación estructural que impacta en el inmueble, siendo este el punto en el que se planean las posibles intervenciones.

Respecto al análisis de las condiciones futuras, es vital reconocer la importancia de prever cómo estará el inmueble en el futuro. Esta previsión es fundamental en la conservación, ya que busca anticipar acciones para garantizar la salud estructural del inmueble.

Considerando las evaluaciones de las condiciones como base para elaborar una estrategia global, Peña (2008) se dedica a llevar a cabo una serie de fases específicas para llevar a cabo el análisis numérico de una construcción histórica.

La primera fase a cubrir es la adquisición de datos, la cual recopila toda la información disponible, incluyendo datos históricos, materiales utilizados en la construcción, descripciones geométricas y estructurales del inmueble, así como estudios preliminares (Rodríguez, 2013).

La siguiente fase es la selección de herramientas de análisis. En esta etapa se elige el método y modelo para el estudio de edificaciones históricas. El Método de Elementos Finitos permite definir cualquier tipo de geometría, tanto en dos como en tres dimensiones. Además, posibilita una precisa definición de las características de los materiales y las cargas aplicadas (Ortiz, 2015).

Otra herramienta relevante son los macroelementos, los cuales, al aplicarlos en estructuras patrimoniales como iglesias, representan elementos estructurales cuyas respuestas sísmicas se pueden evaluar de manera independiente del resto de la estructura. Este enfoque evita la necesidad de un modelo numérico completo de toda la iglesia, reduciendo así el costo computacional mediante modelos más pequeños de secciones de la estructura original. Los macroelementos surgen en presencia de mecanismos de daño que forman secciones con comportamientos similares a los de cuerpos rígidos, lo que les permite actuar como articulaciones o desvincularse del resto de la estructura (Doglioni et al., 1994).

Todo análisis estructural implica una idealización de la realidad, considerando aspectos como la geometría, el comportamiento del material, la estructura y las cargas aplicadas. Dependiendo del problema en cuestión corresponderá la elección de estas idealizaciones para que el modelo matemático resultante refleje con

precisión el comportamiento de la estructura (Timoshenko et al., 1970). Para lograr esto, es crucial realizar la calibración y validación del modelo. La calibración es el proceso de ajustar un modelo para que coincida con la realidad. La validación es el proceso de verificar que un modelo es preciso. Estos procesos pueden realizarse mediante pruebas experimentales, ya sea en el lugar (in situ) o en laboratorio. El cálculo de las frecuencias y modos de vibración permite confirmar que la relación entre masas y rigideces sea la apropiada (Beer et al., 2017).

Considerando los daños presentes en la estructura, también es posible realizar una calibración y validación cualitativa del modelo. En este sentido, se valida el modelo al reproducir los daños que presenta la estructura.

En el análisis de estructuras históricas, se recomienda el uso de análisis dinámicos en lugar de estáticos, especialmente cuando se trata de geometrías complejas. Esto se debe a que, en muchas ocasiones, los modos superiores de vibración influyen significativamente en el comportamiento global de la estructura. Por lo tanto, es poco común simplificar la estructura histórica como un sistema de un solo grado de libertad (Roegiers, 2006).

LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS

Es crucial identificar las diversas afectaciones o patologías presentes en los edificios para la evaluación de su salud estructural. El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), que se vincula a la UNESCO a través de la ONU, desarrolló un glosario ilustrado de formas de deterioro de rocas.

El glosario se compone de cinco categorías que se subdividen, creando una base de datos para reconocer y caracterizar estos daños. Su objetivo es establecer un lenguaje unificado que facilite la comprensión entre investigadores y reduzca confusiones en términos y conceptos (ICOMOS, 2011).

GRIETAS Y DEFORMACIONES

I. Grietas:

- Fractura: grieta que atraviesa completamente la pieza de roca.
- Fisuración radial: se presenta desde un centro, pudiendo originarse por elementos oxidados de hierro o impactos.
- Fisura: grieta pequeña de 0.1 mm de apertura.
- Craquelado: formación de una retícula de pequeñas grietas.
- Disyunción en lajas: fracturación de la roca a lo largo de planos de debilidades como micro fisuras o capas arcillosas.

II. Deformaciones: Consiste en un cambio de forma sin pérdida de su integridad.

DESPRENDIMIENTO

I. Ampollas: Elevaciones rellenas de aire en la superficie de la roca, se forman debido al desprendimiento de la lámina exterior de la roca.

II. Estallido: Pérdida en la superficie de la roca debido a tensiones internas, comúnmente se presenta en forma de cráter con bordes irregulares.

III. Deslaminación: Separación física en una o varias capas siguiendo la laminación, observada principalmente en rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas.

- Exfoliación: desprendimiento de múltiples capas muy finas, subparalelas a la superficie.

IV. Disgregación:

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Desmenuzamiento: desprendimiento de agregados de granos del sustrato, generalmente pequeños (menores de 2 cm).
 - Disgregación granular: Característica de rocas sedimentarias granulares o cristalinas, produciendo detritos relacionados con el cuerpo general de la piedra.

V. Fragmentación:

- Fragmentación en esquirlas: separación de piezas finas, esbeltas y agudas de rocas desgajadas del cuerpo principal.
- Desconchadura: fracturas de pequeños pedazos de las aristas de un bloque.

VI. Disyunción de películas: Capa fina superficial con apariencia de película o recubrimiento aplicado en la superficie de la roca.

VII. Descamación: Separación de escamas o pilas de escamas que no siguen la estructura de la roca.

- Micro descamación: pérdida milimétrica de forma curva o plana.

RASGOS INDUCIDOS POR PÉRDIDA DE MATERIAL

I. Alveolización: Creación de cavidades en la superficie de la roca, pudiendo estar interconectadas y tener tamaños y aspectos variables.

- Craterización: un tipo de alveolo desarrollado en la arista de un bloque de roca.

II. Erosión: Pérdida de la superficie original.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Erosión diferencial: no avanza con la misma velocidad en distintas áreas de la roca.
 - Redondeamiento: erosión en rocas cuyo deterioro es mediante disgregación granular.
 - Incremento de rugosidad: pérdida de pequeñas partículas de la roca, cuando su superficie original es suave.

III. Daños mecánicos: Pérdida de material por acciones mecánicas.

- Daños por impacto: causados por impacto o instrumentos duros.
- Incisiones: producidas por herramientas cortantes.
- Excoriaciones: rayas provocadas por objetos punzocortantes.
- Abrasión: provocada por rozamiento, frotamiento o impacto de partículas.
- Repicado: daño producido por golpes con herramientas punzantes.

IV. Microkarstificación: Reticula de pequeñas depresiones interconectadas de tamaño milimétrico, que, algunas veces asemejan una red hidrográfica.

V. Faltante: Espacio vacío donde anteriormente se encontraba una parte de roca.

VI. Perforación: Tamaño milimétrico producido por herramientas punzantes o animales, penetrando más profundamente que en el ancho.

VII. Pitting: Punteo submilimétrico de cavidades superficiales, con forma cilíndrica o cónica sin interconexión, aunque puede llegar a suceder.

ALTERACIÓN CROMÁTICA Y DEPÓSITOS

I. Costra: Almacenamiento de material en la superficie, incluyendo depósitos minerales con materia de la propia roca.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Costra negra: partículas atmosféricas atrapadas en una matriz de yeso.
 - Costra salina: brota por alto contenido salino, como se observa en rocas blanquecinas.

II. Depósito: Almacenamiento de material exógeno con variaciones en espesor.

III. Alteración cromática: Modificaciones de tono, luminosidad y saturación en la roca.

- Coloración: variación en tono, saturación y/o luminosidad.
- Decoloración: blanqueamiento de la roca.
- Manchas de humedad: opacamiento provocado por polvo, mugre o humedad.
- Tinción: teñido o manchado.

IV. Eflorescencia: Sales solubles en forma cristalina y pulverulenta, generalmente blancas.

V. Incrustación: Capa superficial firmemente adherida al sustrato.

- Concreción: encostramiento, normalmente en forma de estalactitas.

VI. Película: Capa de materia orgánica, en tonos opacos o traslúcidos.

VII. Brillo superficial: La superficie de la roca adquiere un aspecto de espejo.

VIII. Graffiti: Pintas en la superficie de la roca de tinta o productos químicos.

IX. Pátina: Daño cromático no superficialmente visible, provocado por agentes naturales o artificiales.

- Pátina ferruginosa: capa delgada oscura de hierro.
- Pátina de oxalato: presente en mármoles o calizas, en tonos naranjas a marrones.

X. Enmugrecimiento: Depósito superficial de polvo y partículas de combustión por contaminación atmosférica.

XI. Subflorescencia: Sales solubles, comúnmente blancas y poco compactas que se localizan bajo la superficie de la piedra.

COLONIZACIÓN BIOLÓGICA

I. Colonización biológica: Presencia de plantas, microorganismos y nidos de animales sobre y dentro de la roca.

II. Algas: Revestimiento de color verde o rojizo conformado por organismos vegetales microscópicos.

III. Liquen: Organismos vegetales corchosos de colores amarillo, gris, naranja, verde o negro.

IV. Musgo: Masa de organismos que se encuentra en sitios húmedos.

V. Hongos: Masas en colores blanco, gris o negro.

VI. Plantas: Raíces, troncos y hojas crecen entre y sobre las rocas.

CONCEPTOS BÁSICOS DEL MÉTODO DE NAKAMURA

A diferencia de las señales sísmicas generadas por fuentes localizadas con duración específica y coherentes en sus fases, el ruido sísmico constituye una señal continua, producida por múltiples fuentes independientes y no relacionadas entre

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sí. En algunas ocasiones, no es factible disponer de registros de terremotos debido a diversas razones.

En áreas con una baja tasa de actividad sísmica o durante experimentos temporales, es posible que no se logren registrar suficientes terremotos en las estaciones disponibles.

En otros escenarios, incluso en zonas con una alta actividad sísmica, la falta de estaciones sísmicas puede ocasionar la ausencia de registros. Por esta razón, desde hace mucho tiempo se ha sugerido el empleo de registros de vibración ambiental, conocidos como ruido sísmico, para analizar los efectos del sitio.

El ruido sísmico consiste en las vibraciones del suelo generadas por una variedad de fuentes que emiten ondas elásticas a través del subsuelo, como el choque de las olas contra la costa, el tráfico vehicular, eventos sísmicos lejanos o el funcionamiento de maquinaria, entre otros. Dado que las ondas que transportan el ruido sísmico son las mismas que propagan la energía generada por los terremotos, resulta lógico utilizar el ruido sísmico para estudiar el mismo medio de propagación y, por ende, analizar los efectos del sitio. (Chávez-García y Montalva, 2014).

El método de Nakamura (Nakamura, 2000) posibilita el estudio de las características de la amplificación del suelo según la frecuencia, utilizando únicamente mediciones del ruido sísmico. Cuando esta amplificación está vinculada a la geología local, se denomina amplificación por efecto del sitio, mientras que las frecuencias en las que se manifiesta esta amplificación se denominan frecuencias naturales. La frecuencia más baja en la que se presenta un pico de amplificación se conoce como frecuencia fundamental. Las amplificaciones se clasifican en dos tipos: geométrica y dinámica (Rosales, 2001).

El método de Nakamura ha sido ampliamente adoptado en los estudios de microtemblores debido a su facilidad de implementación y procesamiento de datos. Este método implica la captura de microtemblores en la superficie utilizando un velocímetro o un acelerómetro triaxial. Luego, se procede a procesar las componentes horizontales (H) y vertical (V) como espectros de Fourier. Finalmente, se calcula la relación H/V, la cual, proporciona la función de transferencia del suelo.

Las mediciones de vibraciones ambientales permiten identificar los parámetros dinámicos sin la necesidad de aislar o medir las cargas aplicadas directamente, sino que simplemente analizan la respuesta de la estructura. Estas pruebas se llevan a cabo en el lugar (in situ) sin interrumpir el funcionamiento normal del edificio. Se utilizan sensores estratégicamente ubicados en la estructura para captar las cargas ambientales que la afectan, provocando su vibración.

A través de la evaluación de la propagación de las ondas sísmicas primarias y secundarias, que representan los valores de velocidad de propagación de la onda sísmica compresional y de corte (V_p y V_s , respectivamente), se pueden determinar las propiedades elástico-dinámicas de un material utilizando la Teoría de la Elasticidad. Una vez que se conocen estas propiedades mecánicas y dinámicas, es factible emplear modelos numéricos para simular el comportamiento de la estructura bajo estudio.

En este trabajo se emplea la técnica como una herramienta para la caracterización dinámica del terreno y se explica a grandes rasgos su obtención a continuación.

Se establece la definición de la función de transferencia de las capas superficiales de manera en que es igual a la relación entre el espectro de Fourier de la componente horizontal de una estación superficial y el espectro de Fourier horizontal del basamento rocoso.

Una señal sísmica estocástica puede ser descrita como el producto de la convolución de las señales que la generan en el dominio del tiempo. Siguiendo esta premisa, en el dominio de las frecuencias, la señal estocástica se caracteriza por la multiplicación de los espectros de Fourier de ondas de cuerpo polarizadas horizontal, de ondas Rayleigh y de efectos de sitio.

Así también, existe una componente vertical superficial que no cuenta con efectos de sitio y una componente vertical del basamento (Nakamura, 1989). Definiendo el espectro de Fourier vertical de una estación superficial como la multiplicación de los espectros de Fourier de ondas de cuerpo polarizadas vertical (fuentes lejanas) y los de ondas Rayleigh (fuente cercana).

Si consideramos que tanto las componentes horizontales superficiales como la vertical son afectadas por las ondas Rayleigh en proporciones iguales, se obtiene una función de efecto de sitio ajustada que contrarresta los cambios producidos por estas ondas en la superficie.

$$S(f) = \frac{S_{HS}}{V_S} \cdot \frac{1}{\frac{H_B}{V_B}} = \frac{R_S}{R_B} \quad (1)$$

Basándose en observaciones, Nakamura sugiere que el espectro en roca se aproxima a 1, lo que significa que las amplitudes de las componentes vertical y horizontal de los micro temblores son comparables en la base rocosa. Por lo tanto, su función de transferencia se representa mediante la Ecuación 2:

$$S_{TT} = R_S \cdot \frac{1}{R_B} \approx R_S = \frac{S_{HS}}{V_S} \quad (2)$$

SESAME (2004), presenta una guía destinada a la implementación del método de relación espectral H/V utilizando el ruido sísmico ambiental, debido a que el método de Nakamura requiere una estratigrafía regular, estabilidad del suelo y el cumplimiento de una serie de condiciones específicas para que funcione correctamente.

Antes de proceder al análisis de resultados, se deben cumplir tres condiciones específicas para asegurar la fiabilidad de la curva obtenida de H/V (Pinto y Toledo, 2016).

Se exige una cantidad de ciclos mínima por ventana (La frecuencia fundamental debe ser mayor a una décima del ancho de la ventana), una condición de ciclos mínima de ciclos totales (el producto de la frecuencia fundamental y el número de ciclos significativos debe de ser mayor a 200), además de que no exista diferencia significativa en las componentes horizontales y la componente vertical.

Es fundamental confirmar la confiabilidad de la curva y asegurarse de la presencia de picos de frecuencia claramente identificables. Este criterio se fundamenta en seis condiciones, de las cuales al menos cinco deben cumplirse para clasificar un pico como claro y reconocer la frecuencia natural del suelo.

- Las dos primeras condiciones (Ecuación 3 y Ecuación 4) se refieren al rápido aumento y disminución que la curva debe mostrar antes y después del pico de frecuencia (Arango et al., 2016).

$$\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2 \quad (3)$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2 \quad (4)$$

Donde:

A_0 = amplitud del pico de la curva $\frac{H}{V}$ con frecuencia f_0

$A_{H/V}(f)$ = Amplitud del pico de la curva $\frac{H}{V}$ con frecuencia f

- La tercera condición requiere que la amplitud del pico de frecuencia sea superior a 2.
- La cuarta condición establece que debe existir una frecuencia con amplitud entre f_0 y la desviación estándar de la amplitud, que coincida con el pico de frecuencia con un margen del 5%.
- La quinta condición define el umbral límite para la desviación estándar del valor de la frecuencia (f) que asegure la estabilidad de la curva es como se especifica en la ecuación 5:

$$\sigma_f < \varepsilon(f_0) \quad (5)$$

- La sexta condición establece el umbral límite para la desviación estándar del valor de la amplitud, que garantiza la estabilidad de la curva:

$$\sigma_A(f) < \theta(f_0) \quad (6)$$

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Propuesto por Richard Courant en el año de 1943, el método se fundamenta en la discretización, dividiendo de esta manera un medio continuo sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento del medio. El Método de Elementos Finitos (MEF) como herramienta de ingeniería aplicada se relaciona con su aplicación en entornos prácticos y la necesidad de encontrar soluciones a problemas específicos en el entorno que nos rodea. Como teoría matemática estricta se vincula con la precisión matemática de los resultados obtenidos: la certeza, en diversos grados, de que son una aproximación a la solución real del problema, considerando toda su complejidad (Calderón et al., 2011).

Mediante este enfoque de análisis, resulta útil crear un modelo digital en algún software especializado para simular el comportamiento de la estructura con gran aproximación y comprender su funcionamiento. Sin embargo, es común confiar plenamente en el modelo numérico, cuando en realidad debería contrastarse con la realidad para validar su precisión (González et al., 2023).

El comportamiento de muchos fenómenos de ingeniería se puede describir mediante ecuaciones que gobiernan el continuo y condiciones de frontera. Estas ecuaciones suelen ser ecuaciones diferenciales parciales o ecuaciones diferenciales ordinarias. Desde el punto de vista matemático, el método de elementos finitos, es un método numérico que se utiliza para resolver conjuntos de ecuaciones diferenciales (ecuaciones 7, 8 y 9) (González, 2019).

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + f_x = m\ddot{u}_x \quad (7)$$

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + f_y = m\ddot{u}_y \quad (8)$$

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_x = m\ddot{u}_z \quad (9)$$

La teoría que respalda este método se basa en la existencia de nodos representativos en cada elemento, donde los nodos adyacentes pertenecen al mismo elemento finito y un nodo situado en el límite de un elemento actúa como una frontera que transmite fuerzas y momentos a los elementos vecinos. Por consiguiente, la resolución del método de elementos finitos no considera al medio como una única entidad, sino como una suma de los resultados individuales de cada uno de los elementos que constituyen la representación del medio (Losa, 2023).

Tabla 1 Resumen de propiedades, comportamiento y acciones en el MEF (González, 2019).

TIPO DE PROBLEMA	PROPIEDADES K	COMPORTAMIENTO U	ACCIÓN f	CAMPO DE APLICACIÓN
Problemas de elasticidad	Rigidez	Desplazamiento	Fuerza	Ingeniería Estructural y Mecánica
Problema térmico	Conductividad	Temperatura	Fuente de calor	Ingeniería Mecánica
Problema electrostático	Dieléctrico Permittivity	Potencial eléctrico	Carga	Ingeniería Eléctrica
Problema de fluidos	Viscosidad	Velocidad	Fuerza del cuerpo	Ingeniería Civil y Mecánica

GEOPSY

Actualmente, las vibraciones ambientales se emplean ampliamente en diversos ámbitos de la ingeniería y la investigación científica en todo el mundo, y el software Geopsy junto con sus herramientas adicionales forman parte de este panorama.

GEOPSY (2012) es una herramienta de referencia para el análisis de datos de vibraciones ambientales en estudios de caracterización de sitios. La versatilidad de Geopsy permite procesar cualquier tipo de datos requeridos en estudios de caracterización de sitios, desde registros de una sola estación hasta registros de matrices de tres componentes. En todos estos casos, las etapas, desde la adquisición de datos en campo hasta la generación de gráficos listos para su publicación, están cubiertas y respaldadas por interfaces gráficas de usuario fáciles de usar o por herramientas de línea de comandos correspondientes que permiten la automatización de todo el proceso de procesamiento.

CAPITULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

La preservación y conservación de monumentos históricos como el Templo de San Juan Nepomuceno son pilares fundamentales para mantener viva la herencia cultural y arquitectónica de una sociedad. La historia de la restauración y conservación del Templo de San Juan Nepomuceno ha sido testigo de múltiples intervenciones a lo largo del tiempo, cada una con su propio propósito (tabla 2).

Tabla 2- Intervenciones realizadas a lo largo del tiempo.

1764 – 1769	1877	1963	2009
CONSTRUCCIÓN	PRIMERA AMPLIACIÓN	SEGUNDA AMPLIACIÓN	REPARACIÓN
Construida por el Cura D. Mateo José Arteaga, 1764 ⁽¹⁾	9 feb. 1877 se autoriza la ampliación	Se recuperan espacios que la iglesia había perdido.	Intervención a primera bóveda (bóveda de coro).
4 de octubre de 1969. Noticia más antigua donde ya existe el templo ¹⁽²⁾	Incluye altares laterales, altar principal y crucero	Construcción de naves laterales	Metodología específica para evaluación parcial del templo.

Su distribución actual se debe a las intervenciones realizadas con el paso del tiempo. Como se menciona anteriormente, su creación data de entre los años de

¹ (1) Garibi (1963), que conoció mucho sobre la vieja diócesis de Guadalajara, y manejó documentos fidedignos, menciona que en 1764 se edificaron las capillas de San Juan Nepomuceno y Tercera Orden. (2) Noticia publicada en Libro primero de Gobierno, hojas 283-292

1764 y 1769, erigido por el Cura Párroco D. Mateo José Arteaga. Según Dávila Garibi, menciona que en 1764 se edificaron las capillas de San Juan Nepomuceno y Tercera Orden (Dávila Garabi, 1963). Para 1877 se autoriza la ampliación que incluye los altares laterales, el altar principal y el crucero. El día 9 de febrero de 1877, el Ilmo., Sr. Arz. D. Pedro Loza y Pardavé contestaba al Sr. Cura D. Antonio Castañeda, Párroco de la Asunción de Aguascalientes:

“Es de mi aprobación la proyectada obra de ampliar la capilla de San Juan Nepomuceno con cruceros y buena Sacristía de que carece, según me lo propone V, en su oficio de dos de los corrientes y solamente le recomiendo a V. que procure que todo se haga con solides y buen gusto, como conviene a esta clase de obras. Ahí cuando esté concluida dicha capilla veremos, que cosas a propuestas de V. se pueden facilitar de parte de la parroquia para su servicio. Procure V. que quede independiente de las casas” (Arch. Parr. Asun. Ags., 1877).

Para el año de 1963, se recuperan espacios que la iglesia había perdido y se hace una nueva ampliación donde se construyen las naves laterales. (López-Velarde, 1967).

En el año 2009 se realiza una intervención estructural a la primera bóveda, correspondiente al área de coro, la cual presentaba un notorio hundimiento (pérdida de su geometría). Dicha intervención se realiza a petición de la Secretaría de Obras Públicas Municipales de Aguascalientes, habiendo hecho previamente una propuesta de estudio y posterior intervención, a cargo del Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil (figura 2 y 3).



Figura 2 Fotografía de intervención realizada en 2009 a bóveda de coro(exterior) (febrero 2022)



Figura 3 Fotografías de intervención realizada en 2009 a bóveda de coro(interior) (febrero, 2022)

ULTIMA INTERVENCIÓN AL TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

El Templo de San Juan Nepomuceno, una construcción que data del siglo XVIII, actualmente exhibe una amplia gama de problemas patológicos, problemas que van desde humedades ocasionadas por infiltraciones o capilaridad hasta la alteración geométrica general del edificio (figura 4). El trabajo que presenta Araiza (2009), a solicitud de la Secretaría de Obras Públicas Municipales de Aguascalientes, se centra en la investigación del estado de la bóveda de cubierta del coro.



Figura 4 Imagen de la bóveda del coro en la que se aprecia claramente la deformación (Hundimiento en clave). Obtenida del documento "Evaluación estructural de la bóveda de cubierta del coro del templo de San Juan Nepomuceno" (Araiza 2009)

Entre los estudios realizados al inmueble destacan los siguientes:

Para la determinación de velocidad de pulso ultrasónico se empleó un equipo modelo V-Meter Mk III, marca James Instruments Inc. (Ultrasonic Pulse Velocity Tester) y con ello se obtuvo el módulo de elasticidad o módulo de Young de la mampostería de la bóveda. El coeficiente de Poisson se tomó igual a 0.25, valor característico para sistemas de mampostería.

Para el ensayo de esclerómetro se utilizó un martillo de rebote digital marca James Instruments, con el cual se determinó la resistencia aproximada del concreto de los elementos estructurales adyacentes de la bóveda (muros y trabes). La resistencia a la compresión aproximada para estos elementos estructurales resultó ser de poco más de 200 kg/cm².

Para la extracción de núcleos cilíndricos se empleó un taladro para extracción de núcleos de concreto, piedra y mampostería, con una broca de 3 pulgadas. Con este se determinaron propiedades tanto físicas como mecánicas de los materiales estructurales que componen la bóveda. En este sentido se encontró que el ladrillo rojo cerámico de la bóveda tiene una resistencia a la compresión de 138.56 kg/cm², una densidad de 1.87 y una absorción de 23.93%.

Con los datos obtenidos y en conjunto con un análisis estructural, Araiza concluye en que la bóveda de coro deformada sobrepasa por mucho los valores de estado límite de falla por tensión y cortante de la mampostería (tabla 3), siendo solamente menores estos esfuerzos los correspondiente a la compresión.

Tabla 3 Valores de esfuerzos críticos y su correspondiente comparación con los valores de los estados límite de falla en kg/cm² (Araiza 2009)

Estado límite de falla (kg/cm ²)		Valor máximo obtenido en el análisis		Valor estado límite de falla (mampostería)
		Bóveda no deformada	Bóveda deformada real	
Tensión		2.10	5.60	2.00
		1.20	5.80	
Cortante		2.50	4.75	3.50
Compresión		3.50	12.00	20.00
		3.50	14.50	
Esfuerzos principales (tensión)		2.10	6.00	2.00
		0.90	3.40	

Se determina que la bóveda sigue “en pie” debido a que la misma está en parte “colgada” del cable tensor (figura 5), lo que evita que la rótula se desarrolle completamente y haya un colapso de la estructura de la bóveda.

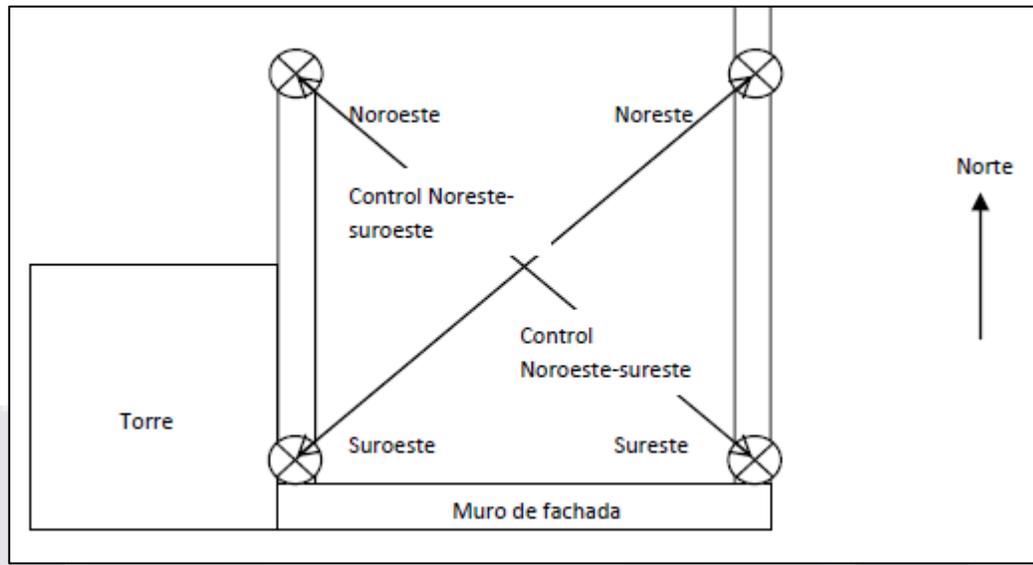


Figura 5 Esquema de colocación de placas ancladas a los muros laterales del templo para monitoreo de desplazamientos (Araiza, 2009).

Una vez completado el estudio técnico y el análisis de las condiciones de estabilidad y seguridad de la bóveda, se lleva a cabo una intervención específica denominada "Plan de Reforzamiento y Monitoreo Preventivo", el cual consta de un sistema estructural compuesto. Este sistema se compone de cables tensores de acero suspendidos de vigas de acero IPR y placas CFRP14 adheridas. Dicho sistema se apoya en los muros laterales de la nave principal y en ningún punto toca la bóveda directamente (figura 6). Estos elementos se diseñaron para restringir los movimientos verticales de la bóveda y proporcionar resistencia en el intradós frente a posibles tensiones (en caso de desplazamientos externos de los muros laterales de la nave principal del templo). El sistema se explica a detalle en el documento elaborado para la Secretaría de Obras Públicas del Estado de Aguascalientes.

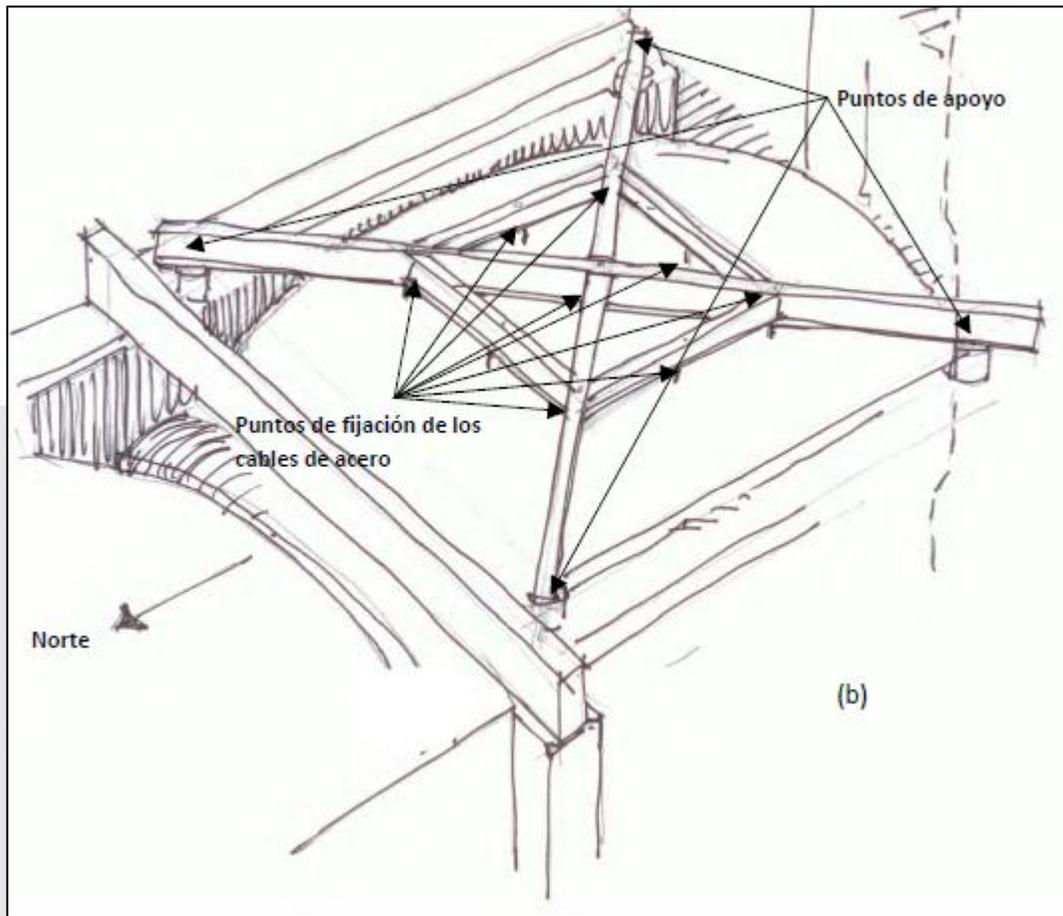


Figura 6 Figura conceptual sistema de cables colgados en vigas de acero (Araiza, 2009).

RECOPIACIÓN DE DATOS SOBRE EL TEMPLO

Es fundamental comprender la morfología y la forma en que se construye un edificio para poder interpretar su comportamiento estructural. Entender el método constructivo utilizado permite tener una comprensión más clara y realizar inferencias sobre cómo la estructura reaccionaría ante diversas condiciones de carga (Navarro Hernández, 2013).

El término "sistema constructivo" se refiere a la combinación específica de materiales organizados con un propósito constructivo particular (Meli, 1998). Al conocer el período y la ubicación geográfica en la que se erigió el inmueble, es posible deducir el tipo de sistema constructivo empleado, lo cual, en la mayoría de los casos, puede ser corroborado mediante una inspección visual.

Cada sistema constructivo implica el uso de materiales distintos y procedimientos específicos en su edificación, lo que influye en su comportamiento estructural respecto a edificaciones similares. Estas diferencias se reflejan visualmente y afectan la interacción entre los elementos de la construcción.

SISTEMA CONSTRUCTIVO CIMENTACIÓN

No se cuenta con información precisa sobre las particularidades de la cimentación debido a la imposibilidad de realizar excavaciones que permitan determinar la profundidad, secciones y materiales utilizados. Se especula que la nave principal pudo haber sido asentada sobre una cimentación construida con mampostería de piedra de la zona.

SISTEMA CONSTRUCTIVO MUROS

El sistema constructivo correspondiente a las pilastras, muros bajos en los costados del crucero y demás piezas ornamentales está compuesto de roca ígnea extrusiva conocida

como ignimbrita o cantera de un tono marrón-rojizo, pegada a hueso y en su mayoría, labrada con detalles, aparentemente. Haciendo un acercamiento a las piezas, se observa en la roca una matriz de vidrio aproximadamente en un 85%, con presencia casi imperceptible de líticos (alrededor del 5%), de forma angular y de pómez con un porcentaje aproximado del 10%, dependiendo la zona de enfoque, de forma subredondeada. Los dos últimos con tamaños de 1 mm o menores y sorteados (figura 7).



Figura 7 Fotografía de cantera utilizada para construcción de algunos elementos Templo San Juan Nepomuceno (marzo 2022)

Los muros interiores están contruidos de mampostería a base de bloques prismáticos de toba, posiblemente ignimbrita, bien litificada, con grano de fino a mediano, color naranja-marrón con juntas rajueledas del mismo material, no porosa (figura 8).



Figura 8 Fotografía de sistema constructivo Muros de Templo San Juan Nepomuceno (marzo 2022)

SISTEMA CONSTRUCTIVO BÓVEDAS

Las bóvedas del templo están conformadas por 2 capas de cuña de barro rojo recocido, y recubierto por morteros de nivelación, además cuenta con un cable tensor de acero que atraviesa la bóveda de forma transversal (figura 9). Las propiedades mecánicas de los materiales estructurales de la bóveda se muestran a continuación (Araiza, 2009):

- Resistencia a compresión de 20 kg/cm² (sistema heterogéneo ladrillo-mortero).
- Peso volumétrico de 1870 kg/m³.
- Módulo de elasticidad de 4000 kg/cm².
- Coeficiente de Poisson de 0.25
- Módulo de cortante de 1600 kg/cm².



Figura 9 (a) En los recuadros interiores, anclajes de los tensores transversales adosado a las bóvedas. (b) Detalle del tensor correspondiente a la bóveda del coro (Araiza 2009).

LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO

El diseño del templo sigue el patrón convencional de tener una planta en forma de cruz latina, pero destaca por su presbiterio circular, un rasgo poco común en la arquitectura religiosa de Aguascalientes en ese período. Además, resulta atípica la ausencia de un atrio y su ubicación en una calle que carecía de la relevancia de otros espacios sociales importantes como plazas, edificios públicos o mercados (López García, 2015).

La sobriedad del ambiente donde se encuentra el templo se manifiesta en su fachada, la cual presenta una iglesia de dimensiones moderadas, especialmente en comparación con otros edificios contemporáneos en la misma localidad. La entrada principal exhibe características neoclásicas muy discretas colocadas en un solo nivel, flanqueadas por dos pilastras que rematan en un entablamento igualmente sencillo.

El acceso principal, marcado por un arco de medio punto, está rodeado por cuatro pilares circulares que sostienen otro entablamento de diseño simple. Llama la atención un pequeño óculo de forma ovalada, una especie de variación de la mandorla (denominada así en italiano), que simboliza el halo de luz que rodea a Jesucristo y a la Virgen. Esta representación se sitúa debajo del anagrama mariano y culmina en un remate con líneas curvas, siendo el único detalle de estilo barroco, coronado con un gorro frigio. La torre, ubicada sobre un tambor de forma semicircular, consta de dos cuerpos de diseño sencillo en planta octogonal, finalizando con una pequeña linterna (figura 11 y 12).

Ya se contaba con un levantamiento del Templo en dos dimensiones, proporcionado por la Mtra. Marisol Navarro Hernández (figura 13 a 16), por lo que sólo se rectificaron las medidas y se comenzó con un modelo elaborado con elementos 3D Faces en AutoCAD (figura 10), para su posterior importación al programa de análisis SAP2000.

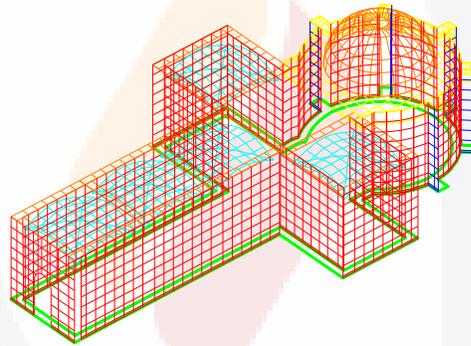


Figura 10 Elaboración de modelo compuesto de elementos 3D Faces en AutoCAD



Figura 11 Fachada principal del Templo de San Juan Nepomuceno



Figura 12 Fotografía fachada principal del Templo de San Juan Nepomuceno (marzo 2022)

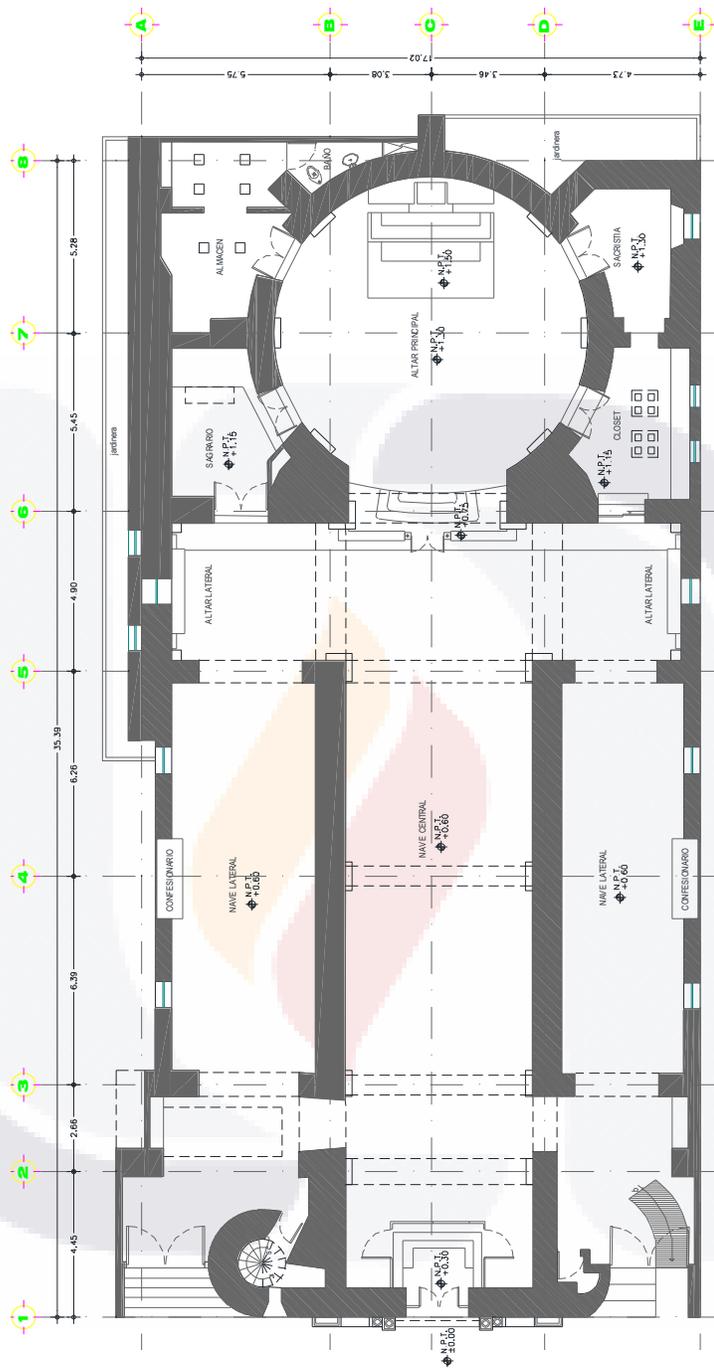


Figura 13 Planta Arquitectónica de acceso (elaborado por la Mtra. Marisol Navarro Hernández, 2019)

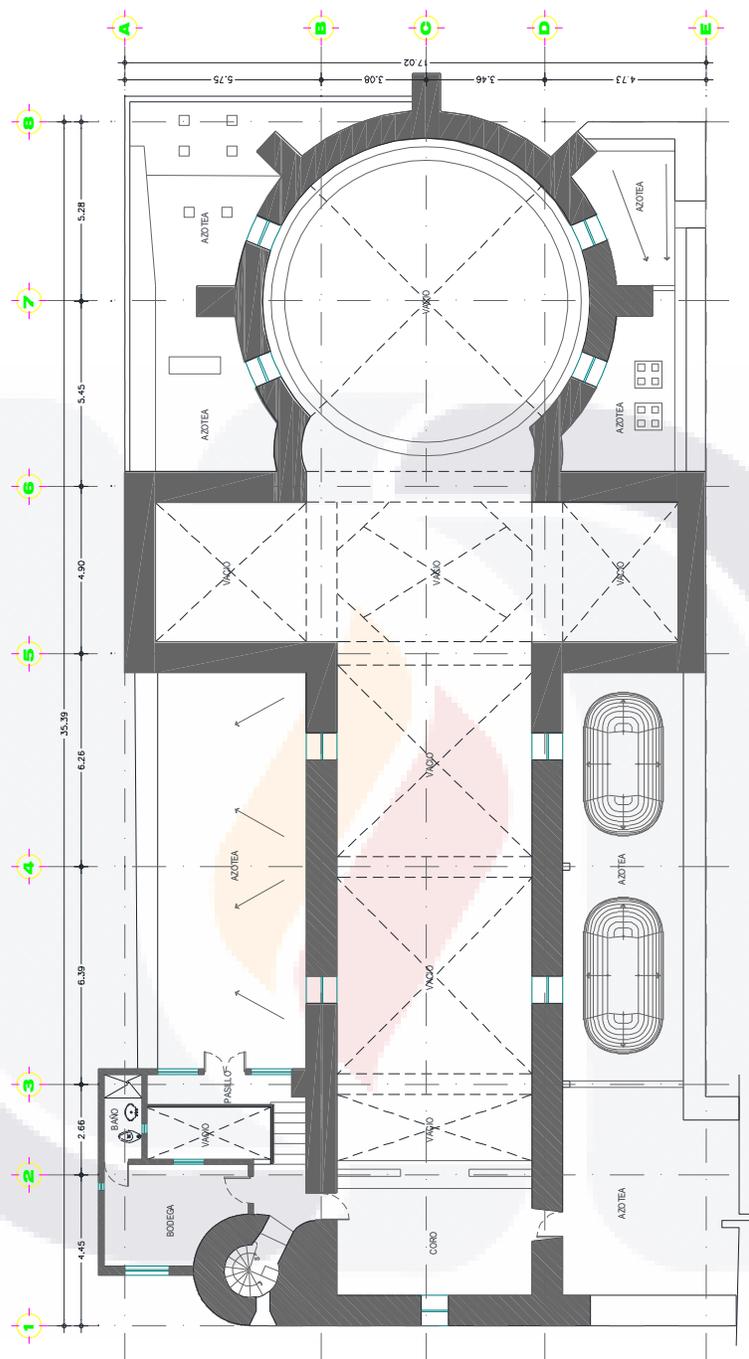


Figura 14 Planta Arquitectónica de Coro (elaborado por la Mtra. Marisol Navarro Hernández, 2019)

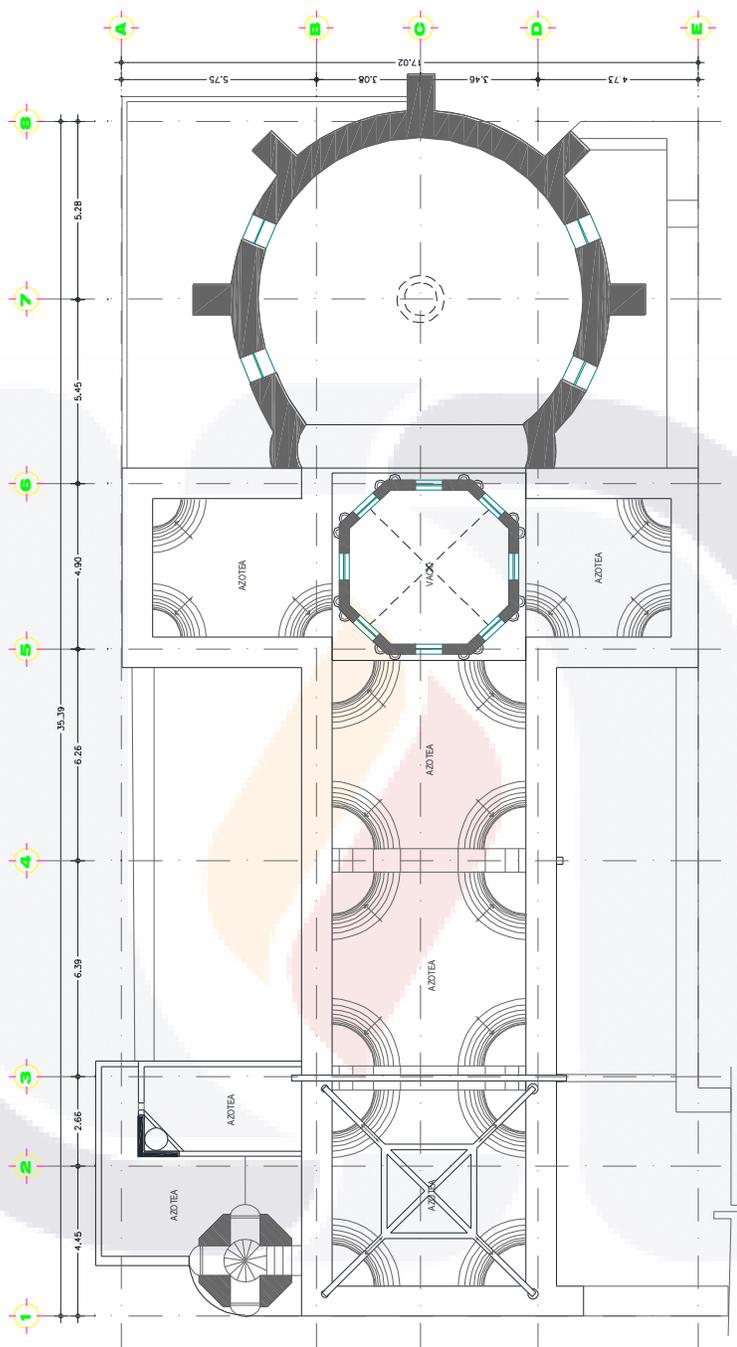


Figura 15 Planta de Azotea (elaborado por la Mtra. Marisol Navarro Hernández, 2019)

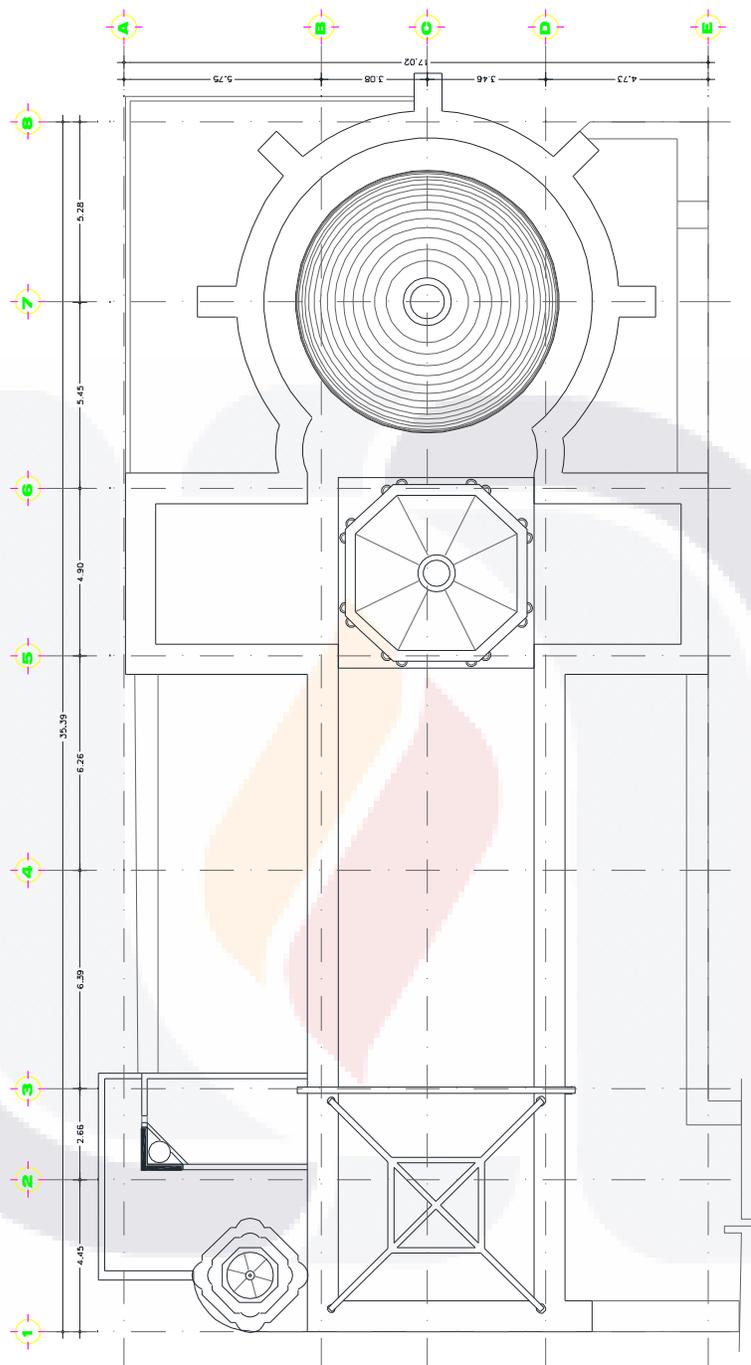


Figura 16 Planta de Conjunto (elaborado por la Mtra. Marisol Navarro Hernández, 2019)

LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS

El levantamiento de patologías constituye un paso esencial para comprender la naturaleza y la extensión de los daños presentes en la estructura. A través de métodos específicos de inspección, registro y evaluación, se identifican y documentan minuciosamente grietas, deformaciones, humedades, corrosión u otros problemas que puedan comprometer la estabilidad, la integridad o la estética del templo.

El registro de los deterioros nos permite identificar las anomalías presentes en la estructura, como inclinaciones, fisuras, filtraciones de agua, degradación de los materiales, entre otros aspectos, independientemente de si son evidentes a simple vista o no, lo cual varía según el método empleado para realizar esta evaluación. En este caso específico, se llevó a cabo una inspección enfocada en documentar exclusivamente los daños que eran visualmente perceptibles y aquellos que se consideraban potencialmente riesgosos para la integridad estructural del edificio. Para llevar a cabo este levantamiento, se utilizaron fichas diseñadas para registrar las patologías presentes en distintas áreas, tales como interiores, exteriores, bóvedas, cúpula y planta del coro.

En general, los daños más recurrentes, dentro y fuera del inmueble son humedades, grietas, fisuras y daños provocados por intemperismo de los materiales. Las más destacadas se muestran a continuación (figura 17 a 20), el resto de las fichas se encontrarán en la sección de Anexos.

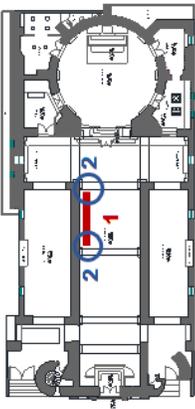
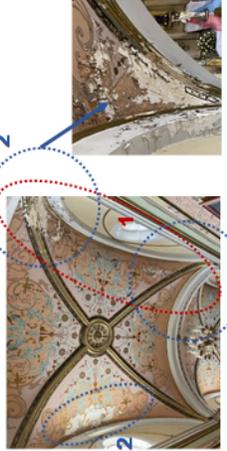
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIORS Y AL TERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	MAYO 2022
			X	No. DE FICHA	1
LOCALIZACION EN PLANTA			TIPO DE DETERIORO		
			BIOTICO		
			ABIOTICO		
			ANTROPICO		
FOTOGRAFIA			DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIORS Y/O ALTERACIONES		
			<p>1. Grieta en bóveda originada por posible desplome en muros.</p> <p>2. Presencia de humedad aparentemente por filtraciones generadas por acumulación de agua de lluvia por falta de mantenimiento en azotea. No presenta eflorescencia.</p>		
			<p>OBSERVACIONES</p> <p>La grieta se desarrolla a lo largo de toda la bóveda, con un espesor que va de los 5mm hasta los 8mm.</p>		

Figura 17 Ficha 1 de Levantamiento de daños del Templo de San Juan Nepomuceno

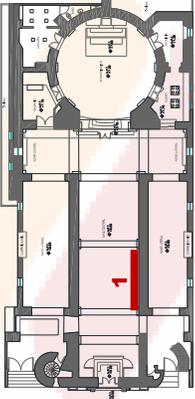
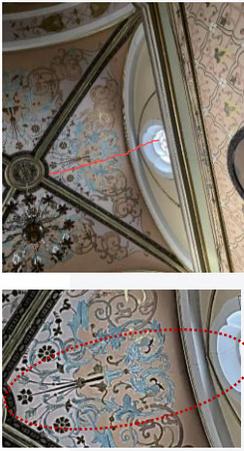
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	MAYO 2022
			X	Nº. DE FICHA	10
LOCALIZACION EN PLANTA			TIPO DE DETERIORO		
			BIOTICO	SI	NO
			ABIOTICO		
			ANTROPICO		
FOTOGRAFIA			DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES		
			1. Grieta en bóveda.		
			OBSERVACIONES		
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO					

Figura 19 Ficha 10 de Levantamiento de daños del Templo de San Juan Nepomuceno

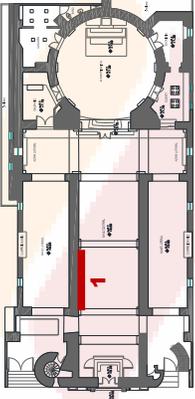
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	MAYO 2022
			X	No. DE FICHA	11
LOCALIZACION EN PLANTA			TIPO DE DETERIORO		
			BIOTICO		
			ABIOTICO		
			ANTROPICO		
			DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES 1. Grieta en pechina de cúpula de crucero.		
			OBSERVACIONES		
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO					

Figura 20 Ficha 11 de Levantamiento de daños del Templo de San Juan Nepomuceno

MEDICIONES DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

Las pruebas de vibración ambiental tienen como objetivo principal definir las características dinámicas específicas del templo, que engloban las frecuencias de vibración, los modos de vibración y los niveles de disipación de energía, aunque, para el alcance de esta investigación, se enfocó únicamente en los dos primeros aspectos.

Además, estas pruebas tienen la capacidad de evaluar la interrelación entre los distintos componentes estructurales presentes en el templo. Sin embargo, esta evaluación debe complementarse con un análisis visual detallado de la estructura.

El método para recopilar los datos de las vibraciones ambientales implica la captura de lecturas tanto de vibración ambiental como de vibración inducida. Estas lecturas se procesan con el fin de identificar las frecuencias predominantes, aplicando el análisis de la transformada rápida de Fourier a las series de tiempo. Esto permite obtener representaciones gráficas en el dominio de la frecuencia, lo cual ayuda a caracterizar el comportamiento dinámico general de la estructura.

Para realizar la adquisición de datos, se utilizan acelerómetros junto con un sismógrafo modelo GEODE de Geometrics como controlador. Se capturan dos mediciones por punto, esto se logra al medir las tres componentes de vibración: Norte-Sur, Este-Oeste (componentes transversal y longitudinal) y la componente vertical, con tiempos de registro de aproximadamente 10 minutos. Se deben considerar factores que puedan influir en las mediciones, como fuentes de vibración externas al sistema (por ejemplo, el tráfico vehicular cercano), lo cual puede requerir un tiempo de medición prolongado para obtener un mayor número de intervalos de señal confiable.

Los registros obtenidos se almacenan en una computadora para posteriormente ser procesados por el programa Pickwin (figura 21 y 22) y así obtener las tres componentes y, por medio del programa Geopsy, obtener las frecuencias del terreno y del edificio (figura 23).

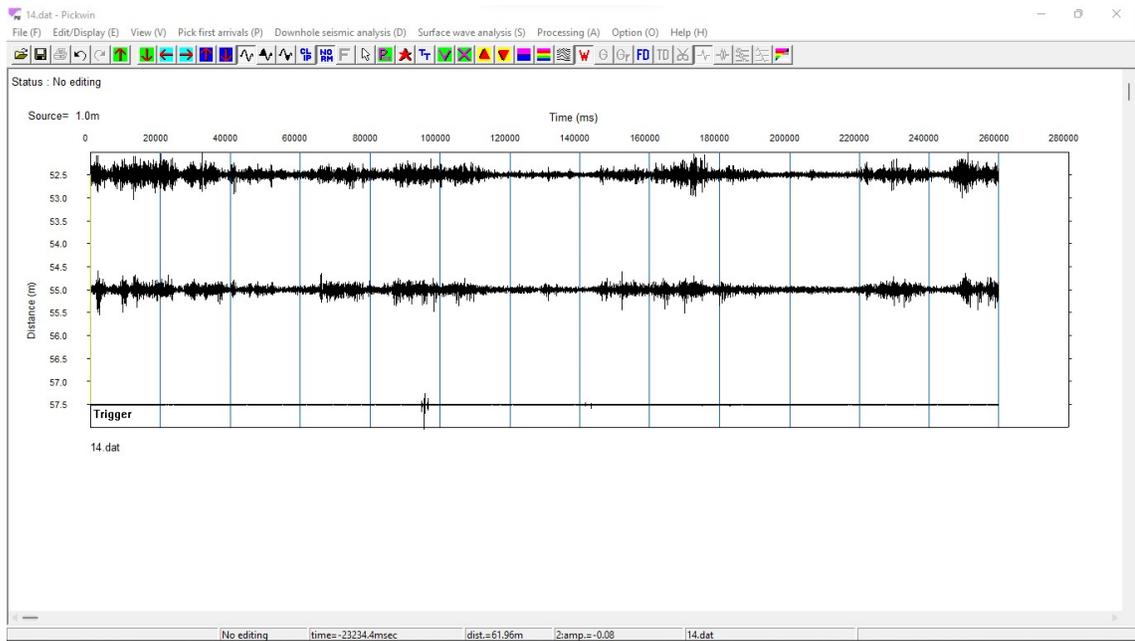


Figura 21 Lectura obtenida en P-01, sentido Vertical-Transversal

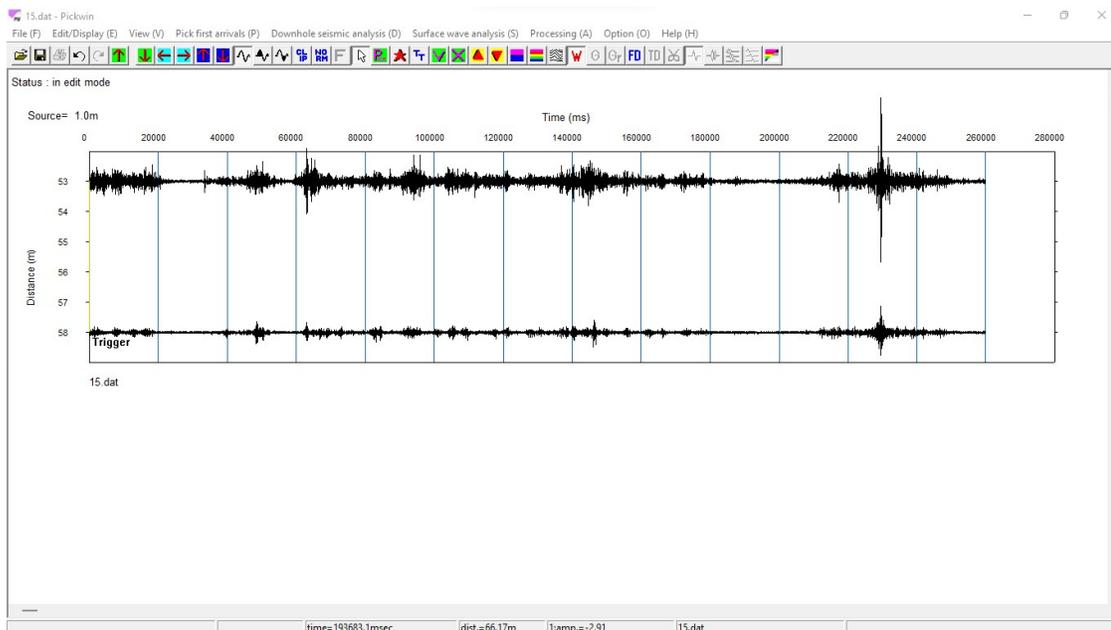


Figura 22 Lectura obtenida en P-01, sentido Vertical-Longitudinal

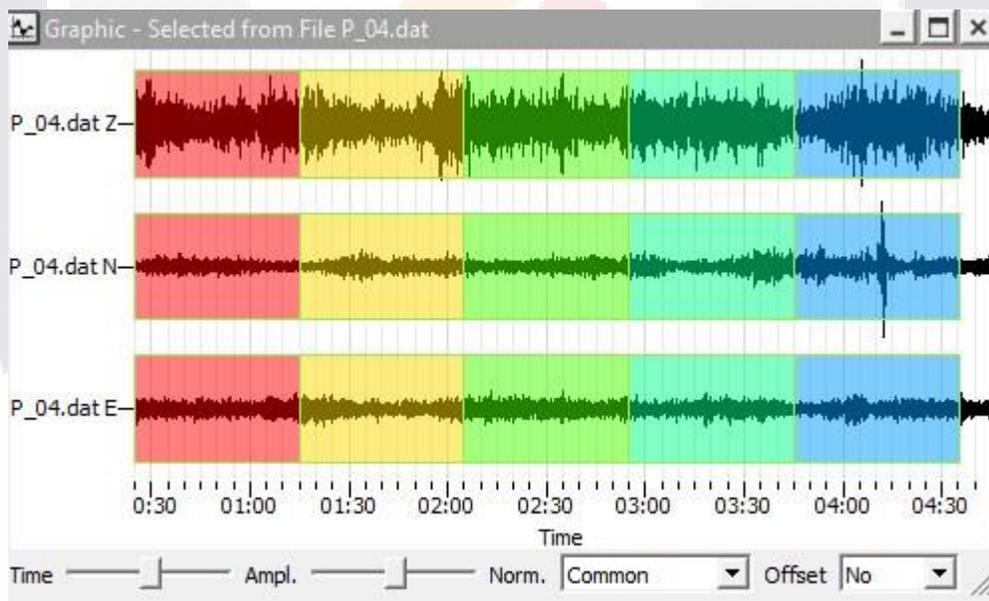


Figura 23 Registros de vibraciones de las 3 componentes del P-04. Los colores representan los tiempos de procesamiento para la obtención de la frecuencia del punto.

La caracterización del terreno se lleva a cabo mediante la técnica de Nakamura, también conocida como análisis espectral H/V (Nakamura, 1989). Esta técnica implica la toma de registros de vibración ambiental para determinar el periodo fundamental de vibración del terreno. El resultado arrojado indica que el terreno (P01) vibra con una frecuencia de 5.10241 Hz (figura 27).

La distribución de los acelerómetros para las lecturas se realizó de la siguiente manera (figura 24, 25 y 26):

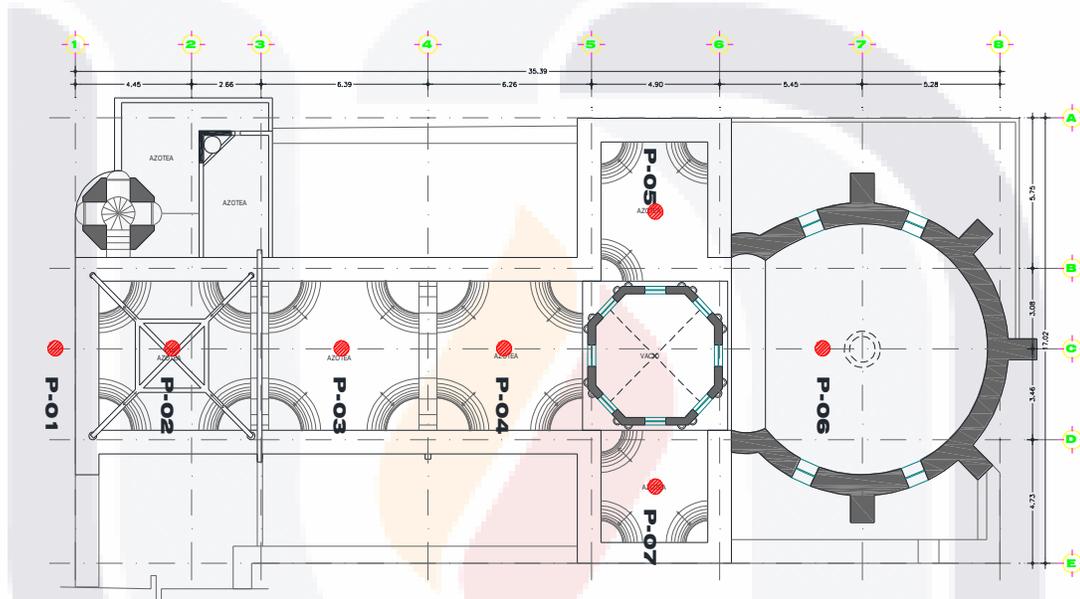


Figura 24 Distribución de los puntos sobre el Templo de San Juan Nepomuceno.

P01 – Registros de vibración en el terreno (Exterior del Templo de San Juan Nepomuceno).

P02 – Registro de vibración en primera bóveda de nave central (bóveda de coro/de acceso).

P03 – Registro de vibración en segunda bóveda de nave central (bóveda intermedia).

P04 – Registro de vibración en tercera bóveda de nave central.

P05 – Registro de vibración en bóveda izquierda de crucero.

P06 – Registro de vibración en cúpula de altar principal.

P07 – Registro de vibración en bóveda derecha de crucero.



Figura 25 Fotografía de registro de vibraciones en P-01, P-02 Y P-04, respectivamente



Figura 26 Preparación de instrumentos para toma de lecturas en P-06.

Se calculó la función de transferencia, “X/Z” y “Y/Z” y de los datos obtenidos se grafican para obtener la frecuencia dominante.

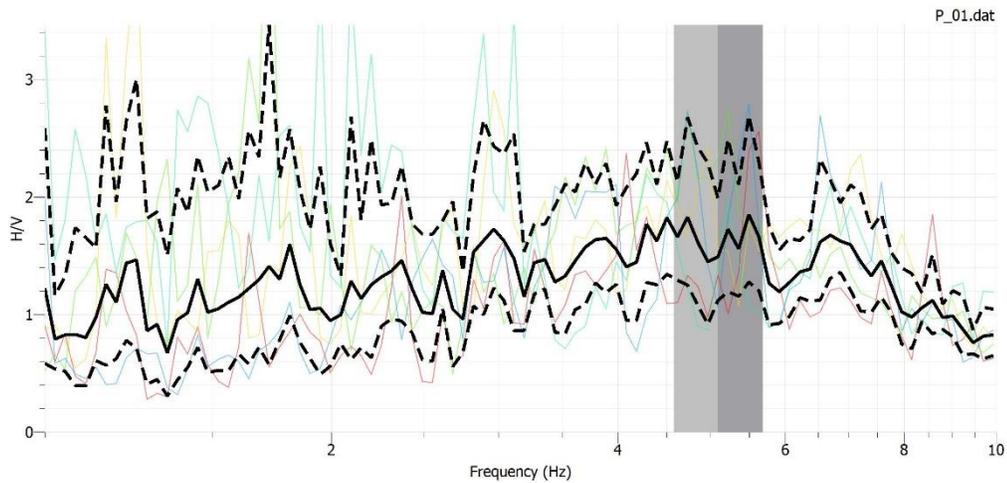


Figura 27 Espectro de Frecuencia en P-01

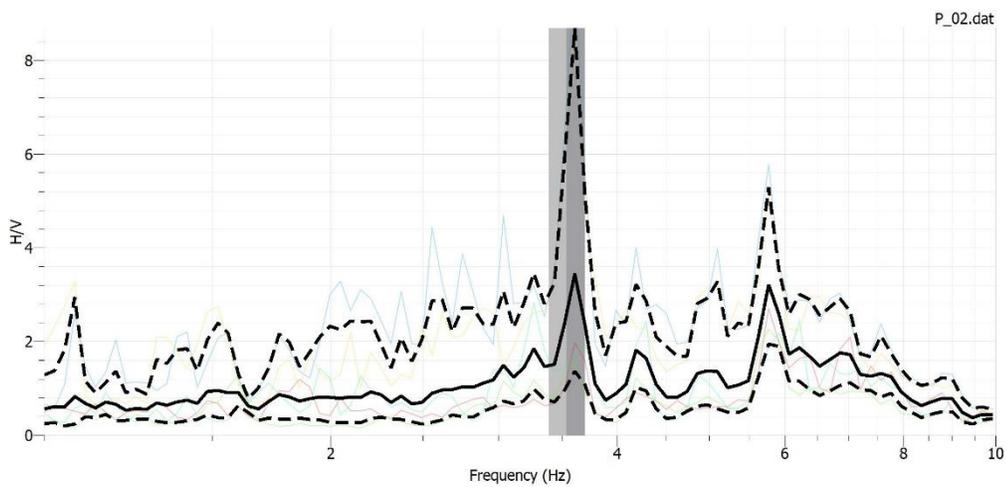


Figura 28 Espectro de Frecuencia en P-02

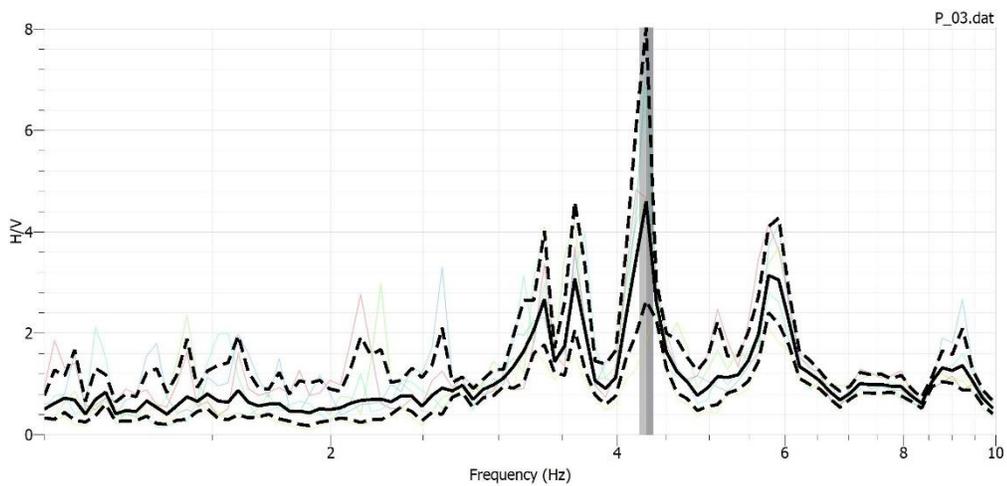


Figura 29 Espectro de Frecuencia en P-03

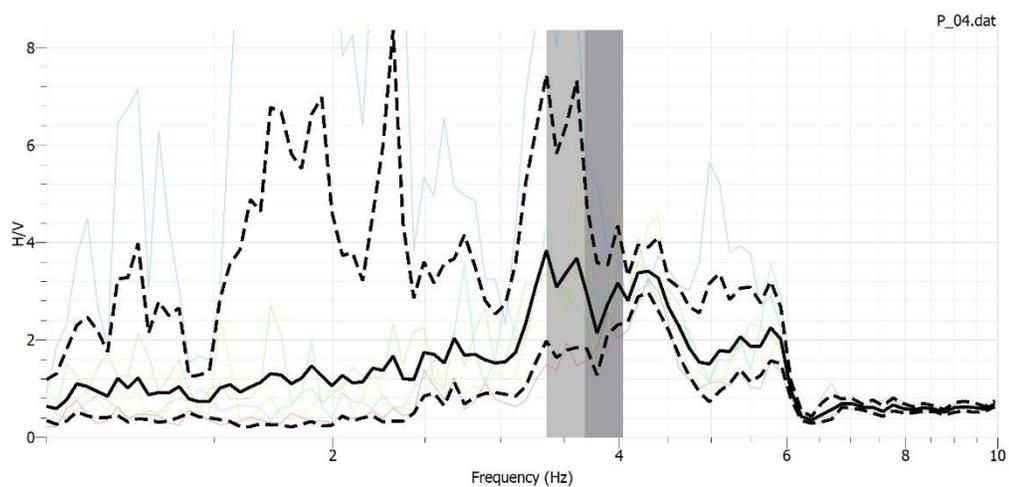


Figura 30 Espectro de Frecuencia en P-04

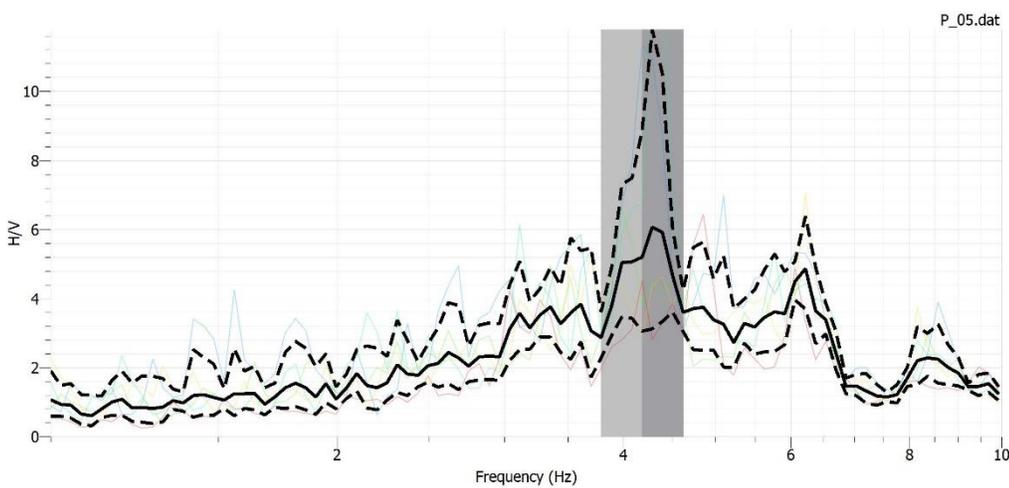


Figura 31 Espectro de Frecuencia en P-05

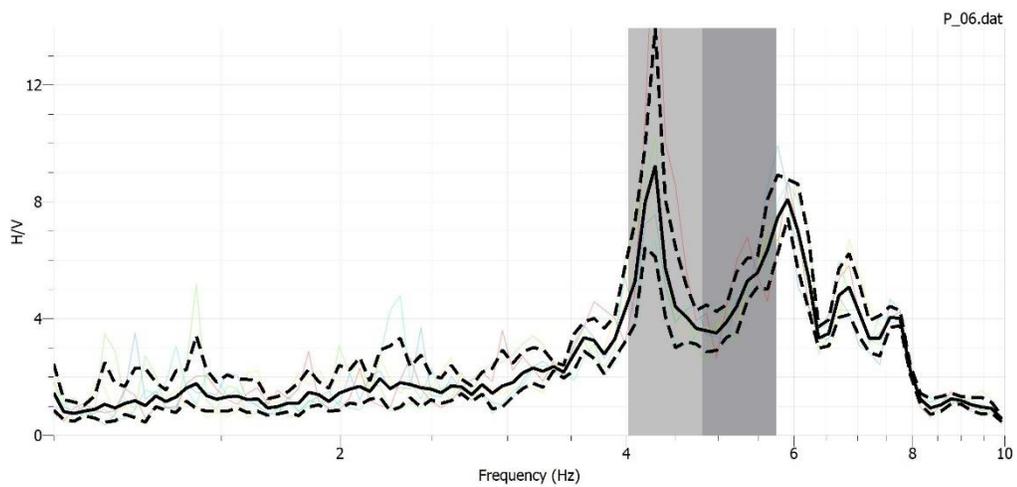


Figura 32 Espectro de Frecuencia en P-06

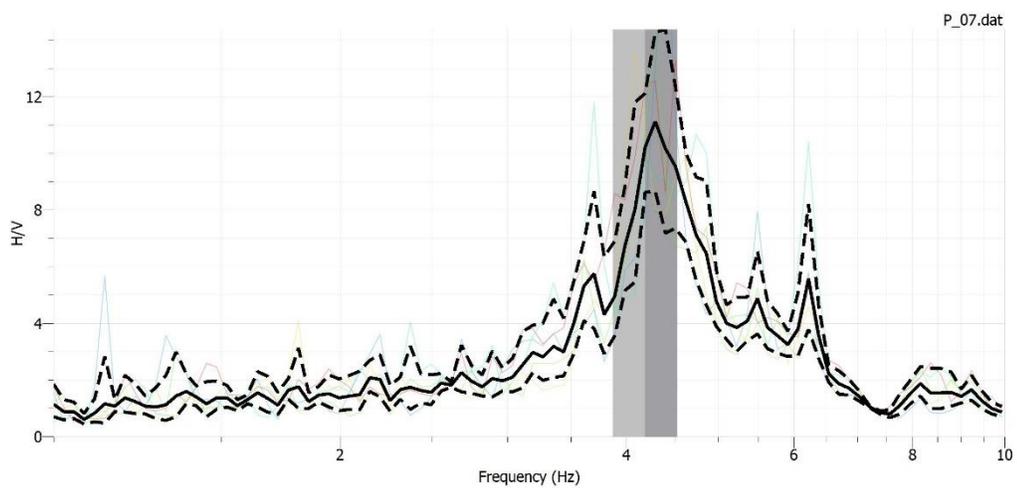


Figura 33 Espectro de Frecuencia en P-07

A continuación, se muestra una tabla con los resultados de cada uno de los puntos donde se obtuvieron los espectros de frecuencia (tabla 4).

Tabla 4 Frecuencias obtenidas por H/V

Station	Frecuency (Hz)	f/stddev (Hz)	f*stddev (Hz)	T
P-01	5.10241	4.58174	5.68224	0.19598582
P-02	3.54048	3.38749	3.70037	0.28244758
P-03	4.29248	4.21818	4.36808	0.23296556
P-04	3.68316	3.3559	4.04232	0.27150599
P-05	4.18778	3.78812	4.62961	0.23879
P-06	4.80881	4.01897	5.75389	0.20795166
P-07	4.18778	3.87322	4.52789	0.23879

Con el procesamiento de los espectros obtenidos en la campaña experimental se encuentra que la frecuencia a la que vibra el terreno, P-01, es distinta a la del resto del edificio, siendo la más cercana la correspondiente a la cúpula del atrio P-06.

MODELADO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para el análisis estructural nos centramos en el punto crítico del inmueble, es decir en donde se concentraba el mayor número de patologías de carácter importante, es decir en las bóvedas de la nave central. Se toma el principio del comportamiento de los macroelementos (figura 34)(Meza, 2013).

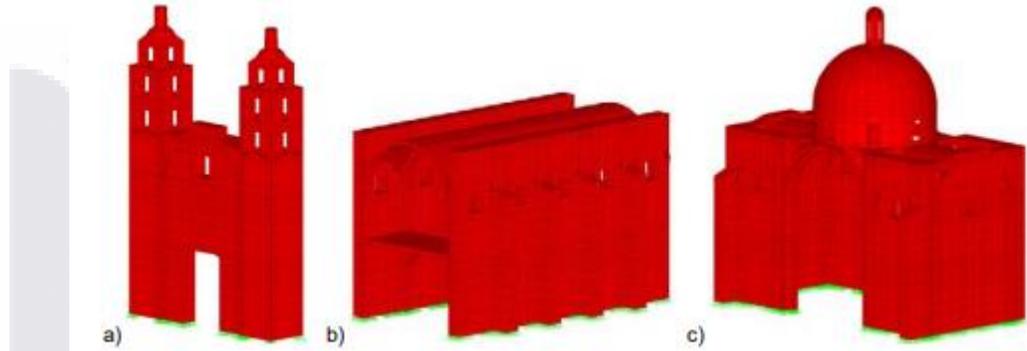


Ilustración 34 Ejemplo de seccionamiento en Macroelementos de iglesias de Puebla: a) Fachada, b) Nave y c) Transepto. (Meza, 2013)

Partiendo del hecho de que una de las bóvedas tuvo una intervención delicada debido a la importante pérdida de su geometría y la presencia de grietas pronunciadas en las otras dos bóvedas de la nave central (figura 35), el primer modelo se centra en dicho comportamiento, aislando el macroelemento del resto del inmueble.



Figura 35 Grieta existente en bóveda intermedia de nave principal.

El proceso de la realización del modelo numérico se hizo mediante el método de elementos finitos (MEF). Esta técnica implica la división de una estructura en múltiples partes interconectadas, cada una representada por un número determinado de elementos conectados mediante nodos (proceso conocido como discretización). El objetivo principal del MEF es obtener una aproximación más cercana al comportamiento real de la estructura. Este método suele ser complejo y desafiante de realizar manualmente, pero existen programas de cálculo, como el

Sap2000 v.23, que permiten su implementación con resultados aceptables, siendo esta la herramienta utilizada para este estudio (figura 36).

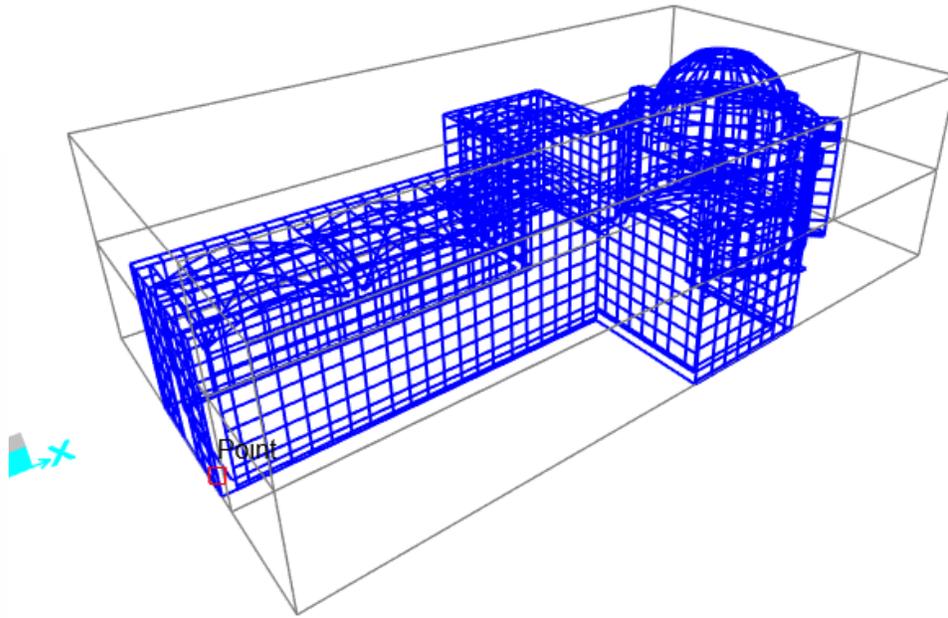


Figura 36 Modelo 3D en SAP2000 de nave principal y crucero del Templo de San Juan Nepomuceno, elementos tipo frame.

El análisis se llevó a cabo al importar de AutoCAD los elementos tipo 3D Faces, obtenidos del modelo en 3D del levantamiento geométrico, que al pasar a SAP2000, adquieren propiedades de elementos tipo Shell. Dichos elementos se diseñaron de 3 y 4 nodos para asegurar su compatibilidad con el programa ya que representan de mejor forma elementos curvos. Separando cada sistema en grupos, se le dan sus respectivos espesores y sus características dinámicas. El análisis se supuso como un material homogéneo e isotrópico en todos los elementos. Además, se consideró un análisis elástico lineal, lo que implica que la deformación resultante al

aplicar una carga constante es proporcional a dicha carga, y que, una vez retirada la carga, la estructura recupera su forma inicial.

Gracias al trabajo de Araiza (2009), se tienen las propiedades mecánicas de los elementos, enlistando primero los de la bóveda y después los que se contemplan para los muros.

Propiedades mecánicas de la Bóveda

- Peso volumétrico de 1870 kg/m^3 .
- Módulo de elasticidad de 4000 kg/cm^2 .
- Coeficiente de Poisson de 0.25

Propiedades mecánicas del Muro

- Peso volumétrico de 1800 kg/m^3 .
- Módulo de elasticidad de 4420 kg/cm^2 .
- Coeficiente de Poisson de 0.30

Se alimenta el modelo con estas propiedades mecánicas preliminares, obteniendo los siguientes resultados (figura 37).

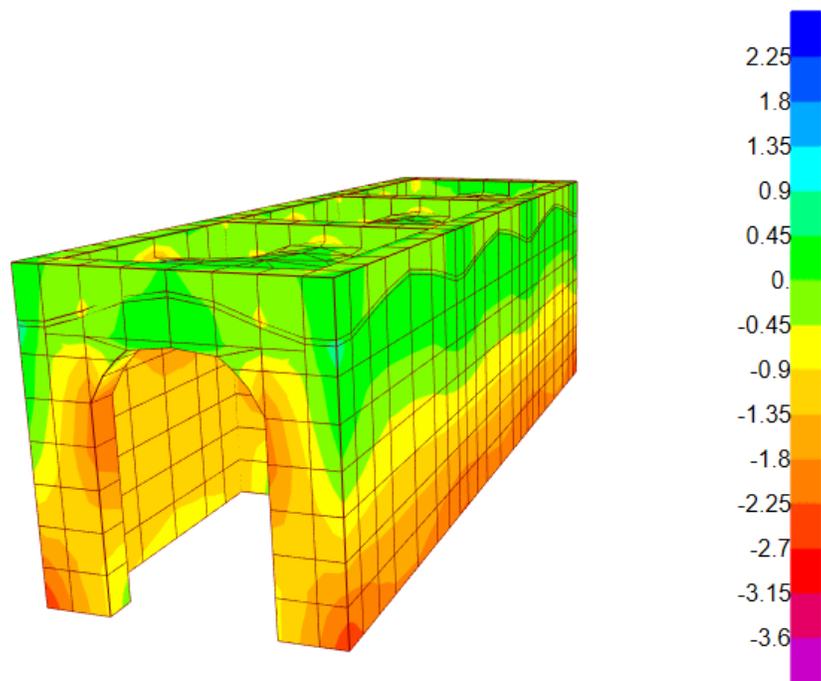


Figura 37 Esfuerzos normales de nave central, en kg/cm².

Para el análisis modal del modelo anterior se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 5), los cuales se utilizan para la calibración del modelo.

Tabla 5 Formas modales del Templo de San Juan Nepomuceno.

StepNum	Frecuency	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless		Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0.630680	1.585591	6.234E-09	0.82	2.268E-08	0.11	3.494E-09	0.000001974
2	1.138983	0.877976	4.217E-08	0.000001007	1.574E-10	1.738E-08	4.315E-09	0.82
3	1.875596	0.533164	0.68	5.919E-08	0.000001678	1.383E-07	0.17	1.447E-07
4	1.944655	0.51423	0.00002654	0.000001849	0.15	1.054E-07	0.00001555	2.578E-09
5	2.111696	0.473553	0.12	6.127E-08	0.000001026	3.543E-07	0.03238	4.103E-07
6	2.174509	0.459874	3.842E-08	0.0004162	0.000002032	0.0001885	0.000002954	0.000002137
7	2.329422	0.429291	0.000007957	4.915E-10	0.003113	4.798E-09	0.00000926	1.12E-08
8	2.651486	0.377147	4.756E-07	0.000007558	0.000002033	0.00001675	0.000002451	0.01157
9	2.691008	0.371608	7.912E-07	0.02719	0.000007929	0.05669	0.000001495	0.000003328
10	2.838917	0.352247	0.0002106	0.02668	0.03598	0.06767	0.0009667	3.114E-09
11	2.839812	0.352136	0.000269	0.01454	0.06476	0.03673	0.001359	5.821E-07
12	2.89756	0.345118	0.01961	0.000001925	0.001854	0.000001301	0.16	7.487E-07

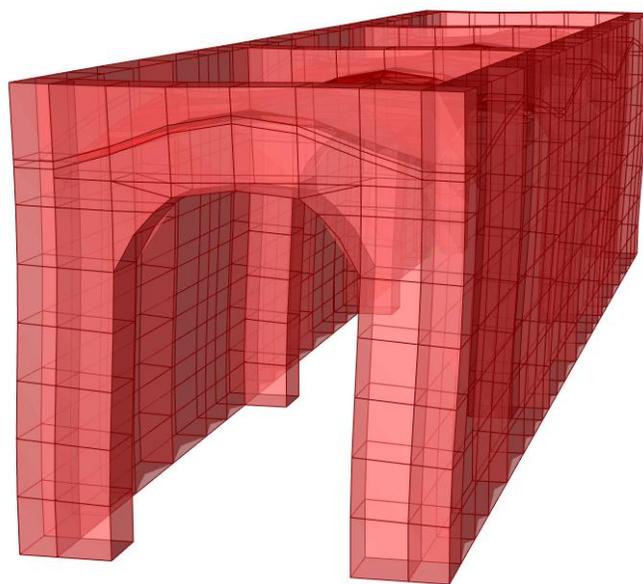


Figura 38 Mode 1: Frecuency 0.6307 Period 1.5856 UX 0% UY 82% UZ 0%

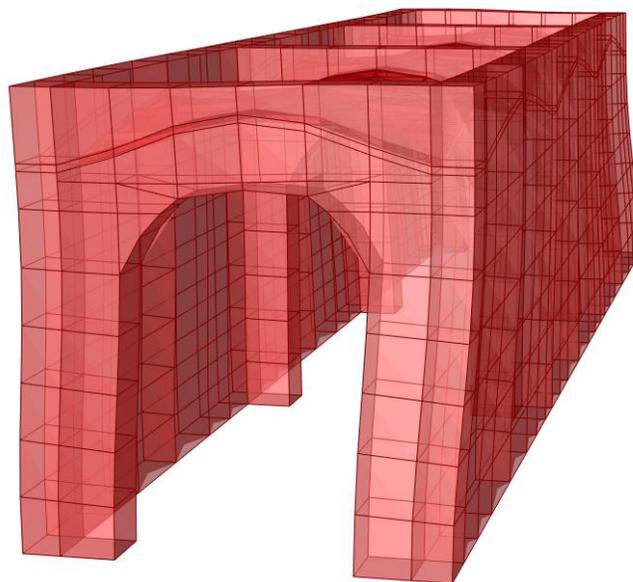


Figura 39 Mode 2: Frecuency 1.139 Period 0.878 UX 0% UY 0.0001% UZ 0%

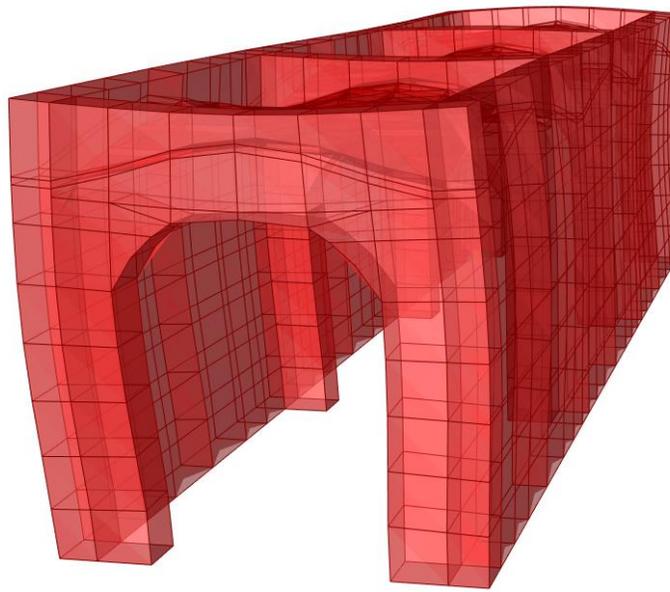


Figura 40 Mode 3: Frecuency 1.8756 Period 0.5332 UX 68% UY 0% UZ 0.0002%

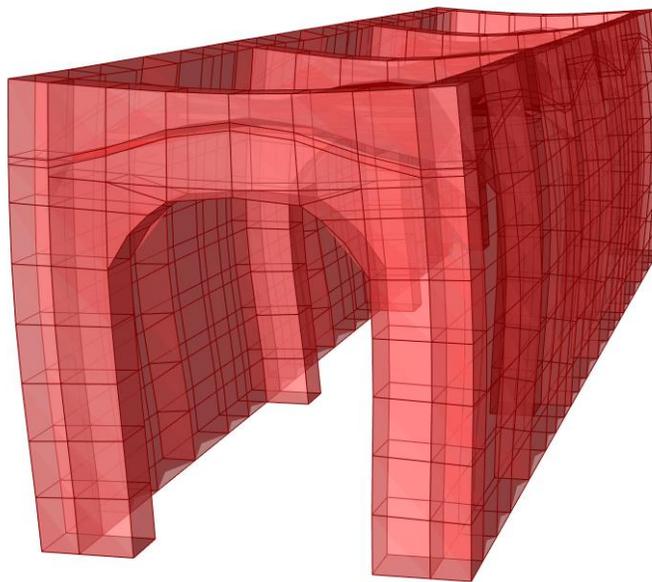


Figura 41 Mode 4: Frecuency 1.9447 Period 0.5142 UX 0.0027% UY 0.0002% UZ 15%

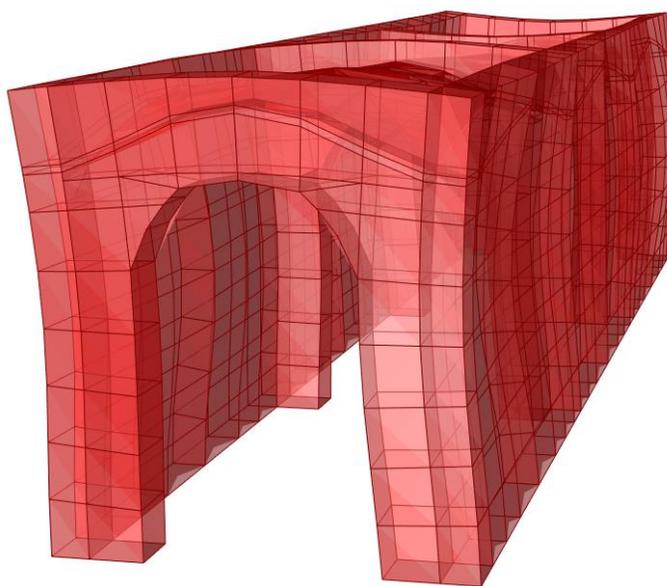


Figura 42 Mode 5: Frecuency 2.1117 Period 0.4736 UX 12% UY 0% UZ 0.0001%

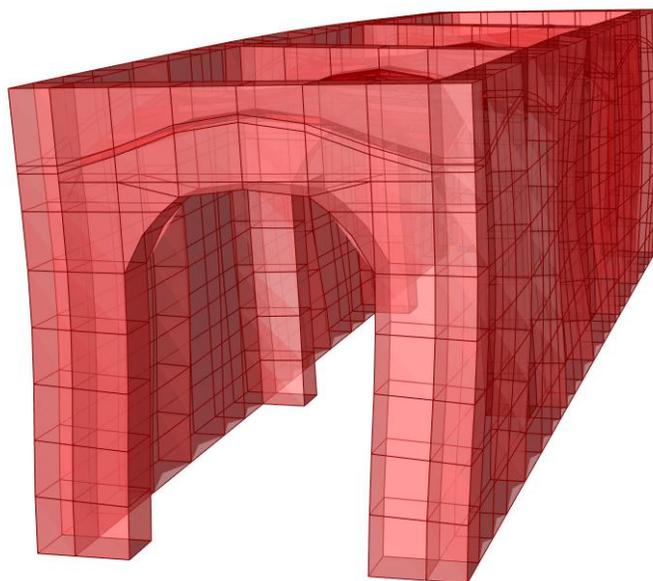


Figura 43 Mode 6: Frecuency 2.1745 Period 0.4599 UX 0% UY 0.0416% UZ 0.0002%

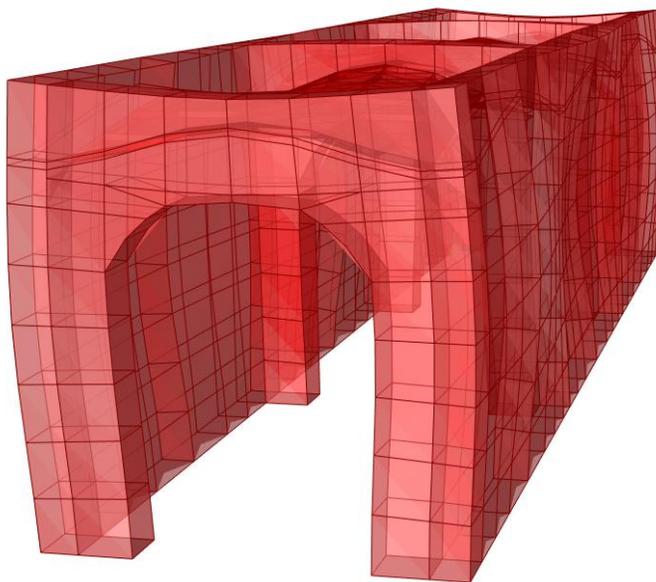


Figura 44 Mode 7: Frecuency 2.3294 Period 0.4293 UX 0.0008% UY 0% UZ 0.3113%

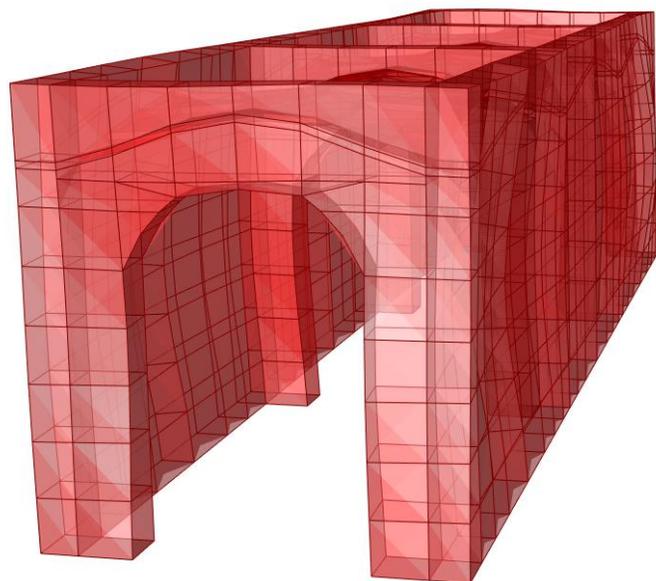


Figura 45 Mode 8: Frecuency 2.6515 Period 0.3771 UX 0% UY 0.0008% UZ 0.0002%

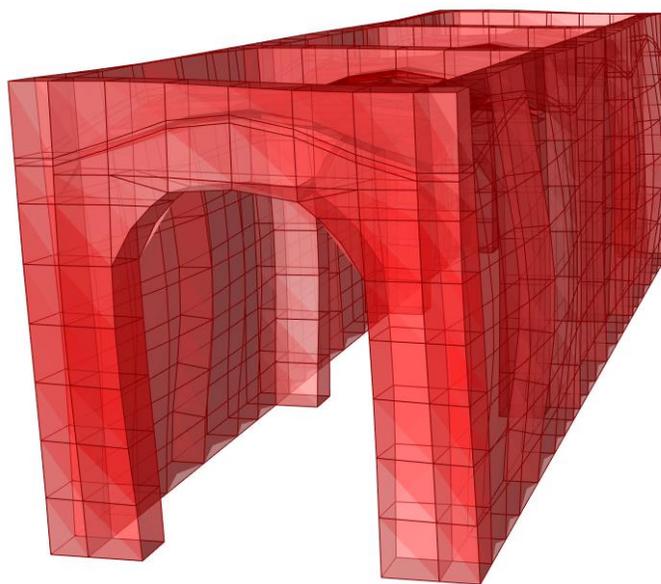


Figura 46 Mode 9: Frecuency 2.691 Period 0.3716 UX 0.0001% UY 2.719% UZ 0.0008%

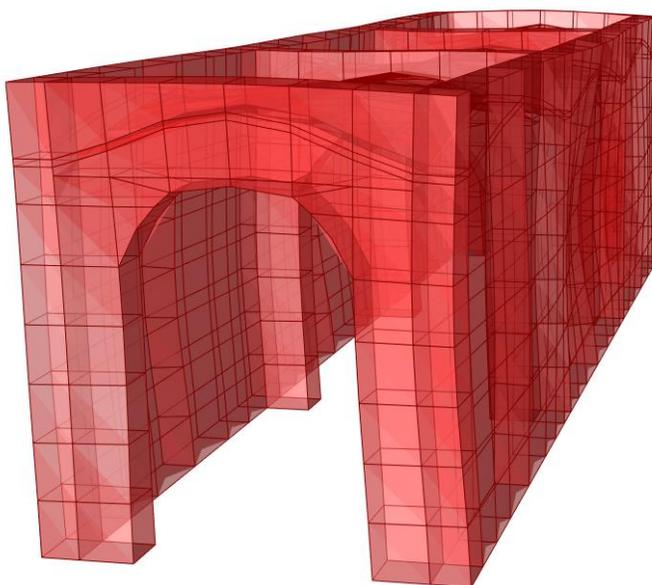


Figura 47 Mode 10: Frecuency 2.8389 Period 0.3522 UX 0.0211% UY 2.668% UZ 3.598%

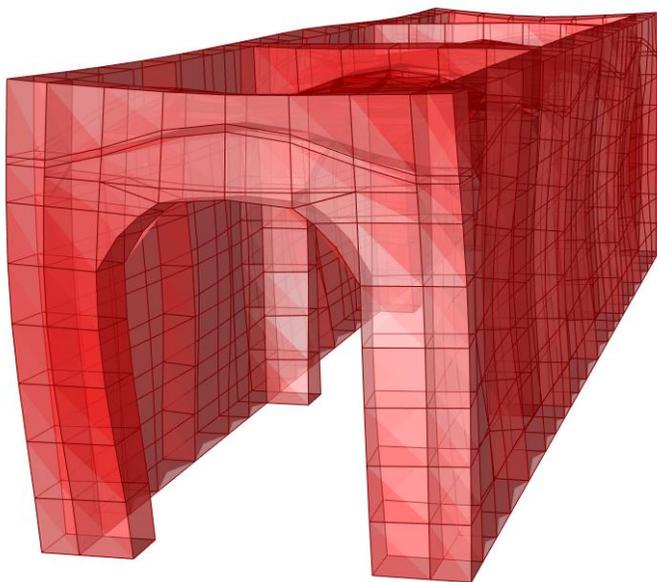


Figura 48 Mode 11: Frecuency 2.8398 Period 0.3521 UX 0.0269% UY 1.454% UZ 6.476%

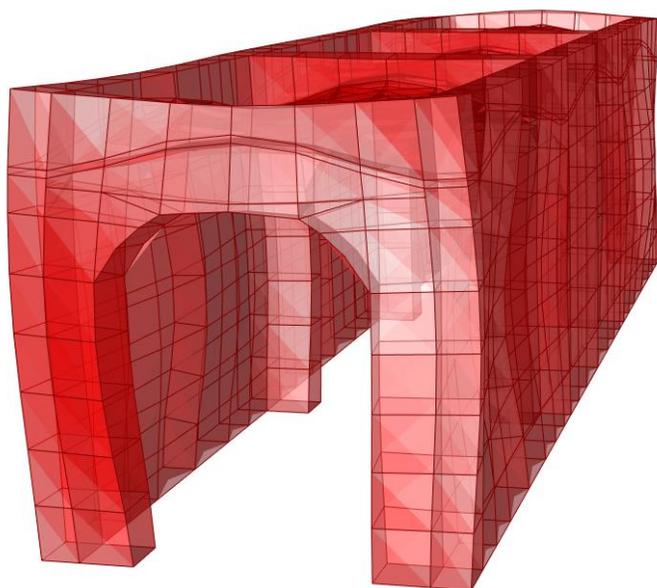


Figura 49 Mode 12: Frecuency 2.8976 Period 0.3451 UX 1.961% UY 0.0002% UZ 0.1854%

Con ayuda de la tabla 5 y las Figuras 38 a 49, se identificaron las principales formas de vibrar en sentido longitudinal y transversal (modo 1 y modo 3) de las cuales se aíslan las frecuencias para realizar la calibración del modelo numérico.

Las frecuencias obtenidas en las campañas experimentales para la nave central, corresponden a los puntos P02, P03 y P04 de la distribución de acelerómetros mostrado en la figura 25. Con estos registros se obtienen los espectros de respuesta en cada dirección para la calibración del modelo (Tabla 6). Las gráficas de las señales obtenidas se muestran en las figuras 50 y 51.

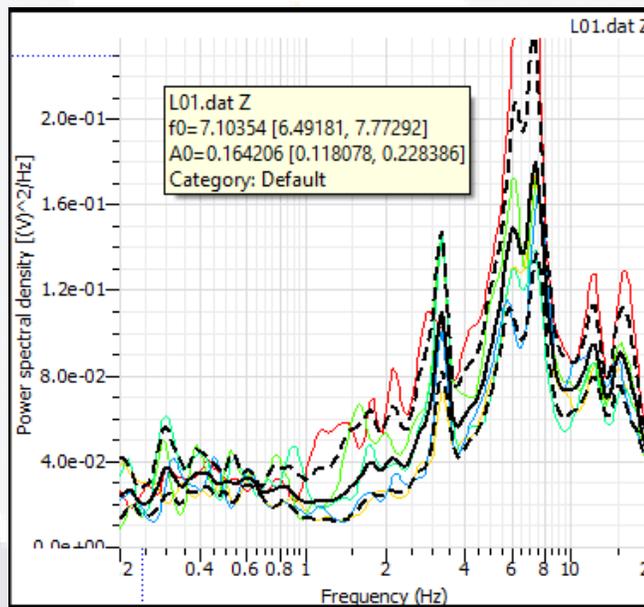


Figura 50 Espectro de frecuencias correspondiente a la bóveda 1 de la nave central, en sentido Longitudinal.

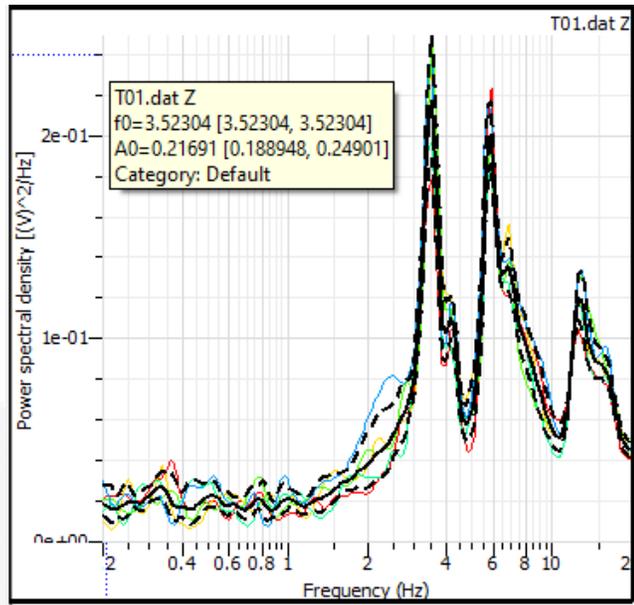


Figura 51 Espectro de frecuencias correspondiente a la bóveda 1 de la nave central, en sentido Transversal.

Tabla 6 Espectros de frecuencia de las campañas experimentales en las bóvedas 1, 2 y 3 de la nave central.

Sentido	Modo	Frecuencia Experimental (Hz)
Transversal	1	3.523040
Transversal	1	4.532110
Transversal	1	4.271330
Promedio f Tranversal		4.108827
Longitudinal	3	7.103540
Longitudinal	3	7.068550
Longitudinal	3	7.126510
Promedio f Longitudinal		7.099533

Las frecuencias dominantes en los sentidos longitudinal y transversal se comparan contra las frecuencias obtenidas del modelo preliminar sin calibrar (tabla 7), en los

modos 1 y 3, los cuales describen mejor el comportamiento de la nave central en cada sentido.

Tabla 7 Comparativa de frecuencias modales sin calibrar

Sentido	Modo	Frecuencia Experimental (Hz)	Frecuencia del modelo numérico (Hz)
Transversal	1	4.108827	0.630680
Longitudinal	3	7.099533	1.8755955

Una vez detectadas las diferencias en los modos de vibrar, se llevó a cabo un procedimiento de ajuste del modelo numérico. Este proceso implica la aproximación de ambos espectros mediante la iteración de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción del templo, *ya que sus propiedades influyen directamente en la rigidez de la estructura y, por ende, en su periodo de vibración.*

Para realizar esta calibración, se tomó en cuenta el peso volumétrico y el módulo de elasticidad de la mampostería de piedra ya que las propiedades mecánicas de la mampostería de tabique fueron obtenidas por Araiza (2009) mediante la implementación de técnicas de carácter invasivo.

Tabla 8 Variación de frecuencias modales calibradas.

Sentido	Modo	Frecuencia Experimental (Hz)	Frecuencia del modelo numérico (Hz)	Variación
Transversal	1	4.108827	4.24721	3.26%
Longitudinal	3	7.099533	6.97128	1.84%

En la tabla 8 se muestran las variaciones de las frecuencias del modelo numérico calibrado, las cuales se obtuvieron como resultado de procesar el análisis modal con las siguientes características dinámicas de los materiales.

Propiedades mecánicas de la Bóveda calibrada

- Peso volumétrico de 1870 kg/m³.
- Módulo de elasticidad de 4000 kg/cm².
- Coeficiente de Poisson de 0.25

Propiedades mecánicas del Muro calibrado

- Peso volumétrico de 2000 kg/m³.
- Módulo de elasticidad de 18000 kg/cm².
- Coeficiente de Poisson de 0.30

En el análisis del modelo se contemplan acciones gravitacionales estáticas para el cálculo (cargas de servicio) como son peso propio, peso de rellenos, desplazamientos laterales de los apoyos y combinaciones de las acciones consideradas.

Para el peso propio se considera la bóveda de ladrillo, que se determina con base en su densidad, por lo que el peso propio se considera de 1870 kg/m³, en una distribución de 243.1 kg/m² al considerar su espesor de 13cm; las cargas muertas corresponden a las capas de mortero de nivelación, enladrillado superior y rellenos para llegar a una superficie horizontal para la bóveda, lo que resulta en un peso volumétrico de 1500 kg/m³ y un espesor promedio de 30 cm de relleno, obteniendo una carga uniformemente distribuida (gravitatoria) de 450 kg/m²; las cargas vivas al ser escasas, se configuran con un valor relativamente bajo (30 kg/m²) (Araiza, 2009).

El modelo calibrado refleja un comportamiento similar al obtenido preliminarmente; se presentan únicamente esfuerzos a compresión, obteniendo las mayores solicitaciones en las bases de los arcos, con esfuerzos de 3.016 kg/cm^2 (figura 52) por lo que se puede decir que la mampostería se encuentra en buen estado y trabaja correctamente ya que el valor del estado límite de falla para compresión para la mampostería es de 20.000 kg/cm^2 .

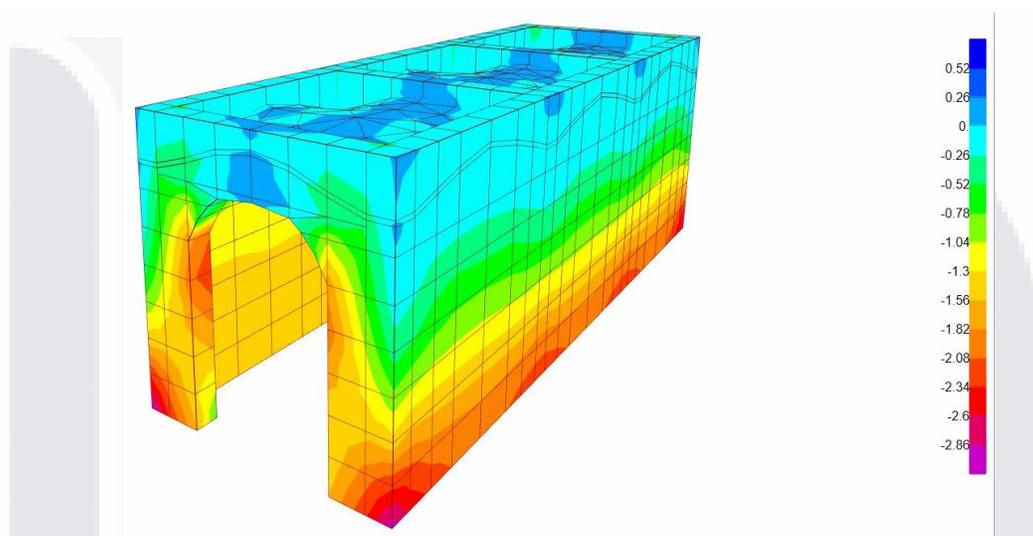


Figura 52 Esfuerzos normales de nave central, en kg/cm^2 (calibrado).

El análisis del modelo obtenido con la combinación de cargas mencionada en las bóvedas resulta con una deformación máxima al centro de la bóveda, tal como la que se presentó en años anteriores en la bóveda de coro (figura 53). Los valores del modelo se obtuvieron con una magnitud de 1.66 cm (figura 54).

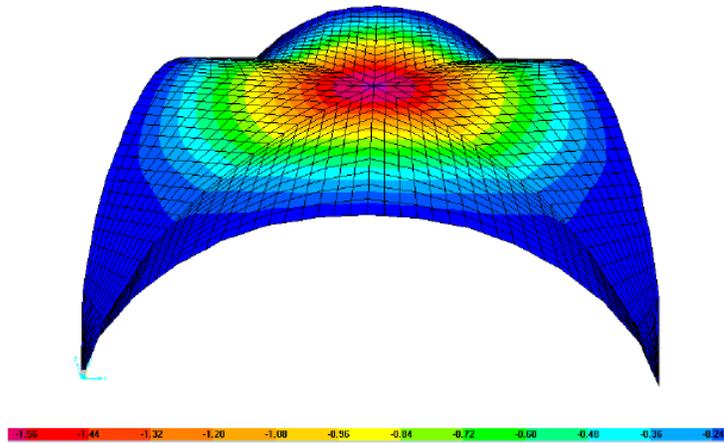


Figura 53 Deformaciones en sentido vertical de bóveda de coro (Araiza, 2009), en cm.

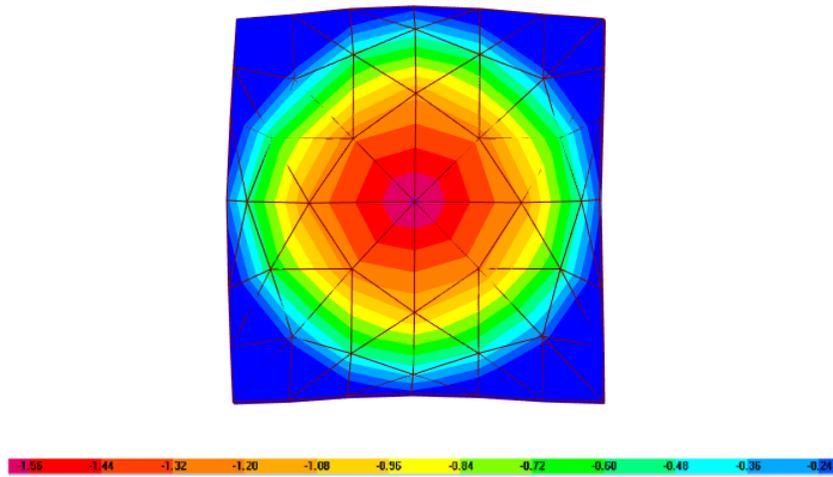


Figura 54 Deformaciones en sentido vertical de bóveda de coro, en cm.

Los esfuerzos principales obtenidos con la combinación descrita en las bóvedas describen como valores máximos de 9.5 kg/cm^2 en compresión y de 2.05 kg/cm^2 (el valor del estado límite de falla a tensión para la mampostería es de 2.00 kg/cm^2).

CAPITULO V: DISCUSIÓN

El levantamiento de patologías revela zonas con una mayor concentración de afectaciones. Entre estas áreas se encuentran las grietas localizadas en las bóvedas de la nave central (figura 17, 19 y 20) y las humedades que se repiten en los muros de toda la nave central (figura 18) las cuales podrían provocar el cambio en las propiedades dinámicas de sus elementos.

Así también, por medio de las campañas experimentales, se obtuvieron las frecuencias fundamentales de vibración para el terreno y para el inmueble, destacando con ello que no hay riesgo de que se llegue a presentar el fenómeno resonancia y pueda afectar la integridad estructural del inmueble (tabla 4).

La calibración realizada por medio de las vibraciones fundamentales del edificio, arroja un valor muy similar en cuanto a las propiedades dinámicas de los materiales que se describen en la literatura, por lo que el comportamiento del modelo numérico resulta ideal para la realización del análisis modal espectral y un análisis por cargas gravitacionales.

La realización del análisis del modelo numérico matemático arrojó como resultado esfuerzos en tensión en las bóvedas que tienen un valor de 2.05 kg/cm^2 , cuando el valor del estado límite de falla a tensión para la mampostería es de 2.00 kg/cm^2 , por lo que el elemento no se encuentra trabajando en sus condiciones de diseño.

Así mismo se tienen esfuerzos en compresión de 9.5 kg/cm^2 , valor que se encuentra por debajo del límite para la mampostería (20 kg/cm^2) por lo que los elementos que se someten a este esfuerzo siguen trabajando de manera adecuada.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a través del proceso de investigación del Templo de San Juan Nepomuceno se llega a las siguientes conclusiones:

Se identifican las intervenciones realizadas a través del tiempo y las patologías que se derivan de problemas de humedad por capilaridad o debido a la permeabilidad de las cubiertas y los desagües. Las patologías visibles en los muros de la nave central (figura 17 a 20) cuentan con un ancho de grieta de entre 0.5 mm hasta 5mm a lo largo de todo el elemento (transversal a los muros de la nave central), lo que puede tener impacto en la estabilidad futura de la estructura, por lo que se enfatiza se realice un continuo mantenimiento, para reducir en medida los factores que incrementen las afectaciones al inmueble hasta una futura intervención que garantice la integridad de la estructura y su seguridad estructural.

Con el uso de las vibraciones ambientales se obtiene el periodo natural del terreno (5.1 Hz) y se concluye que las frecuencias a las que se encuentra vibrando el Templo son distintas (valor promedio de 4.2 Hz), por lo que no existen efectos de resonancia que amplifiquen las vibraciones de la estructura, lo que sugiere que la integridad estructural del inmueble no se verá comprometida por esta causa en específico.

Con el procesamiento de los espectros obtenidos en las campañas experimentales se logra realizar la calibración del modelo numérico, adaptando las propiedades dinámicas de los materiales constructivos (los cuales son similares a los descritos por la literatura), y con la comparación entre las frecuencias del edificio y sus modos de vibrar, se da su validación.

A partir del análisis por peso propio del modelo numérico calibrado, se puede concluir que la estructura responde de manera adecuada frente a las fuerzas

gravitacionales en cuanto a esfuerzos de compresión. Los esfuerzos máximos generados por tensión (2.05 kg/cm^2) se encuentran apenas por encima de los límites de falla descritos en la literatura (2.00 kg/cm^2 para la mampostería), lo que denota un comportamiento de inestabilidad del elemento, razón por la cual se originan las patologías de grietas y deformaciones descritas en las fichas de daños y deterioros.

Como continuación de este estudio, se plantea realizar una evaluación del factor de seguridad del edificio, considerando diversas combinaciones y escenarios. Asimismo, se propone llevar a cabo un análisis dinámico que incorpore la degradación de los materiales utilizados en la construcción, con el fin de determinar la respuesta estructural frente a diferentes tipos de excitaciones. Este enfoque permitirá conocer con mayor precisión los esfuerzos y deformaciones reales que experimenta el Templo en su conjunto, proporcionando así una mayor certeza sobre su período de vida útil sin comprometer la seguridad de la estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ancona, A. (2010). "evaluación de métodos de detección de daño en estructuras mediante el uso de vibraciones". Revista SMIS, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 21.

Animas Rivera, H. (2015). Evaluación del empleo del modo de vibrar como indicador de la condición estructural de edificios históricos. Tesis de Doctorado en ciencias. México, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Araiza, Gerardo (2009), "Evaluación estructural de la bóveda de cubierta del coro del templo de San Juan Nepomuceno", Diagnóstico e intervención, Secretaría de Obras Públicas del Municipio de Aguascalientes.

Arango, J. D., & García, J. H. (2016). Estimación de la frecuencia natural del suelo utilizando análisis de espectros de Fourier.

ARCHIVO DE LA PARROQUIA DE LA ASUNCIÓN DE AGUASCALIENTES. 1877. Libro de Gobierno No. 11, copia del oficio en la hoja 37.

Atakan, K., Bard, P. Y., Kind, F., Moreno, B., Roquette, P., & Tenta, A. (2004, August). J-SESAME: A standardized software solution for the H/V spectral ratio technique. In Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering.

Beer, F. P., Johnston, R. E., & Mazurek, D. F. (2017). Mechanics of materials. New York: McGraw-Hill.

Boroscheck, R. (2010). "Diagnóstico e identificación de daño estructural" (No. Bit 73) (p. 8).

Chávez-García, F. J., & Montalva, G. A. (2014). Efectos de sitio para Ingenieros Geotécnicos, estudio del valle Parkway. Obras y proyectos, (16), 6-30.

Calderón, G., Gallo, R. (2011). Introducción al método de los elementos finitos: un enfoque matemático.

Cóias e Silva, V. (2006). "Inspección y diagnóstico de construcciones antiguas: Conocer antes de intervenir e construções antigas."

Dávila Garibi, Ignacio, Apuntes para la Historia de la Iglesia en Guadalajara, México, Edit. Cultura, 1963, t. 3º, II, p. 865.

De la Torre, O., López, R., Salazar, A., & Roldán, J. (2004). Evaluación estructural y comportamiento de las reparaciones efectuadas a edificaciones históricas. *Revista de ingeniería sísmica*.

De Solà-Morales, I. Carpinteri A., Lacidogna G., (2006) Damage monitoring of an historical masonry building by the acoustic mission technique, *Materials and Structures*, 39:161–167.

Esparza Rojas, C (2013). Diagnóstico y propuesta de rescate estructural de la capilla de la Trinidad, San Francisco de los Romo, Ags. Tesis de maestría en Ingeniería Civil. México, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

González, J. E., & Rodríguez, J. (2023). Análisis numérico de estructuras: ventajas y limitaciones. *Revista de Ingeniería Civil*, 25(1), 11-24.

González, J. J. (2019). Método de Elementos Finitos: Fundamentos y Aplicaciones. Ciudad de México, México: Pearson Educación.

GEOPSY 2012. Wathelet, M (IS Terre, Grenoble, France). Geopsy.org geophysical research and applications packages, release 2.4.4, Modified 2011-01-05, win32, 2012. Página web: www.Geopsy.org

Hernández, L. (2018). Medición y caracterización de vibraciones en tiempo real de estructuras para el estudio de su comportamiento. Tesis de maestría en Ingeniería Civil. México, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

International Council on Monuments and Sites ICOMOS. (2010). Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. Paris, Francia.

International Council on Monuments and Sites ICOMOS. (1964). Carta de Venecia. Venecia, Italia: ICOMOS.

Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (L.F.M.Z.A.A.H.), Reformada, Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 19 de enero de 2018, (México).

López - Velarde López, Pbro. Benito. Vida y cultos de San Juan Nepomuceno y su Iglesia en Aguascalientes. Aguascalientes, 1967.

López García, J. J. (2015, agosto 4). Templo de san Juan Nepomuceno: Una sorpresa arquitectónica. El Heraldo de Aguascalientes.

Losa, N. R. (2023). Análisis estructural de construcciones históricas de adobe. Aplicación del método de elementos finitos en casos de estudio, Jujuy, Argentina. Memorias Del Seminario Iberoamericano De Arquitectura Y Construcción Con Tierra - SIACOT, (20)

Lourenço, (1996), "Computational strategies for masonry structures" Ph.D. Thesis Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Manzano, J. (2014) Caracterización Dinámica Elástica de Templos Coloniales Mexicanos. <https://www.researchgate.net/publication/320775707>

Meli R. (2012). Ponencia "diagnóstico y rehabilitación estructural de edificios históricos. Dentro del marco del VII Simposio de Ing. Civil "Por una Ingeniería Sustentable"

Meza Méndez, JM (2013). Metodología con base en macroelementos para la evaluación de resistencia y mecanismos de colapso de iglesias antiguas de mampostería, Tesis de Doctorado en Ingeniería. México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Milani, G., Valente, M., & Alessandri, C. (2017). The narthex of the Church of the Nativity in Bethlehem: A non-linear finite element approach to predict the structural damage. *Computers and Structures*.

Nalvarte Beltrán S. A., Oyarce Rengifo J. M., "Obtención de perfiles de velocidad de ondas de corte mediante la inversión del cociente espectral H/V en el distrito de Santa Rosa - Lima," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2018.

Navarro Hernández, M. (2013). Levantamiento geométrico y de daños del templo de San Antonio y análisis estructural de la situación actual. Tesis de maestría en Ingeniería Civil. México, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR Railway Tech. Res. Inst.*, 30(1), 25-33.

Ortiz, J. C., López, J. H., & Oropeza, J. C. (2015). Análisis estructural de edificaciones históricas: una estrategia integral. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 87, 115-128.

Nakamura, Y. (2000, January). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering* (Vol. 2656). New Zealand: Auckland.

Pacheco Martínez, J., Animas Rivera, H., Ortiz Lozano, J. A. (2013). Las vibraciones como una fuente para evaluar el comportamiento estructural de edificios patrimoniales.

Peña, F. (2008) "Estrategias para el modelado y el análisis de edificios históricos de mampostería", en *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Veracruz, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, pp. 1-14.

Peña, F., Arce León, C., Rivera, D., Robles, L (2013) *Caracterización dinámica del templo de San Bartolomé Apóstol*, Naucalpan.

Pinto, C., Toledo, V. (2016). Utilización del Método de Nakamura para la Caracterización Sísmica de los Suelos en la Ciudad de Temuco. (Trabajo para optar al título de ingeniero constructor. Universidad de la frontera. Facultad de ingeniería y ciencias, Chile).

Rodríguez, M. J., García, J. J., & Fernández, J. M. (2013). Estrategias de análisis para la conservación de edificaciones históricas. *Arquitectura y Urbanismo*, 34(3), 9-20.

Roegiers, J. M. (2006). *Structural analysis of historic buildings*. London: Spon Press.

Rosales, C. (2001). Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia. Universidad del Valle.

Sabrina, G., Sebastiano, I., Graziano, P., Domenico, B., Giuseppe, L., & Francesco, P. (2018). Geophysical surveys for the dynamic characterization of a cultural heritage building and its subsoil: The S. Michele Arcangelo Church (Acireale, eastern Sicily). *Journal of Cultural Heritage*

SESAME. (2004). Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations.

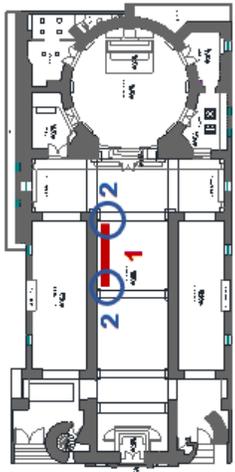
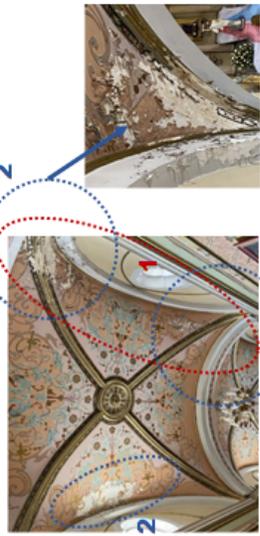
Timoshenko, S. P., & Young, D. H. (1970). Analysis of structures. New York: McGraw-Hill.

Vázquez, D. E. (2005). "Identificación de daños en vigas de hormigón experimentales y analíticas utilizando metodologías modales". Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes E Infraestructura Civil., 4(2), 18.

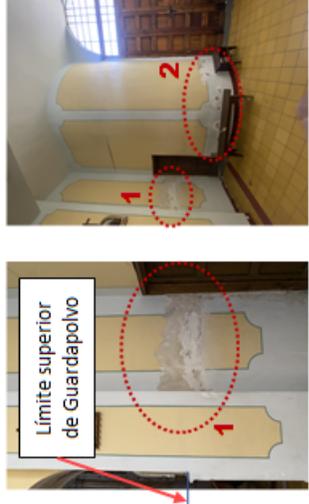


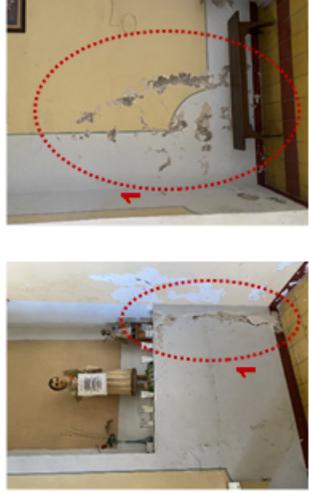
ANEXOS

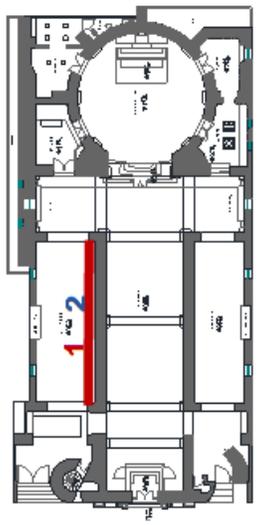
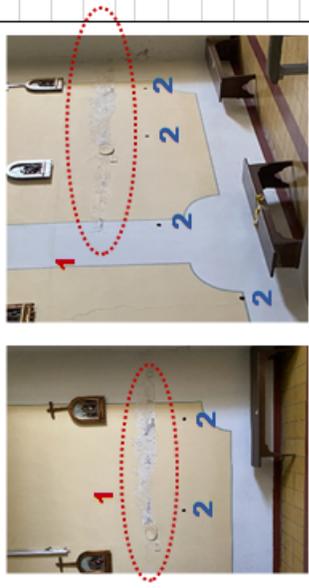
FICHAS DE DAÑOS Y DETERIOROS

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y AL TERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
			X	
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES 1. Grieta en bóveda originada por posible desplome en muros. 2. Presencia de humedad aparentemente por filtraciones generadas por acumulación de agua de lluvia por falta de mantenimiento en azotea. No presenta eflorescencia.				
OBSERVACIONES La grieta se desarrolla a lo largo de toda la bóveda, con un espesor que va de los 5mm hasta los 8mm.				
No. DE FICHA: MAYO 2022 1				
TIPO DE DETERIORO: SI NO BIOTICO ABIOTICO ANTROPICO				

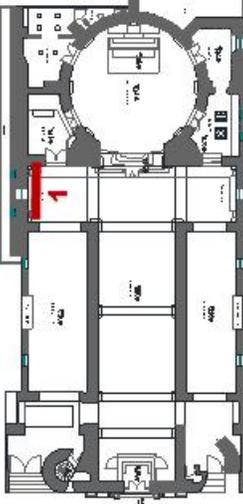
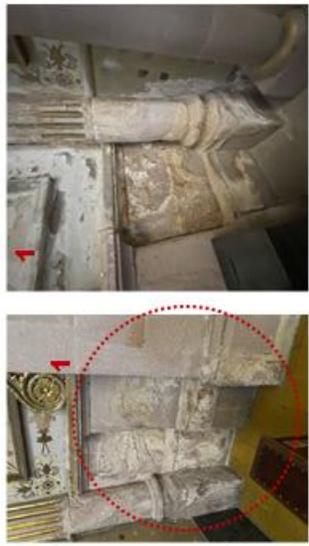
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

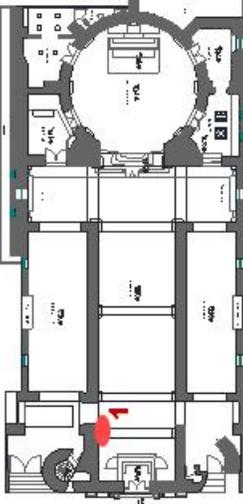
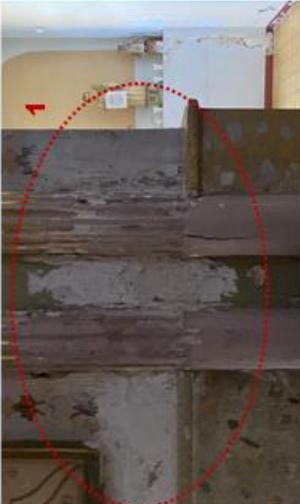
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA
		X		MAYO 2022
				No. DE FICHA
				2
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO				
TIPO DE DETERIORO				
SI NO				
BIOTICO				
ABIOTICO				
ANTROPICO				
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOSOS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de humedad en muros. Esta patologia se presenta a la misma altura que los guardapolvos de la nave principal.				
2. Presencia de humedad en muro, No presenta eflorescencia.				
OBSERVACIONES				

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETRIEROS Y AL TERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	MAYO 2022
		X		No. DE FICHA	3
LOCALIZACION EN PLANTA			TIPO DE DETEIORO	SI	NO
			BIOTICO		
			ABIOTICO		
			ANTROPICO		
FOTOGRAFIA			DESCRIPCIÓN DE LOS DETEIOROS Y/O ALTERACIONES 1. Presencia de humedad aparentemente por filtraciones generadas por acumulación de agua de lluvia por falta de mantenimiento en azotea. No presenta efluorescencia.		
					
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO					
OBSERVACIONES					

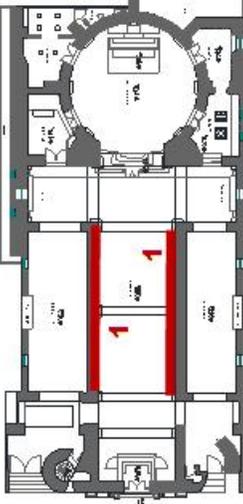
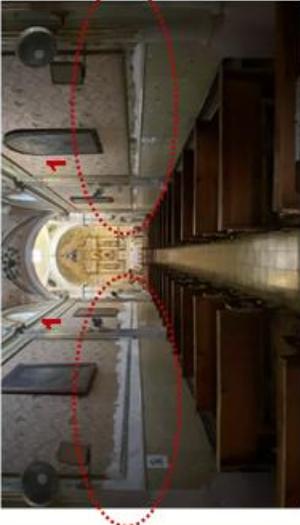
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DE TERIROS Y AL TERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	MAYO 2022
		X		No. DE FICHA	4
LOCALIZACION EN PLANTA					
					
FOTOGRAFIA					
					
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIROS Y/O ALTERACIONES					
1. Presencia de humedad en muros. Esta patología se presenta a la misma altura que los guardapólvos de la nave principal.					
2. Intervención realizada en 2009; extracción de núcleos cilindricos de la sección transversal de los muros de la nave principal para ensaye de muestras.					
OBSERVACIONES					

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

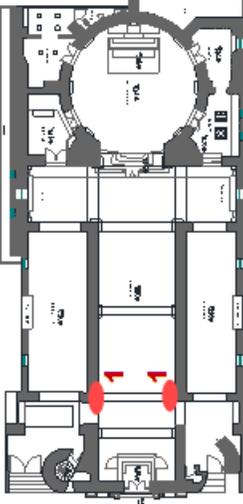
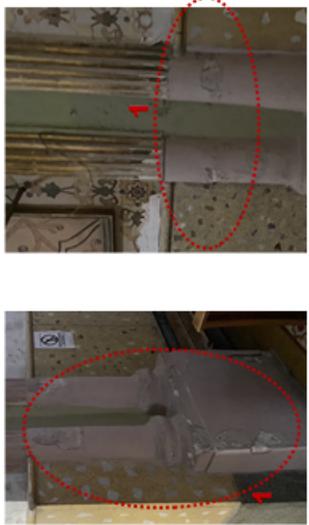
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DE TERIORS Y AL TERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
		No. DE FICHA	FECHA	
		6	MAYO 2022	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO		
		ANTROPICO		
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIORS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de humedad aparentemente por filtraciones generadas por acumulación de agua de lluvia por falta de mantenimiento en azótea.				
OBSERVACIONES				
La humedad ha provocado la pérdida de matriz en los elementos de ignimbrita (cantera).				
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO				

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DE TERIOROS Y AL TERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
		No. DE FICHA	FECHA	
		7	may-22	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO		
		ANTROPICO		
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de humedad en muros. Esta patologia se presenta a la misma altura que los guardapólvos de la nave principal.				
OBSERVACIONES				

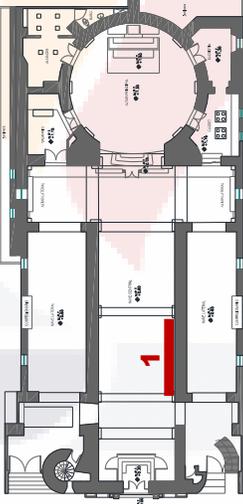
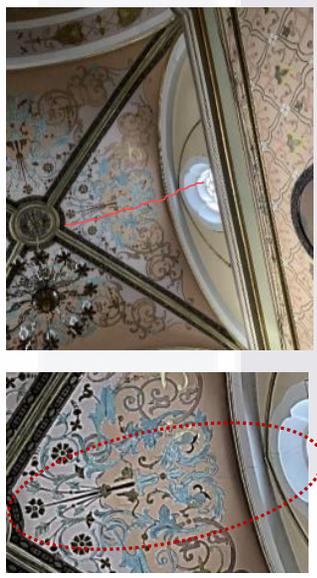
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y AL TERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
		FECHA	MAYO 2022	
		No. DE FICHA	8	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO		
		ANTROPICO		
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de humedad en muros. Esta patologia se presenta a la misma altura que los guardapólvos de la nave principal.				
OBSERVACIONES				

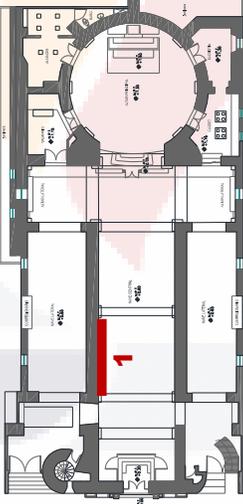
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIORS Y AL TERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
		FECHA	MAYO 2022	
		No. DE FICHA	9	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO		
		ANTROPICO		
DESCRIPCION DE LOS DETERIORS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de descamación en las pilastras de ignimbrita.				
OBSERVACIONES				

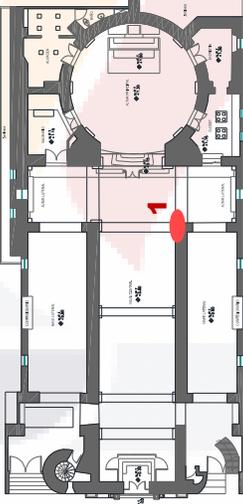
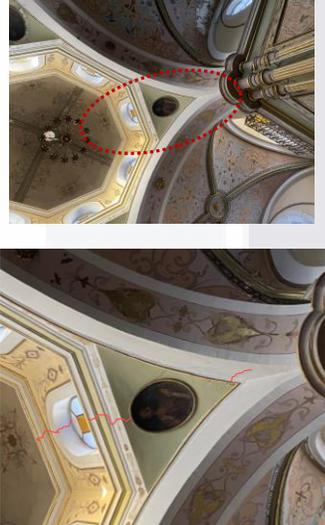
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

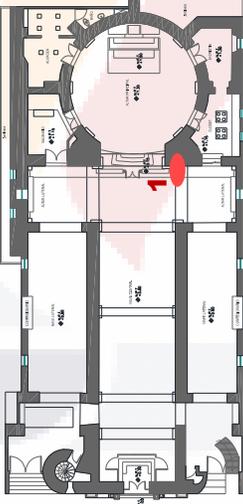
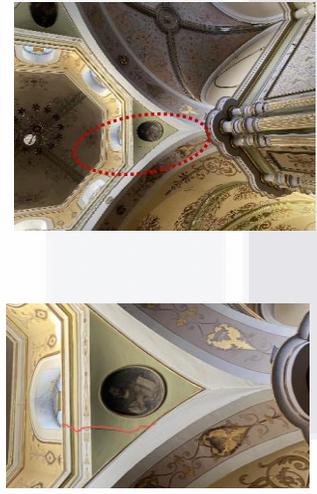
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	No. DE FICHA	FECHA
			X	10	MAYO 2022
LOCALIZACION EN PLANTA					
					
FOTOGRAFIA					
					
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES					
1. Grieta en bóveda.					
OBSERVACIONES					

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

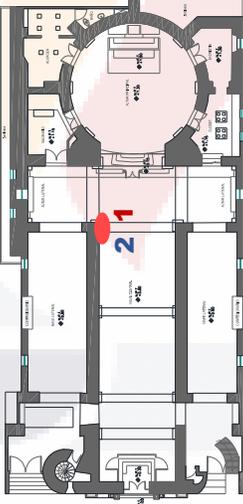
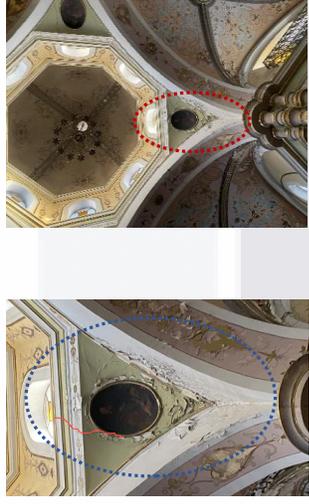
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
			X	
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
			FECHA	MAYO 2022
			No. DE FICHA	11
			TIPO DE DETERIORO	SI NO
			BIOTICO	
			ABIOTICO	
			ANTROPICO	
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Grieta en pechina de cúpula de crucero.				
OBSERVACIONES				

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

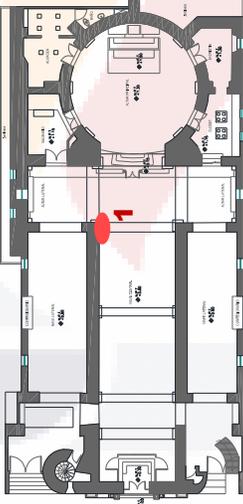
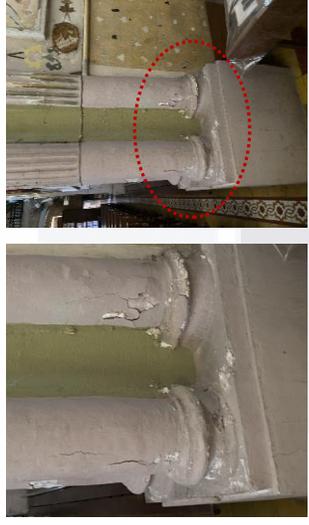
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
			X	
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
		No. DE FICHA	FECHA	
		12	MAYO 2022	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO		
		ANTROPICO		
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Grieta en pechina de cúpula de crucero.				
OBSERVACIONES				
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO				

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
			X	
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
			FECHA	MAYO 2022
			No. DE FICHA	13
			TIPO DE DETERIORO	SI NO
			BIOTICO	
			ABIOTICO	
			ANTROPICO	
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Grieta en pechina de cúpula de crucero.				
OBSERVACIONES				

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
			X	
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
				FECHA
				MAYO 2022
				No. DE FICHA
				14
				TIPO DE DETERIORO
				SI NO
				BIOTICO
				ABIOTICO
				ANTROPICO
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Grieta en pechina de cúpula de crucero.				
2. Humedad en pechina de cúpula de crucero.				
OBSERVACIONES				
La humedad se repite en ambas bóvedas que colindan. Fue provocada por la falta de mantenimiento en azoteas (Bajada pluvial tapada).				

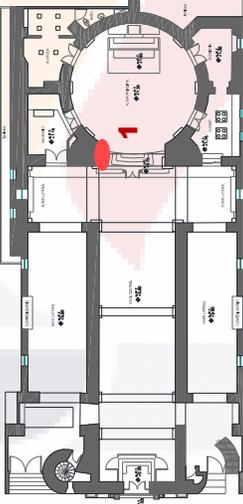
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	No. DE FICHA
		X		MAYO 2022	15
LOCALIZACION EN PLANTA					
					
FOTOGRAFIA					
					
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES					
1. Desprendimiento (descamación) en pilastras de la nave central.					
TIPO DE DETERIORO				SI	NO
BIOTICO					
ABIOTICO					
ANTROPICO					
OBSERVACIONES					

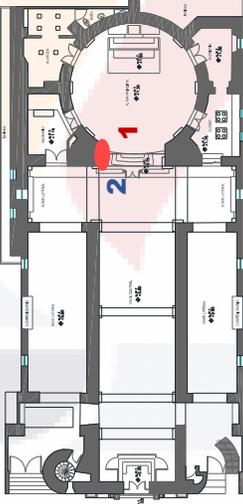
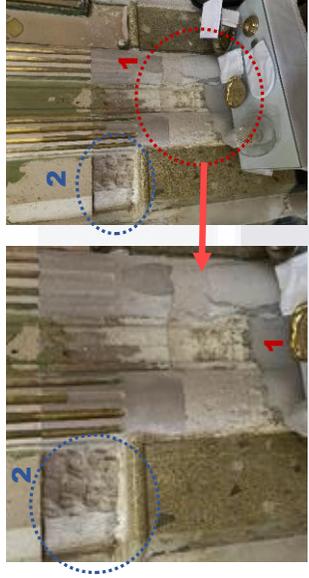
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
FOTOGRAFIA				
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES 1. Grieta sobre guardapolvos de nave central. 2. Desprendimiento parcial de guardapolvo de nave central.				
FECHA			MAYO 2022	
No. DE FICHA			16	
TIPO DE DETERIORO				
BIOTICO				
ABIOTICO				
ANTROPICO				
SI				
NO				
OBSERVACIONES				

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
			FECHA	MAYO 2022
			No. DE FICHA	17
			TIPO DE DETERIORO	SI NO
			BIOTICO	
			ABIOTICO	
			ANTROPICO	
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Presencia de humedad en muros.				
OBSERVACIONES				

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

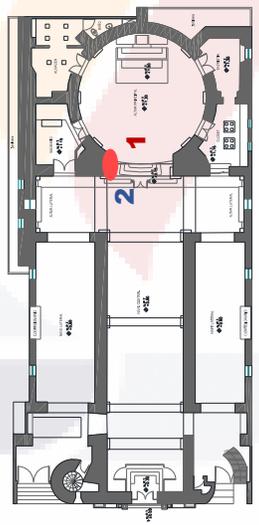
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	No. DE FICHA	FECHA
		X		18	MAYO 2022
LOCALIZACION EN PLANTA					
					
FOTOGRAFIA					
					
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES 1. Alteración a manera de restauración hecha de mortero cemento-arena. 2. Pérdida de la matriz en pilastra de altar principal.					
OBSERVACIONES 1. La intervención es una corrección inapropiada, realizada por personal no adecuado.					

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

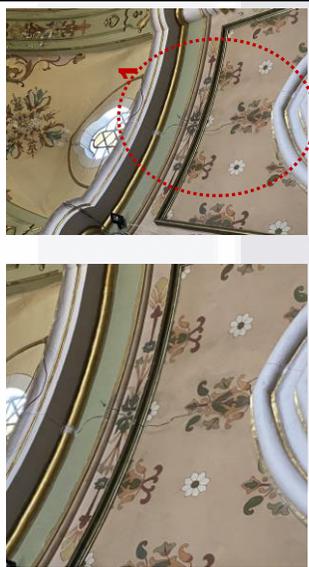
INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA
		X		MAYO 2022
				No. DE FICHA
				19
				TIPO DE DETERIORO
				SI
				NO
				BIOTICO
				ABIOTICO
				ANTROPICO
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
1. Grieta en muro de altar principal.				
OBSERVACIONES				
1. La grieta se desarrolla desde la puerta de acceso al sagrario y termina en la primer ventana de la cúpula.				

ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA
		X	

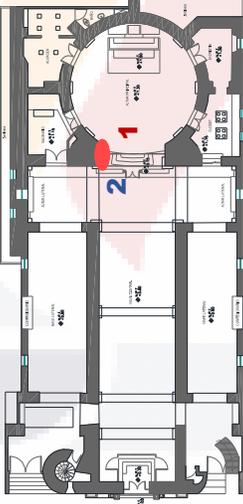
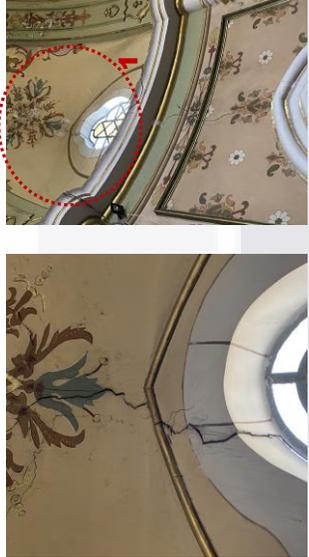
LOCALIZACION EN PLANTA



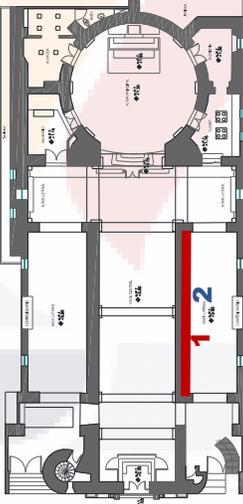
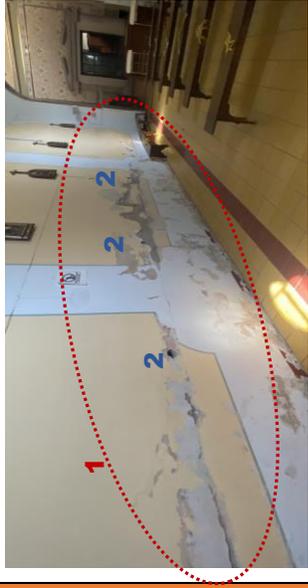
FOTOGRAFIA



TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES					
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES					
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	FECHA	No. DE FICHA
			X	MAYO 2022	20
LOCALIZACION EN PLANTA					
					
FOTOGRAFIA					
					
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES					
1. Grieta en cúpula de altar principal.					
TIPO DE DETERIORO				SI	NO
BIOTICO					
ABIOTICO					
ANTROPICO					
OBSERVACIONES					

TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO

INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES				
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y ALTERACIONES				
ELEMENTO	PISO	MURO	CUBIERTA	
		X		
LOCALIZACION EN PLANTA				
				
FOTOGRAFIA				
				
TEMPLO DE SAN JUAN NEPOMUCENO				
		FECHA	MAYO 2022	
		No. DE FICHA	21	
		TIPO DE DETERIORO	SI	NO
		BIOTICO		
		ABIOTICO	1	
		ANTROPICO	2	
DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS Y/O ALTERACIONES				
<p>1. Presencia de humedad en muros. Esta patología se presenta desde el suelo hasta el límite superior de los guardapolvos de la nave principal.</p> <p>2. Intervención realizada en 2009; extracción de núcleos cilíndricos de la sección transversal de los muros de la nave principal para ensaye de muestras.</p>				
OBSERVACIONES				