



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

TESIS

**INFLUENCIA DE DAÑOS Y DETERIOROS EN EL
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS HISTÓRICOS**

PRESENTA

I.C. Ricardo Daniel Carballo Mondragón

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CIVIL CON ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS**

TUTOR

DR. Jesús Pacheco Martínez

COMITÉ TUTORAL

DR. Raudel Padilla Cenicerros

M. en R. Jorge Guadalupe Villanueva Clavel

Aguascalientes, Ags., 25 de mayo de 2021

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

AUTORIZACIONES



TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
COMITÉ TUTORAL**

Dr. en C. T. C. Héctor Homero Posada Ávila
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante **RICARDO DANIEL CARBALLO MONDRAGÓN** con ID 130972 quien realizó la tesis titulada: **INFLUENCIA DE DAÑOS Y DETERIOROS EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS HISTÓRICOS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 25 de mayo de 2021.



Dr. Jesús Pacheco Martínez
Tutor de tesis



Dr. Raudel Padilla Cenicerós
Co-Tutor de tesis



M. Jorge Guadalupe Villanueva Clavel
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado

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

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-16
Actualización: 00
Emisión: 17/05/19



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



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 01/06/2021

NOMBRE: RICARDO DANIEL CARBALLO MONDRAGÓN **ID** 130972

PROGRAMA: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL **LGAC (del posgrado):** CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo Práctico

TITULO: Influencia de daños y deterioros en el comportamiento estructural de edificios históricos

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Revisar como los daños presentes en edificios históricos impactan en su comportamiento estructural con el fin de prevenir que los daños puedan causar algún colapso

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
NA				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cump'e 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
NA				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>				
NA				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
NA				El estudiante es el primer autor
NA				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
NA				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
NA				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
NA				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: Sí No

FIRMAS

Elaboró:
* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN: DR. MIGUEL ANGEL SOTO ZAMORA

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO: DR. MARTIN HERNANDEZ MARIN

* 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. ALEJANDRO AGUILA COLLAZO

Autorizó:
NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO: DR. EN C.T.C. HÉCTOR HOMEROS ROSADO AVILA

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 asistencia tutorial del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por formar parte de mi preparación una vez más en este postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado, sin el cual no habría podido concluir esta etapa en mi formación académica.

A mi esposa por su paciencia, motivación y ayuda para lograr todas las metas que me propongo, gracias Carmen.

Al Dr. Jesús Pacheco Martínez por compartir sus conocimientos como docente, así como la dedicación y paciencia durante la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Raudel Padilla Ceniceros por sus consejos y enseñanzas para el desarrollo de este trabajo.

Al MRSM Jorge Guadalupe Villanueva Clavel por las lecciones acerca de edificios históricos.

A mis profesores y compañeros por compartir sus conocimientos.

DEDICATORIAS

A mi mamá, mi hermana, mis sobrinos y mi esposa, que me han impulsado a seguir adelante.

A mi abue Coco y mi tía Lupe, que me guían desde el cielo en cada paso que doy, sé que hoy están orgullosas.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
Índice de figuras.....	4
Índice de graficas	7
Índice de tablas.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivo General	3
1.3. Objetivos Particulares	3
1.4. Preguntas de Investigación.....	3
1.5. Alcances.....	4
1.6. Justificación.....	4
1.7. Hipótesis	5
1.8. Metodología.....	5
1.9. Esquema del marco teórico	6
Narrativa por capítulos	7
CAPITULO II: REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	10
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	17
3.1. Tipos de patrimonio.....	17
3.1.1. Los conceptos de edificios históricos	18
3.1.2. Conservación y restauración de edificios históricos	19
3.2. Causas de daños estructurales en edificios históricos	20
3.2.1. Sismos	20

3.2.1.1. Tipos de sismos..... 21

3.2.2. Degradación de materiales..... 21

3.2.3. Subsistencia 22

3.2.4. Otros factores..... 23

3.3. Análisis estructural de edificios históricos 23

3.3.1. Análisis modal..... 24

3.3.2. Método de Nakamura..... 26

CAPITULO IV: CAMPAÑA EXPERIMENTAL 30

4.1. Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced) 30

4.2. Templo de San Marcos..... 31

4.3. Templo de la Purísima Concepción 31

4.4. Templo del Señor del Encino..... 31

4.5. Parroquia de San José..... 32

4.6. Templo de La Tercera Orden..... 32

4.7. Templo de San Diego 32

CAPITULO V: RESULTADOS 37

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS 41

6.1. Por templo: 41

6.1.1. Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced) 41

6.1.2. Templo de San Marcos..... 43

6.1.3. Templo de la Purísima Concepción 44

6.1.4. Templo del Señor del Encino..... 46

6.1.5. Parroquia de San José..... 48

6.2. Por elemento estructural: 49

6.2.1. Campanarios: 50

6.2.2. Muros frontales:..... 50

6.2.3. Muro lateral izquierdo:	51
6.2.4. Bóveda:	52
6.2.5. Muro lateral derecho:	52
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	55
Anexo A Descripción de daños y deterioros presentes	59
A.1 Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)	59
A.2 Templo de San Marcos	63
A.3 Templo de la Purísima Concepción	69
A.4 Templo del Señor del Encino	73
A.5 Parroquia de San José	78
Anexo B Graficas de resultados del análisis H/V	84
B.1 Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)	84
B.2 Templo de San Marcos	87
B.3 Templo de la Purísima Concepción	90
B.4 Templo del Señor del Encino	94
B.5 Parroquia de San José	97
Referencias	100

Índice de figuras

Figura 1: Estructura simple idealizada (Tomada de Chopra, 2014, p 5) ... 24

Figura 2: Sistema masa-resorte-amortiguador (Tomada de Chopra, 2014 p 20) 25

Figura 3: Marco idealizado (Tomada de Chopra, 2014, p 14) 26

Figura 4: Grafica frecuencia-tiempo obtenida con el software GEOPSY.26

Figura 5: Grafica amplitud-frecuencia elaborada con GEOPSY..... 27

Figura 6: Grafica H/V-frecuencia obtenida con el software Geopsy. 28

Figura 7: ubicación de puntos de medición..... 34

Figura 8: ubicación de puntos de medición..... 34

Figura 9: Orden de los templos basado en daños y deterioros presentes. 38

Figura 10: Interior de la torre campanario del templo de San Marcos (izquierda) y la Merced (derecha)..... 50

Figura 11: Fachadas del templo del Encino (izquierda) y la Purísima (derecha). 51

Figura 12: Muro izquierdo del Templo de la Merced (izquierda) y de la Purísima (derecha). 51

Figura 13: Trabajo de intervención estructural en la cubierta del templo de San Marcos..... 52

Figura 14: Sistemas estructurales en el Templo de San Marcos (izquierda) y la Merced (derecha)..... 53

Figura 15: Humedad y grietas superficiales en muro interno de fachada principal..... 59

Figura 16: Eflorescencia en muro del altar. 60

Figura 17: Desprendimiento de material en muro lateral izquierdo debido a humedad. 60

Figura 18: Grietas en muro lateral izquierdo..... 61

Figura 19: Manchas de humedad en muro Frontal-campanario..... 62

Figura 20: Manchas de humedad en Azotea..... 62

Figura 21: Pérdida de material, enmugrecimiento, guano de ave y grietas en torre campanario..... 63

Figura 22: Humedad y enmugrecimiento en muro lateral.	64
Figura 23: Humedad en bóveda de coros.....	64
Figura 24: Humedad en bóveda de coros.....	65
Figura 25: Grieta en bóveda de coros	65
Figura 26: Daños por humedad en azotea.....	66
Figura 27: Grieta en muro de reloj.	67
Figura 28: Trabajo de intervención estructural.....	68
Figura 29: Armaduras oxidadas sin recubrimiento.....	68
Figura 30: Desprendimiento de material en muro de coros.....	69
Figura 31: Renovación de juntas en mampostería.....	70
Figura 32: Humedad en bóveda.....	70
Figura 33: Manchas de humedad en bóvedas.....	71
Figura 34: Manchas de humedad y mantenimiento viejo en bóvedas... 71	
Figura 35: Manchas de humedad, eflorescencias y colonización biológica en bóvedas y muros.	72
Figura 36: Manchas de humedad y eflorescencias en la torre campanario.	72
Figura 37: Grietas en la base de los campanarios.	73
Figura 38: Eflorescencia en muro lateral.	74
Figura 39: Ampollas en pintura debidas a humedad en muro lateral.	75
Figura 40: Disyunción de pintura en Cúpula principal por humedad.	75
Figura 41: Grieta en muro de vitral.	76
Figura 42: Manchas de humedad y eflorescencia en muro lateral.	76
Figura 43: Manchas de humedad en muro de fachada principal.	77
Figura 44: Grietas en cúpula central.	77
Figura 45: Humedad y falta de impermeabilizante en bóvedas.	78
Figura 46: Humedad y eflorescencias en altar lateral.	79
Figura 47: Grietas y disyunción de pintura debida a humedad en bóveda de altar principal.	79
Figura 48: Fractura y perdida de material muro izquierdo (altar).....	80
Figura 49: Fractura y perdida de material muro izquierdo	81
Figura 50: Buen estado de bóvedas y cúpula.....	82

Figura 51: Deterioro en impermeabilizante..... 82



Índice de graficas

Gráfica 1: Frecuencia dominante del punto de desplante del Templo de "la Merced"..... 84

Gráfica 2: Frecuencia dominante del campanario. 85

Gráfica 3: Frecuencia dominante del muro frontal 85

Gráfica 4: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo..... 86

Gráfica 5: Frecuencia dominante de bóveda..... 86

Gráfica 6: Frecuencia dominante del muro lateral derecho 87

Gráfica 7: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo de San Marcos..... 87

Gráfica 8: Frecuencia dominante del campanario. 88

Gráfica 9: Frecuencia dominante del muro frontal 88

Gráfica 10: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo..... 89

Gráfica 11: Frecuencia dominante de bóveda..... 89

Gráfica 12: Frecuencia dominante del muro lateral derecho. 90

Gráfica 13: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo de "la Purísima". 90

Gráfica 14: Frecuencia dominante del campanario izquierdo..... 91

Gráfica 15: Frecuencia dominante del campanario derecho..... 91

Gráfica 16: Frecuencia dominante del muro frontal..... 92

Gráfica 17: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo..... 92

Gráfica 18: Frecuencia dominante de bóveda..... 93

Gráfica 19: Frecuencia dominante del muro lateral derecho. 93

Gráfica 20: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo del "Encino" 94

Gráfica 21: Frecuencia dominante del campanario. 94

Gráfica 22: Frecuencia dominante del muro frontal. 95

Gráfica 23: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo..... 95

Gráfica 24: Frecuencia dominante de bóveda..... 96

Gráfica 25: Frecuencia dominante del muro lateral derecho. 96

Gráfica 26: Frecuencia dominante del punto de desplante de la parroquia de San José. 97

Gráfica 27: Frecuencia dominante del campanario.	97
Gráfica 28: Frecuencia dominante del muro frontal.	98
Gráfica 29: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo.	98
Gráfica 30: Frecuencia dominante de bóveda.	99
Gráfica 31: Frecuencia dominante del muro lateral derecho.	99



Índice de tablas

Tabla 1: Daños y características de los templos.....	37
Tabla 2: Frecuencias obtenidas por el método de Nakamura.....	39
Tabla 3: Frecuencias y daños en el Templo de la Merced.....	41
Tabla 4:Comparacion de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de la Merced).....	42
Tabla 5: Frecuencias y daños en el Templo de San Marcos.	43
Tabla 6:Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de San Marcos).....	44
Tabla 7 Frecuencias y daños en el Templo de la Purísima.	45
Tabla 8:Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de la Purísima).....	45
Tabla 9: Frecuencias y daños en el Templo del Encino.	47
Tabla 10:Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo del Encino).....	47
Tabla 11: Frecuencias y daños en la Parroquia de San José.	48
Tabla 12:Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Parroquia de San José).....	49

RESUMEN

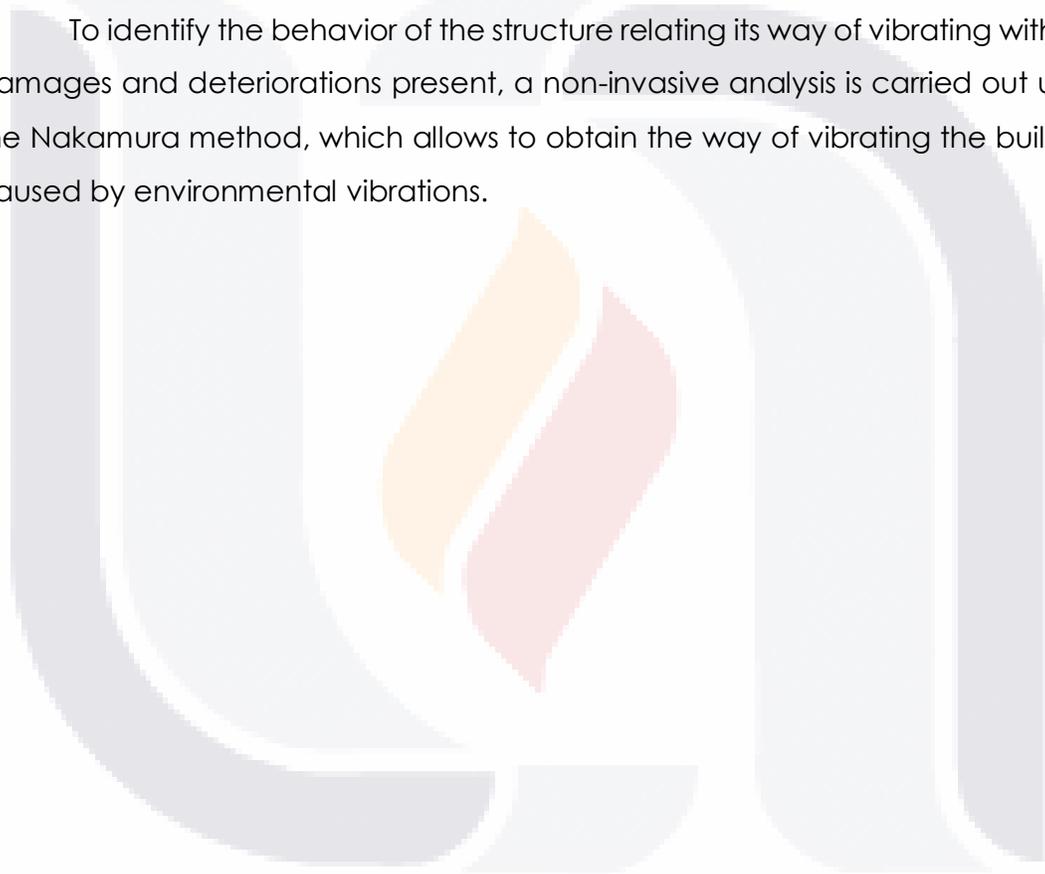
El proyecto presente en este documento aborda el tema de la influencia de daños y deterioros en el comportamiento estructural de edificios históricos pertenecientes a la ciudad de Aguascalientes, de los 5 edificios históricos contemplados en este estudio, dos de ellos (templo del rosario y de san marcos) se encuentran en la zona de declaratoria de patrimonio de humanidad por la UNESCO denominada "itinerario cultural del camino real de tierra adentro". Además, se identifican, analizan y describen los efectos generados por dichos daños y como estos reducen la resistencia estructural del mismo y por ende su vida útil.

Para identificar el comportamiento de la estructura relacionando su forma de vibrar con los daños y deterioros presentes, se realiza un análisis no invasivo mediante el método Nakamura, el cual permite obtener el modo de vibrar del edificio provocado por las vibraciones ambientales.

ABSTRACT

The project present in this document talk about the influence of damage and deterioration in the structural behavior of historic buildings from Aguascalientes, two of them (temple of the Rosario and San Marcos) are located in the zone of declaration of patrimony of humanity by UNESCO called "itinerario cultural del camino real de tierra adentro". In addition, they identify, analyze and describe the effects generated by these damages and how they reduce the structural resistance and the useful life.

To identify the behavior of the structure relating its way of vibrating with the damages and deteriorations present, a non-invasive analysis is carried out using the Nakamura method, which allows to obtain the way of vibrating the building caused by environmental vibrations.





CAPÍTULO

I

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Para este documento se define patrimonio como un producto o proceso perteneciente a la sociedad, que se ha heredado del pasado, se mantiene en el presente y que se pretende transmitir a las generaciones futuras para su enriquecimiento cultural e histórico. Debido a su antigüedad los edificios históricos son considerados como la riqueza frágil de un país, ya que es necesario preservarlos y respetarlos por su diversidad y singularidad, porque son obras que si en algún momento se llegan a perder son irrecuperables.

La UNESCO (2014), define el patrimonio cultural como el conjunto de monumentos, obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumental, que ha sido reconocido por tener algún valor universal y/o nacional, a su vez esta institución hace énfasis en que una vez que el edificio se considere como patrimonio cultural, las personas a cargo y los pobladores deberán apoyar en la protección, salvaguardia y gestión de este.

Toda ciudad tiene edificios considerados como patrimonio cultural ya que forman parte de la preservación de su historia y cultura, además, estos inmuebles generan ingresos en su lugar de origen por las actividades que ofrecen. Por tal motivo son consideradas como atracciones tanto para sus pobladores como para los turistas, de aquí surge la importancia de conservarlos y restáuralos, previniendo y frenando los daños y deterioros a los que están expuesto por la antigüedad que tienen (Torres, 2015).

El Templo de Nuestra Señora del Rosario, el Templo de San Marcos, el Templo de la Purísima Concepción, el Templo de San Diego, el Templo de La Tercera Orden, la Parroquia de San José y el Templo del Señor del Encino son considerados dentro de la ciudad como patrimonio edificado, por lo cual serán nuestro caso de estudio, estos además de ser vistos como monumentos históricos, son considerados de gran importancia para la humanidad, debido a que son un emblema del lugar al que pertenecen haciéndolo único. Estos edificios atraen al turismo nacional e internacional por ser considerados obras arquitectónicas lo que desencadena una gran derrama económica.

De ahí que es importante evaluar la estructura de los mismos de forma oportuna, de lo contrario estará expuesta a sufrir daños irreversibles que pueden provocar el colapso de estos dando a lugar a pérdidas humanas, así como del patrimonio cultural.

Para poder evaluar la estructura de los edificios históricos es necesario considerar que estos se han visto afectados estructuralmente debido al paso de los años (algunos son muy antiguos), por eventos naturales o eventos provocados por el hombre. Además, se pretende estudiar el daño generado a la estructura, cambio de la naturaleza de sus cargas, asentamientos diferenciales, degradación de los materiales, entre otros, así como el lapso en el que se verán reflejados los daños en la vida útil del edificio.

1.2. Objetivo General

Identificar, analizar y describir la influencia de los daños y deterioros en el comportamiento estructural de edificios históricos mediante vibración ambiental.

1.3. Objetivos Particulares

- A) Identificar los daños y deterioros presentes en cada edificación.
- B) Realizar el análisis estructural de los edificios objeto de estudio a través del método de Nakamura.
- C) Comparar los resultados obtenidos del análisis estructural entre los edificios para correlacionar su comportamiento con los daños y deterioros presentes.
- D) Generar una base de registros de vibración ambiental de los principales edificios religiosos de Aguascalientes, para que sirvan como antecedente para futuras mediciones, cuando se realicen labores de mantenimiento en la estructura, o cuando algún efecto natural o antropogénico genera algún tipo de daño en la estructura.

1.4. Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son los daños que más afectan a los edificios históricos?

- ¿Cuáles son los daños y deterioros que afectan estructuralmente a los edificios históricos?
- ¿Cuál es el procedimiento para realizar el análisis estructural de edificios históricos?
- ¿Qué eventos intervienen en el daño estructural y qué nivel jerárquico tienen?

1.5. Alcances

Por medio de la caracterización dinámica del edificio mediante vibración ambiental, se pretende establecer correlaciones entre los daños estructurales observados en campo y las posibles afectaciones que estas provoquen en el comportamiento estructural del edificio.

1.6. Justificación

La UNESCO (2014), menciona la importancia de proteger, salvaguardar y gestionar un edificio histórico considerado como patrimonio cultural, a través de la elaboración de planes de gestión de riesgos o desastres en caso de peligro o vulnerabilidad.

En la ciudad de Aguascalientes se tiene un gran número de edificios históricos considerados como patrimonio de la ciudad, entre los cuales destacan templos, museos y edificios por su belleza arquitectónica, su ubicación y afluencia turística.

Los edificios históricos presentes en la explanada del centro de la ciudad de Aguascalientes datan de 1700 y son considerados como patrimonio edificado debido a la antigüedad que estos presentan, es importante estudiar y conocer el comportamiento estructural de los mismos ya que a causa del paso del tiempo estos han sufrido daños y deterioros, los cuales son visibles en sus fachadas y en el interior, esto ha generado desprendimientos del material con el que fueron construidos, lo que a largo plazo podría dañar la estructura volviéndolo irreparable e incluso llevarla al colapso total.

1.7. Hipótesis

Según De la Torre, López, Salazar, & Roldán (2004), la respuesta dinámica de una estructura está dada por la relación de masa y rigidez. En los edificios históricos la masa permanece constante, pero debido al intemperismo y las grietas existentes, el cambio de rigidez es muy significativo.

Otro parámetro dinámico que puede relacionarse con la condición estructural de la estructura es el amortiguamiento, sin embargo, de acuerdo con De la Torre, López, Salazar, & Roldán (2004), los niveles de amortiguamiento son casi indetectables con estudios de vibraciones ambientales.

Es difícil medir los cambios en el periodo de vibración y amortiguamiento en una sola estructura ya que no se cuenta con el tiempo suficiente para que el intemperismo afecte al edificio y le ocasione la pérdida de rigidez y cambios en su amortiguamiento para que estos sean detectables, por este motivo se realizarán mediciones en varios edificios históricos, comparando el estado físico actual con su respuesta dinámica.

De acuerdo con lo anterior la hipótesis en este trabajo es que se puede relacionar la respuesta dinámica de la estructura (periodo de vibración y amortiguamiento) con los daños y deterioros presentes en esta.

1.8. Metodología

Por sus características esta investigación será principalmente de carácter cuantitativo considerando tres variables básicas:

- Variable independiente (de razón): material de construcción del edificio.
 - Variable independiente (de razón): daños en el edificio (grietas, humedad, etc.).
 - Variable dependiente (de razón): comportamiento dinámico.
- A) Se realiza una investigación de los estudios relacionados con la influencia de daños y deterioros en el comportamiento estructural de edificios históricos para conformar el capítulo revisión del estado del arte.
- B) Recolección de datos de los objetos de estudio.

- C) Redacción del marco teórico el cual está conformado por las definiciones y temas afines a edificios históricos.
- D) Se visitan los templos elegidos como objeto de estudio para la identificación de los daños superficiales presentes en cada estructura.
- E) Se inventarían los daños encontrados, además de que se identifican similitudes entre los objetos de estudio.
- F) Aplicación del método Nakamura para la conocer la vibración de cada estructura con respecto a las vibraciones ambientales.
- G) Análisis e interpretación de los resultados obtenidos del método Nakamura de los edificios en cuestión.
- H) Búsqueda de una correlación de los daños y deterioros presentes en los edificios con los resultados obtenidos del método aplicado.
- I) Redacción de las conclusiones obtenidas del punto anterior.

1.9. Esquema del marco teórico

- Tipos de patrimonio
 - Los conceptos de edificios históricos
 - Conservación de edificios históricos
- Causas de daños estructurales en edificios históricos
 - Sismos
 - Degradación de materiales
- Análisis estructural de edificios históricos
 - Análisis modal de edificios
 - Método de Nakamura

Narrativa por capítulos

Capítulo I

En el primer capítulo, se presenta una introducción al tema de investigación, incluye planteamiento del problema, antecedentes, objetivos general y particulares, preguntas de investigación, alcances, justificación, hipótesis, metodología y esquema del marco teórico.

Capítulo II

En el segundo capítulo se presenta el análisis general del estado del arte relacionado con influencias de daños y deterioros en el comportamiento estructural de edificios históricos, el cual permite profundizar los conocimientos acerca de este tema.

Capítulo III

El tercer capítulo se conforma del marco teórico, donde se presentan las definiciones que son necesarias para entender el desarrollo de este trabajo.

Capítulo IV

En el cuarto capítulo se describe la metodología a emplear durante la recolección de información mediante evidencia fotográfica, así como el desarrollo, aplicación y procesamiento de la información obtenida por el método de Nakamura.

Capítulo V

En el quinto capítulo se presentan las evidencias fotográficas obtenidas y se describen los daños encontrados; además se presentan las frecuencias fundamentales de los puntos especificados dentro del capítulo IV, así como una tabla donde se resume la información obtenida por el método de Nakamura.

Capítulo VI

En el sexto capítulo se establece una correlación entre la bitácora fotográfica y los datos de frecuencias fundamentales presentados en el capítulo V.

Capítulo VII

Una vez analizada la información de los capítulos anteriores se establecen comparaciones entre los daños y deterioros presentes en los templos con su comportamiento estructural y se mencionan algunas recomendaciones.





CAPÍTULO

II

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

CAPITULO II: REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Milani, Valente, & Alessandri (2017) llevaron a cabo estudios en el nártex de la iglesia de la Natividad en Belén la cual está compuesta por cinco bóvedas, de las cuales tres estaban muy dañadas. Para conocer las posibles causas de estos daños se realizaron simulaciones numéricas de elementos finitos con el objetivo de reproducir la respuesta sísmica y el proceso de deformación de un modelo tridimensional del nártex, desde una configuración inicial asumida hasta llegar a un punto en el cual el daño se puede comparar con el actual, estas simulaciones numéricas arrojaron resultados que parecen encajar razonablemente con la deformación real de la estructura lo que genera la obtención de mayor información incluyendo rehabilitación, reforzamiento y reducción de vulnerabilidad sísmica.

En el modelo de elementos finitos desarrollado se incluye la geometría 3D con la deformación actual para tomarla en cuenta durante el análisis, mismo que considera diferentes hipótesis sobre las posibles causas de los daños como lo son la carga gravitacional, asentamientos, terremotos y alteraciones estructurales, con el uso de análisis paramétrico se evalúa la influencia de las características del material en la seguridad estructural y mediante estática se puede interpretar el estado actual de la estructura.

Giardina, Hendriks, & Rots (2015), realizaron un estudio para determinar el daño causado por asentamientos inducidos por túneles a las estructuras de mampostería, para evaluar este se tomó en cuenta la influencia que tienen las excavaciones, características del material, peso del edificio, daño actual, así como el comportamiento de la mampostería, caracterizado por un agrietamiento fácil el cual produce una redistribución de esfuerzos y un importante efecto en la interacción suelo-estructura.

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser utilizados para desarrollar una clasificación de daños la cual relacione las características del edificio con el riesgo de ser dañado por cierta deformación en el suelo.

Karanikoloudis & Lourenço (2018), llevaron a cabo la evaluación estructural y de seguridad sísmica en la iglesia de Kuño Tambo, la cual es una estructura hecha de adobe del siglo XVII ubicada en Perú. Para este trabajo

realizaron pruebas sónicas y de mapeo de daños, así como pruebas de vibración para conocer el estado de la estructura.

Se menciona la gran diferencia, en cuanto a comportamiento estructural, de estructuras modernas contra edificios históricos, los cuales generalmente carecen de buenas conexiones entre sus elementos a lo cual llaman "comportamiento de caja" al contrario, debido al tipo de materiales utilizados y a la falta de mantenimiento están sujetos a daños estructurales tempranos, como agrietamiento, separación de elementos estructurales y probable colapso en áreas de riesgo sísmico

En el año 2018 Sabrina, y otros realizaron estudios en la Iglesia de San Michele Arcangelo con el fin de recolectar información sobre la salud estructural y caracterizar el suelo donde esta se ubica. Para obtener información acerca del modo de vibrar de la estructura y las características de distribución de ondas sísmicas en el suelo, se llevaron a cabo estudios con métodos no invasivos electromagnéticos (GPR) y sísmicos.

El análisis de resultados indicó que no existe amplificación de la frecuencia de vibración de la iglesia provocado por el suelo, con lo cual se descartan fenómenos de resonancia suelo-estructura en el sitio.

La investigación desarrollada por Pineda (2016), se basa en la mejora del comportamiento estructural de edificios de mampostería dañados cuando estos son intervenidos con materiales tradicionales o materiales de remplazo (mortero y ladrillos), analizando para cada tipo de material el potencial o limitaciones que pudieran tener. Tomando en cuenta los daños que presente el edificio como agrietamientos, fallas en compresión de sus elementos o degradación de materiales se analiza la respuesta dinámica, así como el efecto de los materiales utilizados en la restauración para la mejora estructural.

Se llegó a la conclusión que la mala calidad de los materiales estructurales afecta más que las grietas superficiales y cuando se utilizan materiales tradicionales para reparaciones se aumenta hasta un 60% la resistencia al corte y disminuye un 24% la probabilidad de desplazamiento, además de disminuir significativamente el periodo de vibración estructural.

Según Tscheegg (2016), los edificios históricos construidos con mármol muestran daño al estar expuestos al aire libre por un tiempo prolongado, la temperatura y la humedad son factores que afectan la resistencia del material ocasionándoles grietas o arqueamientos, la prueba de emisión acústica (AET) permite detectar, analizar y evaluar gráficamente los daños estructurales en rocas como el mármol, la prueba se realiza con un rango de temperaturas de -20° C a 60 °C durante cuatro a veinticinco ciclos, logrando el modelado para daños estructurales y destrucción de roca.

Shariq, Haseeb, & Arif (2016), realizaron un estudio sobre el comportamiento de estructuras de mampostería sometidas a esfuerzos provocados por terremotos, el caso de estudio fue un edificio histórico en la ciudad de Aligarh, India. Utilizaron el historial de eventos sísmicos de “El centro” y se analizó por el método de elementos finitos. Este tipo de estructuras tienen una alta resistencia a la compresión, pero esta es baja a la tensión y su análisis se complica debido a la geometría que presentan, la falta de conocimiento sobre el material utilizado en la construcción, malas intervenciones y el deterioro natural del material.

Se encontró que en algunas partes como la unión de cúpula-pared, pared-techo y las torres se excedían los límites de tensión o cortante permisibles, concluyendo que estas son las partes críticas ante las fuerzas sísmicas presentes en lugar.

Marín & Hidalgo (2014), realizaron un estudio para asignarle un valor a la secuencia de cambios y evolución arquitectónica del sanatorio de San Francisco de Borja. El estudio fue abordado desde la perspectiva de la evolución e implantación de nuevos Pabellones y servicios; incluyó el estudio de la adaptación de algunos pabellones a nuevos usos y ampliaciones, así como la demolición y abandono de otros. Incluyó también un análisis de la caracterización y evolución de las técnicas constructivas de las diferentes construcciones de la colonia en Alicante España.

Las conclusiones más importantes de estos autores son que se logró conocer las técnicas constructivas empleadas para este edificio y se evidencio

la utilidad de los estudios de planimetría para poder mejorar a futuro las intervenciones sobre patrimonio.

En el año 2014 García, Martínez, & Mayor realizaron un estudio sobre los elementos patrimoniales en la ciudad de Valencia, España. Se quería conocer la percepción y conocimiento de las personas afines a los edificios históricos incluidos en el estudio, por lo que se realizaron entrevistas para recolectar esa información.

Se concluyo que el patrimonio sirve como refuerzo de identidad de la comunidad, para las personas vinculadas a este, el rescate de los edificios significa la recuperación de valores propios, los cuales no solo se limitan a la antigüedad o belleza, si no que incluyen aspectos sociales y económicos.

Perria (2014), profundizo sobre la aplicación y perfeccionamiento de la teoría de la morfología urbana como recurso para el estudio de edificios históricos, para este caso de estudio se eligió el casco histórico de la ciudad de Granada, España y su evolución desde los primeros contactos con la cultura occidental hasta el siglo XVII.

En conclusión, la composición arquitectónica de los edificios históricos que vemos hoy es fruto de una lenta evolución, a través de la cual se fueron adaptando al medio natural o antrópico y al mismo tiempo sufrieron los procesos de transformación de estos.

En el año 2014 García, Mileto, & López, analizaron los criterios de intervención que rigen las restauraciones para edificios históricos, la variedad de soluciones propuestas permite examinar los valores y juicios de intervención a través de criterios generales (protección-consolidación, reintegración, reconstrucción, demolición) que se apoyan en criterios específicos (compatibilidad de material, estructural), además estos últimos se han analizado según la zona del muro en la que se interviene (la base, la estructura, la superficie o la parte superior)

Las intervenciones buscan darle al monumento la belleza estética de lo que fue en el pasado, en algunos casos se requiere de reconstrucciones parciales y en otros de reconstrucciones totales. En general, se busca la distinción

de la nueva construcción respecto a la original, pero siempre buscando una armonía entre ambas, principalmente constructiva y cromática.

En la ciudad de Valencia La Spina (2014), realizó una investigación en numerosas muestras de revestimientos de edificios históricos, los resultados mostraron que se utilizó una técnica constructiva caracterizada por utilizar yeso, con la adición de sustancias orgánicas, la aplicación de varias capas de pintura y acabados superficiales específicos, gracias a esto se observó cómo han ido evolucionando las técnicas de revestimiento, tanto del punto de vista material y técnico como el estético.

Al haber conocido a detalle las principales características de los revestimientos históricos se pudo conocer cuáles son las patologías que los afectan y proponer soluciones de conservación y restauración, que van desde una simple limpieza, reparación de fisuras, consolidación de abundamientos, reposición de faltantes hasta la sustitución del revestimiento, teniendo cuidado de utilizar materiales compatibles y de preferencia tradicionales.

En el año 2014, Navarro, Martínez, & Motta realizaron la metodología para la reconstrucción virtual de la bóveda de Vila Vella de Denia, desde la elección de la técnica de levantamiento, la cual se hizo por medio de fotogrametría, luego compararon diferentes programas de restitución, seleccionaron los que dieron mejores resultados en cuanto a precisión y tiempo necesario, por último realizaron un análisis por medio de programas de ingeniería inversa, con los cuales obtuvieron la geometría exacta de las dovelas, así como la forma y dimensiones de la bóveda.

Llegaron a la conclusión que las reconstrucciones virtuales son un medio excelente para conocer la geometría y el método de construcción de los edificios históricos inclusive a partir de unos cuantos vestigios y a un bajo costo.

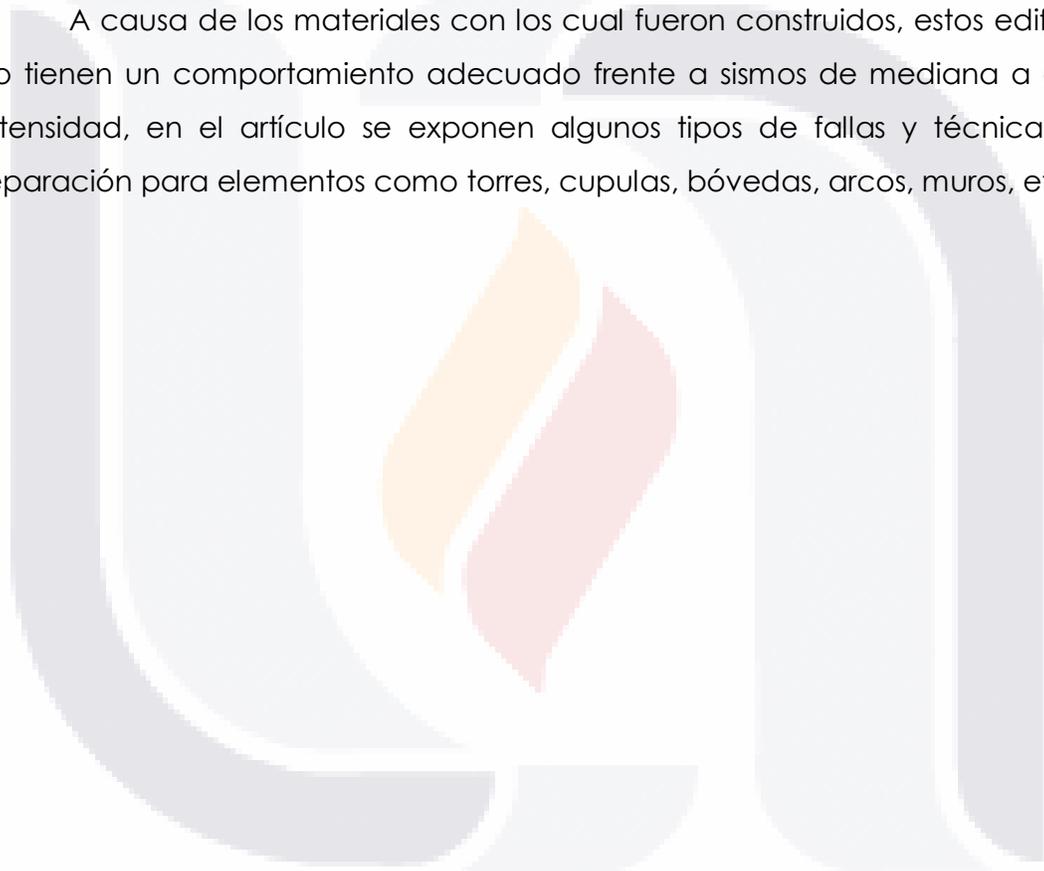
Rosado (2014), analizó y expuso casos de intervenciones arquitectónicas con el fin de detectar y evaluar errores, para después proponer soluciones validas y compatibles con las estructuras históricas utilizando planos y fotografías de las obras en su proceso constructivo y el resultado final

Es difícil concluir que existe una metodología clara ya que los diseños de los autores y las distintas problemáticas condicionan las intervenciones y los

resultados, pero se pueden clasificar en función de los sistemas de apoyos en las cubiertas, ya que determinan en gran medida como van a afectar a la estructura.

Las estructuras patrimoniales en su mayoría están construidas con mampostería no confinada, empleando cementantes de tipo cal-arena, con ladrillos y piedras naturales, De la Torre, López, Salazar, & Roldán (2004), realizaron un estudio sobre la evaluación y restauración de edificios históricos ubicados en las zonas sísmicas del país.

A causa de los materiales con los cual fueron construidos, estos edificios no tienen un comportamiento adecuado frente a sismos de mediana a gran intensidad, en el artículo se exponen algunos tipos de fallas y técnicas de reparación para elementos como torres, cupulas, bóvedas, arcos, muros, etc.





CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Tipos de patrimonio

La UNESCO (2014) menciona que la palabra patrimonio abarca los lugares de interés histórico y cultural, los sitios y paisajes naturales y los bienes culturales, así como el patrimonio inmaterial. Además, establece una clasificación compuesta por 5 grupos, los cuales se definen a continuación:

a) Patrimonio cultural:

- Los monumentos: incluye obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, estructuras arqueológicas, inscripciones o cavernas con valor universal excepcional histórico, artístico o científico.
- Los conjuntos: incluye grupos de construcciones cuya arquitectura e integración con el paisaje les dé un valor universal excepcional histórico, artístico o científico.
- Los lugares: incluye obras del hombre u obras conjuntas del hombre y naturaleza, así como zonas con un valor universal excepcional histórico, estético, etnológico o antropológico.

b) Patrimonio natural:

- Los monumentos naturales compuestos por formaciones físicas y biológicas con un valor universal excepcional estético o científico.
- Las formaciones geológicas, fisiográficas y zonas delimitadas que constituyan el hábitat de especies amenazadas, con un valor universal excepcional científico o de conservación.
- Los lugares o zonas naturales con un valor universal excepcional científico, de conservación o belleza natural.

c) Patrimonio cultural y natural subacuático: incluye los rastros de existencia humana con carácter cultural, histórico o arqueológico, los cuales hayan estado bajo el agua por lo menos durante 100 años

- d) Patrimonio cultural inmaterial: incluye los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas que las comunidades, grupos e individuos reconozcan como parte de su patrimonio cultural.
- e) Bienes culturales: incluye los bienes que las autoridades nacionales designen como importantes para la arqueología, prehistoria, historia, literatura, arte o la ciencia.

3.1.1. Los conceptos de edificios históricos

En la última reforma aplicada a la ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticas e históricos (DOF 16-02-2018) se definen los monumentos históricos en los siguientes artículos:

ARTICULO 33.- Son monumentos artísticos los bienes muebles e inmuebles que revistan valor estético relevante. Para determinar el valor estético relevante de algún bien se atenderá a cualquiera de las siguientes características: representatividad, inserción en determinada corriente estilística, grado de innovación, materiales y técnicas utilizados y otras análogas. Tratándose de bienes inmuebles, podrá considerarse también su significación en el contexto urbano.

ARTICULO 35.- Son monumentos históricos los bienes vinculados con la historia de la nación, a partir del establecimiento de la cultura hispánica en el país, en los términos de la declaratoria respectiva o por determinación de la Ley.

ARTICULO 36.- Por determinación de esta Ley son monumentos históricos: Los inmuebles construidos en los siglos XVI al XIX, destinados a templos y sus anexos; arzobispados, obispados y casas curales; seminarios, conventos o cualesquiera otros dedicados a la administración, divulgación, enseñanza o práctica de un culto religioso; así como a la educación y a la enseñanza, a fines asistenciales o benéficos; al servicio y ornato públicos y al uso de las autoridades civiles y militares.

La UNESCO (2014) define registro, lista o inventario nacional del patrimonio cultural como bancos de datos o listas oficiales de propiedades inmuebles edificios, casas de personas notables, monumentos, cementerios y tumbas, sitios

arqueológicos, etc., con importancia histórica o cultural, cuyo valor patrimonial fue reconocido por un proceso oficial de selección y registro.

3.1.2. Conservación y restauración de edificios históricos

El INAH (2015) señala las siguientes definiciones en su apartado “definiciones técnicas”:

Conservación: conjunto de labores interdisciplinarias para evitar el deterioro del patrimonio cultural tangible y poder transmitirlo a generaciones futuras, la conservación se compone acciones preventivas, curativas y de restauración.

Protección: conjunto de labores académicas, técnicas y legales que impulsan la investigación, identificación, conservación, resguardo, recuperación y difusión de los bienes históricos.

Mantenimiento: conjunto de labores permanentes para conservar los bienes históricos, evitando su deterioro.

Restauración: conjunto de actividades de intervención aplicadas sobre el bien patrimonial cuando este ha perdido parte de su significado o características originales, la restauración es la acción extrema de la conservación.

En la última reforma aplicada a la ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicos, artísticos e históricos (DOF 16-02-2018) se hace referencia a la conservación y restauración de edificios históricos en los siguientes artículos:

ARTICULO 6o.- Los propietarios de bienes inmuebles declarados monumentos históricos o artísticos, deberán conservarlos y, en su caso, restaurarlos en los términos del artículo siguiente, previa autorización del Instituto correspondiente.

ARTICULO 7o.- Las autoridades de las entidades federativas y Municipios cuando decidan restaurar y conservar los monumentos arqueológicos e históricos lo harán siempre, previo permiso y bajo la dirección del Instituto Nacional de Antropología e Historia

ARTICULO 10.- El Instituto competente procederá a efectuar las obras de conservación y restauración de un bien inmueble declarado monumento

histórico o artístico, cuando el propietario, habiendo sido requerido para ello, no la realice. La Tesorería de la Federación hará efectivo el importe de las obras.

ARTICULO 12.- Las obras de restauración y conservación en bienes inmuebles declarados monumentos, que se ejecuten sin la autorización o permiso correspondiente, o que violen los otorgados, serán suspendidas por disposición del Instituto competente, y en su caso, se procederá a su demolición por el interesado o por el Instituto, así como a su restauración o reconstrucción.

3.2. Causas de daños estructurales en edificios históricos

Daño estructural. Cualquier daño o deterioro en el edificio que ponga en peligro la seguridad estructural de este, su contenido y las personas en su interior, pueden ser provocados por causas naturales (sismo, inundación, hundimiento, ambiente, etc.) o por el ser humano (accidente, fallas en la construcción o abuso del edificio).

3.2.1. Sismos

La corteza terrestre está dividida en varias placas que se desplazan a diferentes velocidades, en los límites entre estas se genera una fuerza de fricción que impide el desplazamiento normal de las placas acumulando energía, la cual al sobrepasar la resistencia de la roca rompe los puntos de fricción liberando toda la energía guardada de manera violenta en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas direcciones.

Las ondas sísmicas se dividen en internas y superficiales, a su vez existen dos tipos de ondas internas, las más rápidas llamadas ondas primarias u ondas P cuya característica principal es que al propagarse comprimen y expanden el suelo, el segundo tipo de onda es la secundaria o S, la cual deforma el material lateralmente respecto a su trayectoria. Las ondas superficiales se dividen en dos, las ondas Love que producen movimiento lateral y las ondas Rayleigh las cuales producen movimiento vertical. (Gutiérrez Martínez, y otros, 2005)

3.2.1.1. Tipos de sismos.

Por su origen, los sismos se pueden clasificar en naturales y artificiales, los primeros son los más peligrosos al liberar mayor cantidad de energía y están relacionados directamente con causas naturales, entre los cuales se encuentran los sismos tectónicos, volcánicos y de colapso, los artificiales son producidos por el hombre ya sean por explosiones, movimiento de maquinaria, automóviles o simplemente al caminar (Gutiérrez Martínez, y otros, 2005).

Según Prieto (2018) a consecuencia de los sismos tectónicos en el mes de septiembre del 2017 resultaron dañados más de dos mil inmuebles históricos construidos entre los siglos XVI y XIX, además en febrero de 2018 un nuevo temblor afectó la costa de Oaxaca y Guerrero dejando en total (los sismo de 2017 y 2018) cerca de 2340 bienes inmuebles dañados (mayormente templos, conventos y capillas).

3.2.2. Degradación de materiales

La degradación de materiales que conforman a los edificios históricos se debe principalmente a procesos relacionados con la contaminación ambiental, vibraciones, contracción y expansión por temperatura.

Naturaleza de los contaminantes. Los contaminantes atmosféricos provienen fundamentalmente de la combustión interna de los motores, calefacciones, procesos industriales, etc., y provocan un incremento en la acidez del agua y la humedad en el ambiente, los componentes ácidos reaccionan con el calcio de los edificios históricos, en este proceso se degrada el material, y los contaminantes sólidos como el hollín se depositan en la superficie generando una capa que va de 0.1 a 1 mm de espesor denominada "costra negra", en este proceso se producen sales.

Además de los procesos fisicoquímicos, recientemente se han realizado estudios sobre cómo algunas bacterias intervienen en procesos de degradación de estos materiales.

Los asentamientos humanos también contribuyen a la degradación de los materiales mediante malas prácticas como lo son el encendido de hogueras, aparcamiento de coches, orinar en los muros, grafitis, limpiezas o tratamientos

inadecuados, así como la utilización inadecuada de cemento portland en restauraciones.

Además de la degradación directa que producen los anteriores procesos también se originan sales dentro de los poros del material, las cuales junto con los cambios de temperatura forman parte de los mecanismos físicos de degradación más importantes.

Las sales solubles se cristalizan cuando se evapora el agua que las contiene, ya que esta evaporación empieza en la superficie del material en esta parte es donde se observan las eflorescencias, costras o patinas, según la naturaleza de las sales. Cuando este fenómeno va hacia el interior del material la cristalización queda dentro de este, dando lugar a subeflorescencias o criptoeflorescencias, estas últimas son las más peligrosas debido a que tienen cambios fuertes de volumen al variar la hidratación, con el aumento de volumen se ejerce una fuerte presión sobre los poros del material, llevándolo a la degradación y/o fracturamiento (García de Miguel, Sánchez Castillo, González Aguado, & Puche Riart, 1991).

3.2.3. Subsistencia

El término subsistencia se refiere al hundimiento y fracturamiento superficial del suelo que puede ir desde milímetros hasta metros en lapsos de minutos a años y es provocada por la sobreexplotación del agua subterránea, disolución de materiales, construcción de obras en el subsuelo, compactación de materiales o la actividad tectónica, generando pérdidas económicas por la afectación directa a las construcciones que se encuentran en ella (Pacheco, 2007).

Según Esquivel & INEGI (2016) a partir del año 2012 en el centro de la ciudad de Aguascalientes (donde se lleva a cabo el estudio) se establecieron 2 estaciones de monitoreo por medio de GPS para medir el desplazamiento vertical en dos puntos de la Catedral basílica, teniendo como velocidad promedio de hundimiento -4.2 y -3.8 cm/año, esta diferencia de velocidad indica un asentamiento mayor en una de las estaciones, provocando un fenómeno de hundimiento diferencial debido a subsistencia.

3.2.4. Otros factores

La explotación turística mal gestionada es otro de los factores que causan deterioro en los edificios históricos, el número excesivo de turistas provoca humedades dentro de la estructura, ocasionando problemas a los muros interiores, pinturas, etc. Además del daño por abrasión en ciertas partes del edificio. El abandono y/o la falta de mantenimiento a los monumentos también provoca daños y deterioros con el tiempo.

Otra causa de daños al patrimonio son las restauraciones mal realizadas, es decir hechas por personas que no tienen la experiencia y conocimiento para realizarlas en un edificio histórico o cuando los materiales utilizados no son compatibles con los originales, generando redistribuciones de esfuerzos o cambios en el periodo de la estructura. (García de Miguel, Sánchez Castillo, González Aguado, & Puche Riart, 1991)

3.3. Análisis estructural de edificios históricos

El sistema estructural de edificios históricos fue pensado para que trabajen con cargas gravitacionales, ya que los materiales con los que están hechos no tienen capacidad de resistir grandes esfuerzos de tensión y cortante. Estas construcciones se hacían a base de mamposterías sin refuerzo, unidas con morteros pobres, cuyas secciones son de grandes espesores hechas de adobe, barro, ladrillo, piedras naturales o alguna combinación de estos, la variabilidad en los materiales hace que sus propiedades mecánicas no sean homogéneas.

Debido a la antigüedad de estas construcciones han acumulado daños y deterioros los cuales afectan el comportamiento estructural, además en muchos casos debilitan la estructura al modificar y/o eliminar elementos estructurales, incluso al ligar edificaciones con sistemas constructivos modernos a la estructura principal (De la Torre, López, Salazar, & Roldán, 2004).

3.3.1. Análisis modal

El análisis modal es una técnica que se aplica a las estructuras para conocer su frecuencia y modos naturales de vibración, estas 2 propiedades dependen directamente de la masa, rigidez y amortiguación en la estructura. Este análisis puede realizarse de forma teórica, mediante simulaciones, o experimental, directamente en el edificio, para la cual se necesita tener una fuente de excitación (natural o artificial), un dispositivo que a través de velocímetros registre las lecturas en los puntos elegidos y un software especializado para tratar y analizar las señales.

Una vez realizado el análisis y conociendo la frecuencia y modos naturales de la estructura es posible saber cómo vibra la estructura, solucionar problemas de resonancia, monitorear la condición de la estructura y optimizar el diseño de las edificaciones.

Para comprender por qué el comportamiento estructural depende de la masa, rigidez y amortiguación iniciaremos con una estructura simple a la cual se le aplica una fuerza en la parte superior o un movimiento horizontal en el terreno para comprender su vibración. Este tipo de estructuras simples se pueden idealizar como una masa (m) concentrada soportada por una estructura sin masa con rigidez (k) en la dirección lateral (figura 1).

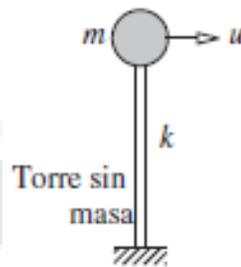


Figura 1: Estructura simple idealizada (Tomada de Chopra, 2014, p 5)

Si al sistema anterior se le aplica un desplazamiento inicial $u(0)$ y se libera para que vibre libremente se desplazará hacia adelante y atrás pasando por su posición inicial (equilibrio) de manera indefinida y nunca llegaría al reposo, esto en la realidad no sucede, un sistema real oscilaría cada vez con menor amplitud hasta detenerse debido al amortiguamiento (c) generado por la disipación de energía cinética y de deformación, esto es más fácil de entender en un sistema

masa-resorte-amortiguador (figura 2a), en el cual la masa (m) se coloca encima de rodillos sin fricción con movimiento horizontal, acoplada a un resorte sin masa que representa la rigidez (k) y a un amortiguador viscoso, también sin masa, que representa el amortiguamiento (c), la fuerza externa ($p(t)$) aplicada para sacar del reposo al sistema genera un desplazamiento inicial (u) en su misma dirección.

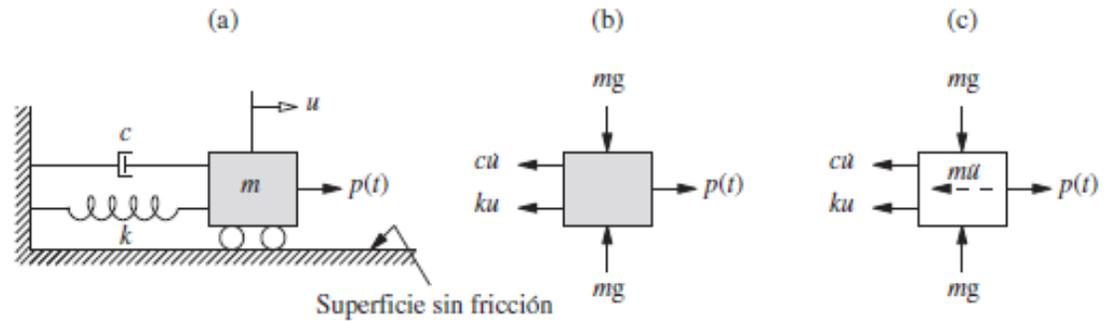


Figura 2: Sistema masa-resorte-amortiguador (Tomada de Chopra, 2014 p 20)

En un diagrama de cuerpo libre (figura 2c) se observan las fuerzas actuando sobre la masa, estas son la fuerza restauradora elástica ($f_s = ku$) producida por el resorte, la fuerza restauradora de amortiguamiento ($f_d = c\dot{u}$) producida por el amortiguador viscoso, la fuerza restauradora inercial ($f_i = m\ddot{u}$) y la fuerza gravitacional, puede visualizarse claramente que la fuerza externa aplicada $p(t)$ es igual a la suma de los componentes restauradores, así la ecuación que controla el desplazamiento lateral producido por una fuerza externa para una estructura con masa, rigidez y amortiguamiento queda:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad \text{ecuación 1}$$

Esta ecuación es válida para marcos idealizados como se muestra en la figura 3c donde se observan los componentes restauradores oponiéndose a la fuerza externa $p(t)$ tal como en el sistema masa-resorte-amortiguador utilizado para definir la ecuación 1 (Chopra, 2014).

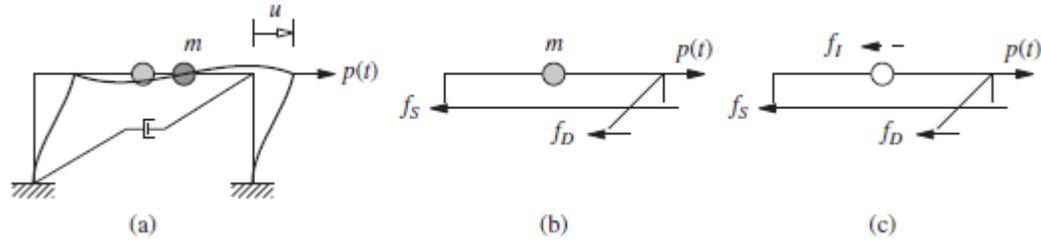


Figura 3: Marco idealizado (Tomada de Chopra, 2014, p 14)

3.3.2. Método de Nakamura.

Propuesto por Nakamura (1989) es una técnica utilizada para conocer la frecuencia dominante de un sitio, se considera un método no invasivo-pasivo ya que no se daña la superficie donde se coloca el equipo y no requiere de fuentes sísmicas artificiales, con lo cual lo hace un método seguro y económico para utilizarse en ciudades.

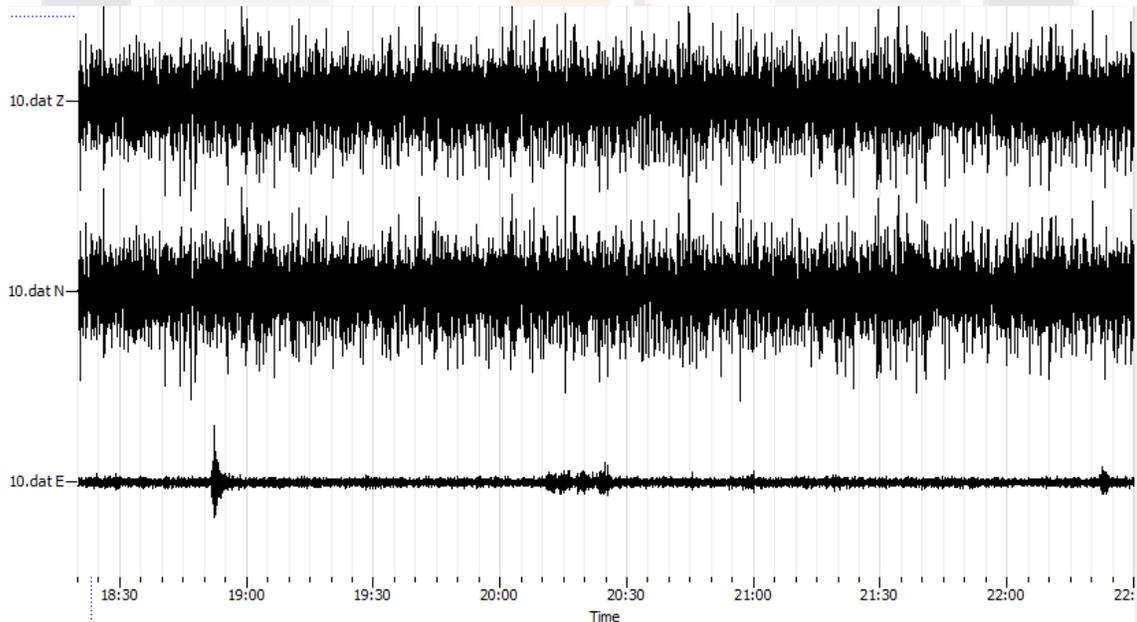


Figura 4: Grafica frecuencia-tiempo obtenida con el software GEOPSY.

La vibración ambiental utilizada en este método puede ser de origen natural (microsisimos), por oleaje o viento, con frecuencias que van de 0.1 Hz a 1 Hz; u antropogénico (microtremores), por industria o tráfico, cuyas frecuencias están entre 1 Hz y 10 Hz, ambos casos están compuestas por varios tipos de ondas, entre ellas la onda S que amplifica las componentes horizontales y la

onda P que tiene el mismo efecto en las componentes verticales (Schmidt-Diaz, 2016).

Esta técnica inicia con el monitoreo y registro de vibración ambiental en 3 ejes ortogonales a través de un velocímetro triaxial durante un lapso determinado (generalmente de 4 a 30 minutos), con estos registros se generan las gráficas frecuencia-tiempo (figura 4) para las componentes vertical (Z) y horizontales (N y E), estas se procesan mediante la transformada de Fourier para cambiarlas al dominio de la frecuencia (figura 5). Al tener dos componentes horizontales (N y E) se obtiene un promedio de estos, por ultimo se procesan los datos obteniendo la relación H/V (cociente espectral) con la cual se obtiene la gráfica H/V-frecuencia (figura 6) en la cual se puede observar un pico el cual representa la frecuencia fundamental del sitio, útil para conocer la condición estructural de una edificación o evitar algún efecto de resonancia entre el suelo y la estructura, también en este grafico se puede determinar la amplificación (efecto de sitio) del lugar.

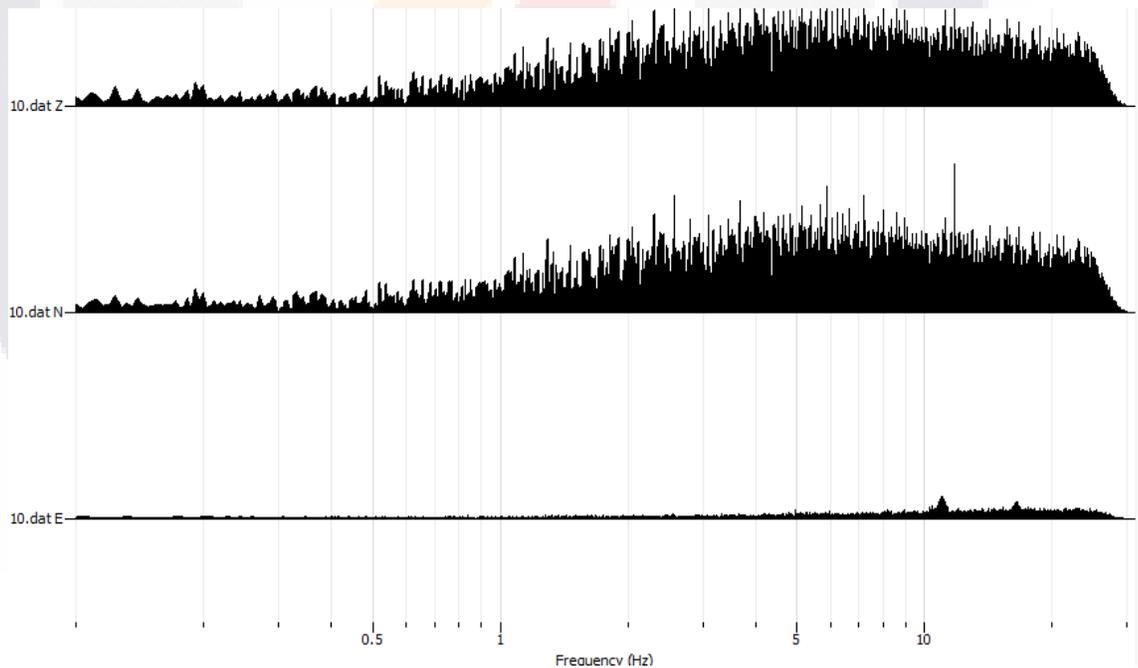


Figura 5: Grafica amplitud-frecuencia elaborada con GEOPSY.

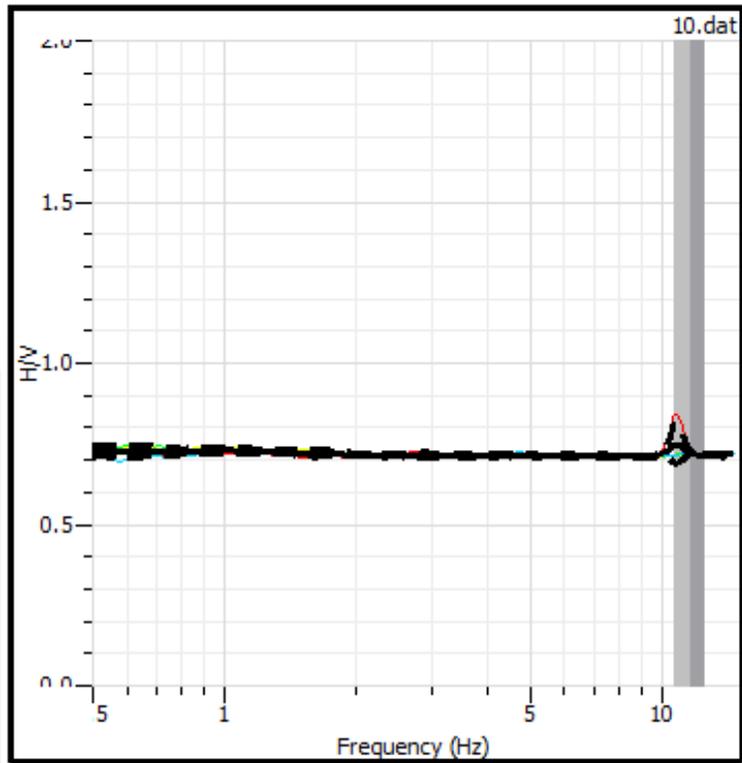


Figura 6: Grafica H/V-frecuencia obtenida con el software Geopsy.



CAPÍTULO

IV

CAMPAÑA EXPERIMENTAL

CAPITULO IV: CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Para el inicio de las campañas experimentales se eligieron los objetos de estudio con los cuales se va a trabajar, para poder cumplir el objetivo es necesario que los edificios históricos elegidos presenten similitudes estructurales y en los materiales de construcción, pero con diferentes estados de conservación, estos tres factores permiten establecer una correlación entre los resultados del análisis estructural, aparentando tener una misma estructura con diferentes daños y deterioros. El análisis del proyecto se enfoca a los templos debido a que en su mayoría cumplen con las características previamente mencionadas.

Una vez establecidas las características del objeto de estudio, se seleccionaron siete edificios históricos, los cuales son el Templo de Nuestra Señora del Rosario, el Templo de San Marcos, el Templo de la Purísima Concepción, el Templo de San Diego, el Templo de La Tercera Orden, la Parroquia de San José y el Templo del Señor del Encino, mimos que se encuentran ubicados en el centro histórico de la ciudad de Aguascalientes.

En una primera instancia se visitaron los templos previamente mencionados, con la finalidad de realizar una inspección, identificación y reporte fotográfico de los daños y deterioros que manifiestan actualmente cada uno de ellos, a continuación, se presenta un informe detallado con la información previamente recopilada de cada templo.

4.1. Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)

Ubicado en la zona centro, colinda al norte y oriente con fincas, al sur con la calle Venustiano Carranza y al poniente con la calle Mariano Matamoros Norte.

La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas y tiene dos apéndices altos que son la cúpula central y el campanario en forma de torre que se encuentra al frente del lado izquierdo.

4.2. Templo de San Marcos

Ubicado en el Barrio de San Marcos, frente al jardín del mismo nombre, al poniente se encuentra la calle Monroy y no colinda con ningún edificio.

La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con dos apéndices altos que son la cúpula central y el campanario en forma de torre que se encuentra al frente del lado izquierdo, así como dos apéndices bajos al frente que son el campanario derecho y el reloj central

4.3. Templo de la Purísima Concepción

Ubicado en el Barrio de la Purísima, frente a la glorieta del mismo nombre, al oriente colinda con fincas, al norte con la calle Arq. J. Refugio Reyes, al poniente con la calle Glorieta de la Purísima y al sur con la Av. Prolongación Alameda.

La estructura del templo es delgada en el frente y ancha en el fondo, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con dos apéndices altos que son campanarios en forma de torre y una falsa fachada construida con mampostería confinada, los cuales están ubicados al frente del edificio.

4.4. Templo del Señor del Encino

Ubicado en el Barrio del encino, frente al jardín del mismo nombre, al norte y oriente colinda con fincas, al sur con el jardín y al poniente con la calle E. Trujillo.

La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con dos apéndices altos que son la cúpula central y el campanario en forma de torre que se encuentra al frente.

4.5. Parroquia de San José.

Ubicado en la Zona Centro, frente al jardín del mismo nombre, al norte colinda con la calle Licenciado Francisco Primo Verdad, al poniente con la calle Miguel Hidalgo y Costilla y al oriente y sur con fincas.

La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con dos apéndices altos que son la cúpula central y el campanario en forma de torre que se encuentra al frente.

4.6. Templo de La Tercera Orden

Ubicado en la Zona Centro, al norte colinda con el Jardín de San Diego, al oriente con el Templo de San Diego y al poniente con la calle Lic. Benito Juárez.

La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con un apéndice alto que es la cúpula central y un apéndice bajo que es el campanario el cual forma parte de la fachada.

4.7. Templo de San Diego

Ubicado en la Zona Centro, al norte colinda con el Camarín de la Virgen de la inmaculada Concepción, al oriente fincas y al poniente con el Templo de la Tercera Orden.

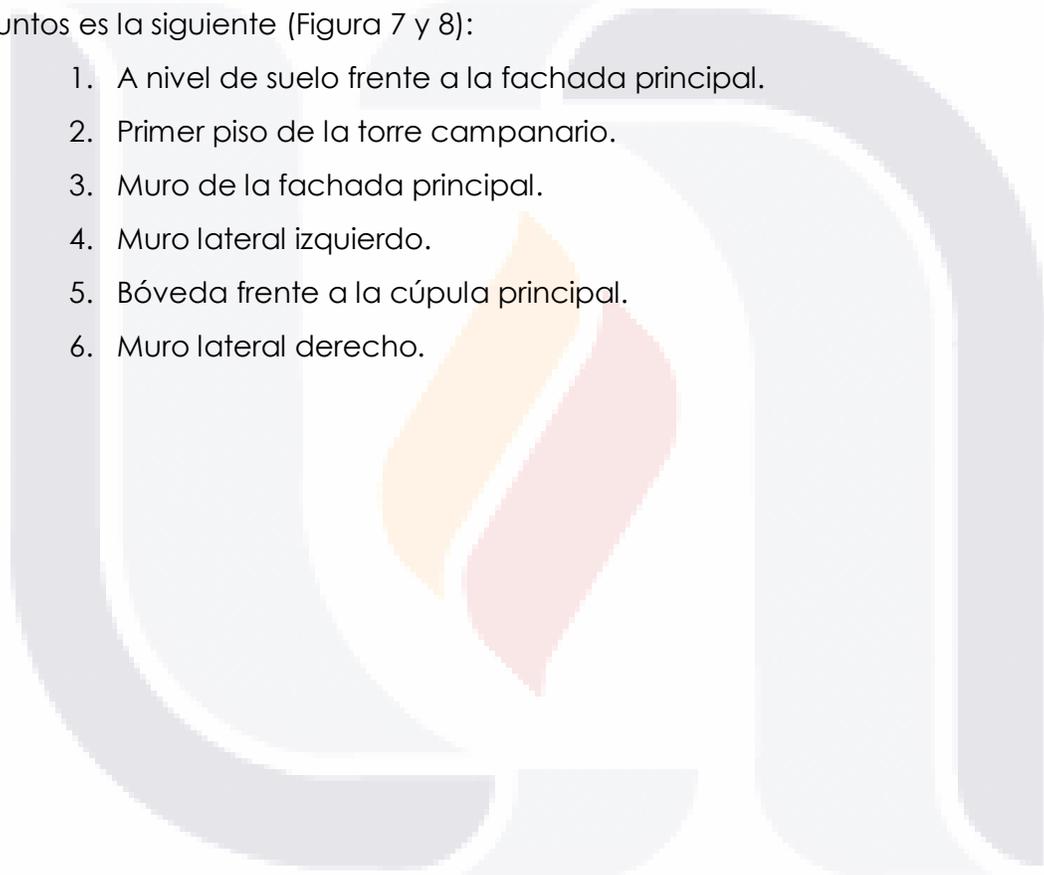
La estructura del templo tiene la clásica forma de cruz, los muros son de mampostería de piedra, el sistema de construcción del techo es a base de bóvedas, cuenta con un apéndice alto que es la cúpula central y un apéndice bajo que es el campanario el cual forma parte de la fachada.

Analizando los resultados obtenidos se descartan el templo de San Diego y el templo de la Tercera Orden como objetos de estudio debido a que no cuentan con los elementos estructurales establecidos como lo son la forma, las torres campanario y las bóvedas, lo cual no permite establecer una

comparación real entre ellos por su comportamiento ante los daños y deterioros que presentan.

El análisis estructural se realizó con el método de Nakamura, el equipo utilizado fue un sensor de velocidad con el cual se tomaron registros ortogonales en la dirección vertical, longitudinal y transversal de los edificios en cada punto medido. Se determinó que para obtener datos de distintas partes en cada objeto de estudio el análisis se debe tomar en cinco puntos estratégicos de la estructura y uno en el suelo donde está desplantada, la ubicación de estos puntos es la siguiente (Figura 7 y 8):

1. A nivel de suelo frente a la fachada principal.
2. Primer piso de la torre campanario.
3. Muro de la fachada principal.
4. Muro lateral izquierdo.
5. Bóveda frente a la cúpula principal.
6. Muro lateral derecho.



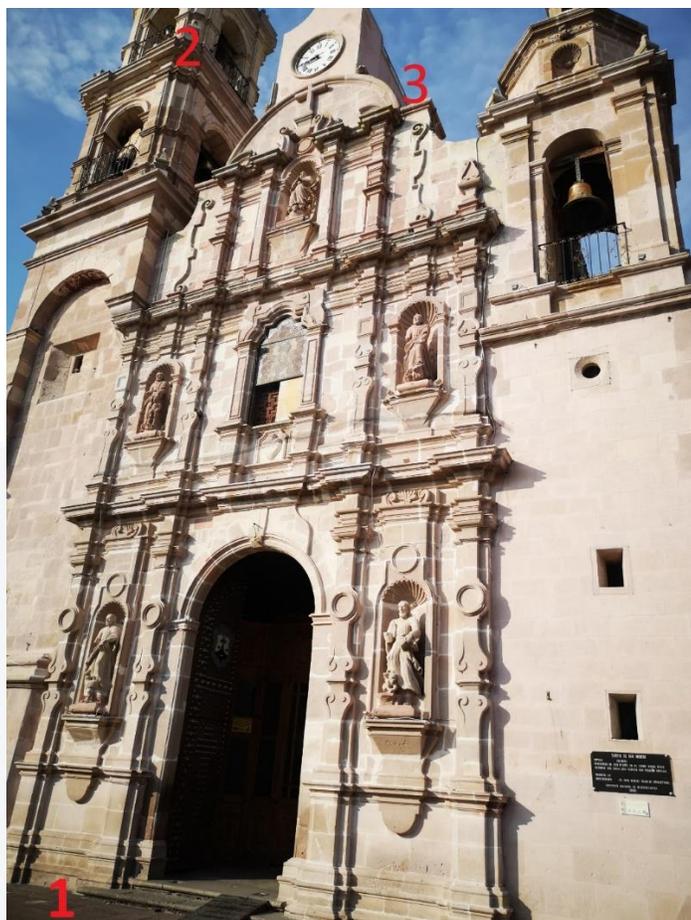


Figura 7: ubicación de puntos de medición.

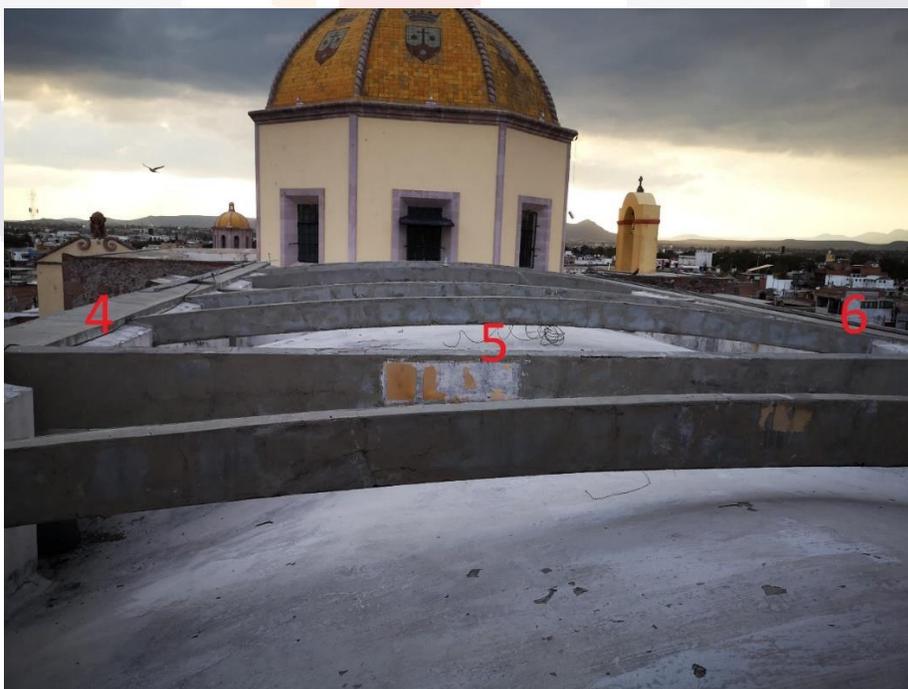


Figura 8: ubicación de puntos de medición.





CAPÍTULO

V

RESULTADOS

CAPITULO V: RESULTADOS

Se generó una memoria fotográfica y un reporte de daños y deterioros presentes en cada uno de ellos, los resultados se muestran en el apéndice A. En la tabla 1 se muestra un resumen de los daños e información de cada templo.

	Daños						Tipo de muros	Cubierta	Año siglo de construcción	Materiales
	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho				
Templo del Encino	Manchas de humedad	NA	Manchas de humedad	Manchas de humedad	Manchas de humedad y disyunción de pintura	Manchas de humedad	Muros de carga de mamposteria con contrafuertes	boveda de pañuelo	1773/XVIII	Adobe /Piedra
Templo de la Merced	Manchas de humedad, eflorescencias y fracturas	NA	Manchas de humedad y grietas superficiales en el interior	Manchas de humedad, eflorescencias, desprendimiento de material y fracturas	Manchas de humedad	Manchas de humedad y eflorescencias	Muros de carga de mamposteria con columnas	Boveda de pañuelo	1702/XVIII	Cantera/piedra
Parroquia de San José	Manchas de humedad	NA	Manchas de húmedas y disyunción de pintura	Manchas de humedad, fracturas, disyunción y ampollas en pintura	Manchas de humedad y disyunción de pintura al interior	Manchas de humedad y disyunción de pintura en zona de altares	Muros de carga de mamposteria con columnas	Boveda de cañon	1684/XVII	Adobe /Piedra
Templo de la Purísima	Manchas de humedad y grietas en la base	Manchas de humedad y grietas en la base	Manchas de humedad	Manchas de humedad	Manchas de humedad y grietas	Fractura en zona de coros, grietas y Manchas de humedad	Muros de carga de mamposteria con contrafuertes	Boveda de pañuelo	1902/XX	Cantera/piedra
Templo de San Marcos	Manchas de humedad	NA	Manchas de humedad y fractura detrás del reloj	Manchas de humedad	Manchas de humedad y Grietas	Manchas de humedad	Muros de carga de mamposteria con arbotantes y contrafuertes	Boveda de pañuelo	1733/XVIII	Cantera/piedra

Tabla 1: Daños y características de los templos.

Con la información obtenida del levantamiento de daños observados se categorizaron los templos de acuerdo con los daños y deterioros encontrados de menor a mayor como se muestra en la figura 9.

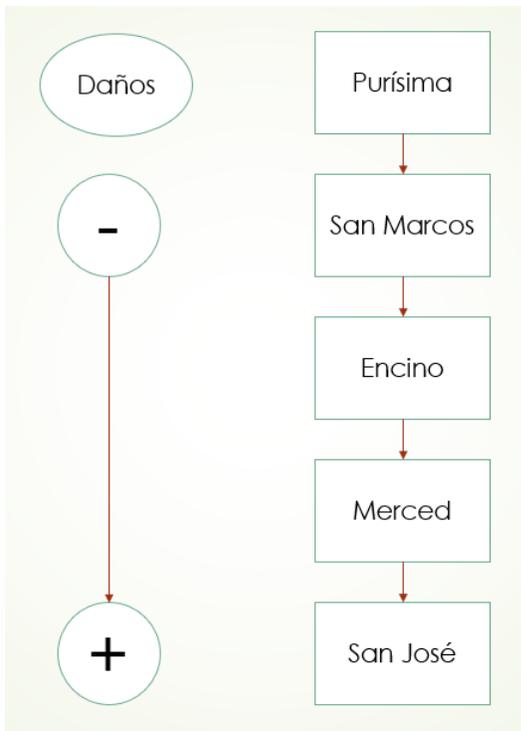


Figura 9: Orden de los templos basado en daños y deterioros presentes.

Los datos de vibración ambiental recopilados en cada uno de los templos fueron procesados con el software GEOPSY versión 3.3.0 para obtener las gráficas H/V-frecuencia (frecuencia dominante) las cuales se encuentran en el apéndice B por templo y ubicación.

En la tabla 2 se muestra un resumen de las frecuencias obtenidas por el método de Nakamura y el promedio por elemento estudiado.

	Frecuencia (Hz)						
	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Templo del Encino	1.6	6.8	NA	2.8	6.2	8.0	5.8
Templo de la Merced	3.1	2.1	NA	9.0	2.0	6.2	5.2
Parroquia de San José	9.4	3.2	NA	6.2	6.9	7.1	9.0
Templo de la Purísima	3.2	3.6	3.8	12.1	12.0	8.1	5.7
Templo de San Marcos	0.7	9.6	NA	6.1	6.1	11.3	12.5
Promedio		5.1	3.8	7.2	6.6	8.1	7.6

Tabla 2: Frecuencias obtenidas por el método de Nakamura.

Debido a que únicamente el templo de "la Purísima" tiene campanario derecho esa columna en la tabla 2 solo tiene una lectura.



CAPÍTULO

VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el anexo B se muestran los resultados del método de Nakamura analizados con el programa GEOPSY, en cada una de estas graficas se pueden observar dos líneas punteadas de color negro, que representan la desviación estándar de los valores H/V y una línea continua la cual indican el promedio de estos valores, también se muestran dos barras en color gris (1 gris claro y 1 gris oscuro) las cuales marcan los valores más altos de la relación H/V-frecuencia, el valor de frecuencia que se obtiene en cada grafica es el que se encuentra entre estas barras, en la tabla 2 se hace un resumen de los resultados de cada grafica del anexo antes mencionado.

A continuación, se establece una correlación causa-efecto entre los daños observados en la bitácora fotográfica y los resultados arrojados por el método de Nakamura.

6.1. Por templo:

En este apartado se presentan los resultados obtenidos y se realiza una discusión entre los elementos similares de cada templo.

6.1.1. Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)

En la tabla 3 se muestran las frecuencias y los daños presentes en cada punto medido del templo de la merced, este templo no presenta riesgo de resonancia en ninguno de sus elementos, ya que las frecuencias están alejadas de la del punto de desplante.

Templo de la Merced							
Elemento	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Frecuencia (Hz)	3.1	2.1	NA	9.0	2.0	6.2	5.2
Daños	NA	Manchas de humedad, eflorescencias y fracturas	NA	Manchas de humedad y grietas superficiales en el interior	Manchas de humedad, eflorescencias, desprendimiento de material y fracturas	Manchas de humedad	Manchas de humedad y eflorescencias

Tabla 3: Frecuencias y daños en el Templo de la Merced.

En la tabla 4 se hace una comparación de las frecuencias naturales de cada elemento expresado como la reducción con respecto a la mejor frecuencia en el Templo de la Merced.

El elemento que tiene una mayor frecuencia, y por lo tanto mejor rigidez, de este edificio es el muro frontal con 9 Hz, este será el punto de comparación para los demás elementos; la bóveda y el muro lateral derecho tienen frecuencias de 6.2 Hz. y 5.2 Hz respectivamente, disminuciones del 33.11% y 42.22%, los daños en estos son manchas de humedad y eflorescencias; el campanario izquierdo y muro lateral izquierdo tienen frecuencias de 2.1 H. y 2.0 Hz., reducciones del 76.67% y 77.78% con respecto al muro frontal, estos muestran daños por humedad, eflorescencias y fracturas (figuras 16,17, 18 y 21).

Templo de la Merced					
Elemento	Muro Frontal	Bóveda	Muro lateral derecho	Campanario izquierdo	Muro lateral izquierdo
Frecuencia (Hz)	9.0	6.2	5.2	2.1	2.0
Reduccion con respecto a la mejor frecuencia (%)	-----	31.11	42.22	76.67	77.78

Tabla 4: Comparacion de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de la Merced).

Como se puede observar en la tabla 4 los muros laterales tienen una gran diferencia de frecuencias, el muro izquierdo presenta una reducción del 61% con respecto al derecho, esto puede ser por 3 razones:

1. **Daños:** El muro lateral izquierdo presenta fracturas y desprendimiento de material por humedad, a diferencia del derecho en el que solo se observan manchas de humedad.
2. **Estructuras colindantes:** En el costado izquierdo del templo solo hay un apéndice de este mismo y en seguida la calle Mariano Matamoros

Norte, mientras que del lado derecho existen más construcciones que le dan soporte lateral a este costado.

3. **Ambos:** La presencia de los puntos anteriores a la vez.

6.1.2. Templo de San Marcos

En la tabla 5 se presentan las frecuencias y daños en cada elemento estudiado del templo, se puede observar que las frecuencias de estos están alejadas a la del punto de desplante, por lo cual no existe riesgo de resonancia.

Templo de San Marcos							
Elemento	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Frecuencia (Hz)	0.7	9.6	NA	6.1	6.1	11.3	12.5
Daños	NA	Manchas de humedad	NA	Manchas de humedad y fractura detrás del reloj	Manchas de humedad	Manchas de humedad y Grietas	Manchas de humedad

Tabla 5: Frecuencias y daños en el Templo de San Marcos.

En la tabla 6 se muestra una comparación con respecto al muro lateral derecho, expresada como la reducción de frecuencia en porcentaje.

El muro lateral derecho es el elemento más rígido de esta estructura con una frecuencia de 12.5 Hz, únicamente presenta manchas de humedad; la bóveda y el campanario tienen frecuencias de 11.3Hz y 9.6 Hz. respectivamente, una disminución del 9.6 y 23.20% con respecto muro derecho, estos presentan manchas de humedad y grietas en la superficie; el muro frontal e izquierdo tienen una frecuencia de 6.1 Hz, 51.20% por debajo del muro derecho, ambos muestran signos de humedad, sin embargo, el muro frontal está fracturado en la parte superior detrás del reloj (figura 27).

Templo de San Marcos					
Elemento	Muro lateral derecho	Bóveda	Campanario izquierdo	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo
Frecuencia (Hz)	12.5	11.3	9.6	6.1	6.1
Reduccion con respecto a la mejor frecuencia (%)	-----	9.60	23.20	51.20	51.20

Tabla 6: Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de San Marcos).

La diferencia de frecuencias entre los muros laterales es del 51%, siendo el muro derecho el más rígido, esta diferencia de rigidez puede ser por 3 razones:

1. **Estructuras colindantes:** La notaria del templo se encuentra en una construcción colindante que le proporciona mejor apoyo lateral al costado derecho de la estructura, mejorando su frecuencia.
2. **Intervención estructural:** El templo recibió un trabajo de intervención estructural que consta de 7 armaduras de acero recubiertas con concreto, cuyo fin es evitar que los muros se "abran" por los esfuerzos provocados por las bóvedas hacia los costados, es probable que existan daños internos en los muros debidos a estas fuerzas laterales.
3. **Ambos:** los puntos anteriores ocurriendo de manera simultánea en la estructura.

6.1.3. Templo de la Purísima Concepción

Los daños y frecuencias de cada punto estudiado de este templo se muestran en la tabla 7, además se puede observar que las frecuencias de los elementos difieren de la del punto de desplante, por lo cual no existe riesgo de resonancia en la estructura.

Templo de la Purisima							
Elemento	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Frecuencia (Hz)	3.2	3.6	3.8	12.1	12.0	8.1	5.7
Daños	NA	Manchas de humedad y grietas en la base	Manchas de humedad y grietas en la base	Manchas de humedad	Manchas de humedad	Manchas de humedad y grietas	Fractura en zona de coros, grietas y Manchas de humedad

Tabla 7 Frecuencias y daños en el Templo de la Purisima.

Se realizó una comparación de frecuencias entre los elementos del edificio y la diferencia entre estas se expresó en porcentaje (tabla 8).

El elemento con la frecuencia más alta es el muro frontal con 12.1 Hz, este solo presenta manchas de humedad al igual que el muro izquierdo con una frecuencia de 12.0 Hz, una diferencia de 0.83%; la bóveda analizada tiene una frecuencia natural de 8.1 Hz, 33.06% por debajo del muro frontal, este elemento muestra manchas de humedad y grietas; la frecuencia del muro derecho es de 5.7 Hz, 52.89% debajo de la frecuencia más alta, este muro presenta manchas de humedad, grietas y una fractura en la zona de coros (figura 30), por ultimo los campanarios tienen las frecuencias más bajas del edificio con 3.8 y 3.6 Hz, ambos muestran grietas en la conexión con la cubierta y manchas de humedad.

Templo de la Purísima						
Elemento	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho	Campanario derecho	Campanario izquierdo
Frecuencia (Hz)	12.1	12.0	8.1	5.7	3.8	3.6
Reduccion con respecto a la mejor frecuencia (%)	-----	0.83	33.06	52.89	68.60	70.25

Tabla 8: Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo de la Purísima).

El muro lateral derecho presenta una disminución en la frecuencia del 52.5% con respecto al muro izquierdo, las causas de esta diferencia pueden ser 4:

1. **Daños:** La fractura y grietas sobre el muro derecho afectan su rigidez, provocando la discrepancia de frecuencias.
2. **Cercanía con la avenida Alameda y la parada de camiones:** a escasos metros del muro derecho se encuentra una avenida con bastante flujo de automóviles y camiones urbanos, los cuales provocan vibraciones en la estructura al circular, sumado a esto, existe una parada de estos camiones en el lado derecho, lo que expone este elemento a los gases de escape que al reaccionar con sus materiales degradan el material y producen sales expansivas que generan grietas al interior de los muros.
3. **Intervención estructural:** A principios de la década de los 70's este templo fue sometido a una restauración debido a que las bóvedas estaban a punto de colapsar, esto pudo haber inducido esfuerzos laterales a los muros que le generaron daños al costado derecho.
4. **Combinación de factores:** Una combinación de los factores numerados anteriormente afectando al mismo tiempo al muro.

Este edificio es el único de los elegidos que cuenta con 2 torres campanario idénticas, cuyas frecuencias están en 3.8 y 3.6 Hz, una diferencia de 5% lo que indica que ambos elementos se encuentran en condiciones estructurales similares.

6.1.4. Templo del Señor del Encino

Al comparar las frecuencias, mostradas en la tabla 9, de los elementos estudiados en este templo contra la de su punto de desplante puede descartarse algún efecto de resonancia, igualmente en esta tabla se muestran los daños presentes en cada elemento.

Templo del Encino							
Elemento	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Frecuencia (Hz)	1.6	6.9	NA	2.8	6.2	8.0	5.8
Daños	NA	Manchas de humedad	NA	Manchas de humedad	Manchas de humedad	Manchas de humedad y disyuncion de pintura	Manchas de humedad

Tabla 9: Frecuencias y daños en el Templo del Encino.

En la tabla 10 se muestran las frecuencias de cada elemento y su diferencia con respecto a la más alta de ellas en porcentaje.

El elemento con mejor frecuencia natural es la bóveda estudiada con 8.0Hz; el campanario izquierdo y los muros laterales tienen frecuencias de 6.9 Hz, 6.2 Hz y 5.8 Hz respectivamente, diferencias que van desde el 13.75 % hasta el 27.5 %, por último, el muro frontal presenta una frecuencia de 2.8 Hz, 65% por debajo de la bóveda, los elementos mencionados muestran manchas de humedad.

Templo del Encino					
Elemento	Bóveda	Campanario izquierdo	Muro lateral izquierdo	Muro lateral derecho	Muro Frontal
Frecuencia (Hz)	8.0	6.9	6.2	5.8	2.8
Reduccion con respecto a la mejor frecuencia (%)	-----	13.75	22.50	27.50	65.00

Tabla 10: Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Templo del Encino).

Los muros laterales en este templo tienen lecturas de frecuencia semejantes, únicamente 6.5% de diferencia, esto indica que estructuralmente estos elementos se encuentran en condiciones similares.

6.1.5. Parroquia de San José.

Con la información de frecuencias de la tabla 11 se puede descartar el riesgo de resonancia entre los elementos estructurales y el punto de desplante de este templo.

Parroquia de San José							
Elemento	Punto de desplante	Campanario izquierdo	Campanario derecho	Muro Frontal	Muro lateral izquierdo	Bóveda	Muro lateral derecho
Frecuencia (Hz)	9.4	3.2	NA	6.2	6.9	7.1	9.0
Daños	NA	Manchas de humedad	NA	Manchas de húmedas y disyunción de pintura	Manchas de humedad, fracturas, disyunción y ampollas en pintura	Manchas de humedad y disyunción de pintura al interior	Manchas de humedad y disyunción de pintura en zona de altares

Tabla 11: Frecuencias y daños en la Parroquia de San José.

En la tabla 12 se comparan las frecuencia de los elementos de la parroquia de San José, tomando como referencia el muro lateral derecho, el cual tuvo la frecuencia más alta.

El muro lateral derecho tiene una frecuencia de 9.0 Hz, muestra manchas de humedad y disyunción de pintura; la bóveda y el muro izquierdo tienen frecuencias de 7.1 Hz y 6.9 Hz respectivamente, 21.11% y 23.33 % por debajo de la del muro derecho, los daños del primero son machas de humedad y disyunción de pintura, el muro además presenta fracturas en la zona del altar y la entrada (figuras 48 y 49); el muro frontal tiene una frecuencia de 6.2 Hz, una disminución de 31.11% con respecto a la frecuencia mayor, sus daños son por humedad y disyunción de pintura; la frecuencia del campanario es de 3.2 Hz, 64.44% menos que el muro derecho, sus daños al igual que en la mayoría de los elementos son manchas de humedad.

Parroquia de San José					
Elemento	Muro lateral derecho	Bóveda	Muro lateral izquierdo	Muro Frontal	Campanario izquierdo
Frecuencia (Hz)	9.0	7.1	6.9	6.2	3.2
Reduccion con respecto a la mejor frecuencia (%)	-----	21.11	23.33	31.11	64.44

Tabla 12: Comparación de frecuencias con el elemento más rígido (Parroquia de San José).

Realizando la comparación entre los muros laterales se observa que el izquierdo presenta una disminución del 23.33% con respecto al muro derecho, las causas de esta diferencia pueden ser 3:

1. **Estructuras colindantes:** El costado izquierdo de la estructura no colinda con ninguna construcción, mientras que en el lado derecho se encuentran varias edificaciones que le proporcionan soporte lateral, razón por la cual es más rígido.
2. **Daños:** La presencia de fracturas y humedad en varias zonas del muro izquierdo le resta rigidez al elemento.
3. **Ambas:** Los dos puntos anteriores actúan de manera sincrónica ocasionando una disminución en la frecuencia natural del muro izquierdo.

6.2. Por elemento estructural:

En esta sección se discuten los resultados obtenidos de cada templo (tabla 2), comparando las frecuencias de los elementos estructurales similares.

6.2.1. Campanarios:

El campanario del templo de San Marcos es el que tiene mayor frecuencia con 9.6 Hz, por el contrario, el del Templo de la Merced es él tiene la menor con 2.1 Hz, una reducción del 78 %, ambas torres son similares en dimensiones, el material con el que están construidas es cantera y tienen solamente un entrepiso donde se llevó a cabo la medición, sin embargo, la forma interior y las vigas que sirven de soporte para la campana principal y el entrepiso son diferentes, como se puede observar en la figura 10 la torre del templo de San Marcos es redonda en su parte interior y tiene una mayor cantidad de vigas, estas dan mayor rigidez al elemento, además la torre del templo de la merced presenta fracturas en su base (figura 21).



Figura 10: Interior de la torre campanario del templo de San Marcos (izquierda) y la Merced (derecha).

6.2.2. Muros frontales:

El muro frontal del templo de la Purísima tiene la mejor frecuencia fundamental de los edificios estudiados con 12.1 Hz, el del templo del Encino tiene la más baja con 2.8 Hz, 76% menor al de la Purísima, en ambos casos muestran únicamente manchas de humedad y sus dimensiones son similares, no obstante el templo de la Purísima posee 6 columnas en la fachada: 2 a los costados de la puerta principal y 2 en cada una de las torres campanario, por el contrario el Templo del Encino solo cuenta con 2 columnas a los costados de la puerta (figura 11), además este último solo tiene un campanario del lado izquierdo, permitiendo mayores desplazamientos y frecuencias bajas.



Figura 11: Fachadas del templo del Encino (izquierda) y la Purísima (derecha).

6.2.3. Muro lateral izquierdo:

El muro izquierdo del templo de la Purísima tiene la mayor frecuencia con 12.0 Hz, mientras que el Templo de la Merced la menor con 2.0 Hz., esta diferencia puede ser explicada por las fracturas que se encuentran en el interior del muro izquierdo (figura 18) y al sistema estructural por columnas de la Merced, a diferencia del templo de la Purísima cuya estructura presenta mayor rigidez debido al sistema estructural de contrafuertes (figura 12).



Figura 12: Muro izquierdo del Templo de la Merced (izquierda) y de la Purísima (derecha).

6.2.4. Bóveda:

Los daños en las bóvedas son por manchas de humedad y algunas grietas, en 4 de los 5 templos tienen frecuencias entre los 6 y los 8 Hz. a excepción del templo de San Marcos con 11.3 Hz., en el caso de estos elementos en lugar de una disminución de la frecuencia por daños y deterioros se trata de un aumento en este último templo debido al trabajo estructural (figura 13) al cual fue sometido, este se encarga de tirar de los muros hacia las bóvedas, aumentando la rigidez de estas.



Figura 13: Trabajo de intervención estructural en la cubierta del templo de San Marcos.

6.2.5. Muro lateral derecho:

El muro lateral derecho del templo de San -Marcos tiene una frecuencia de 12.5 Hz, la mejor en todos los templos, mientras que el templo que tiene la frecuencia más baja es el de la Merced con 5.2 Hz, ambos templos muestran

manchas de humedad en este elemento, los daños no son significativos, la diferencia de rigidez entre estos dos se puede explicar por el tipo de estructura para resistir los empujes laterales, mientras que en el de la Merced los muros solo tienen columnas, el de San Marcos esta reforzado con un sistema de arbotantes y contrafuertes (figura 14) que soportan los empujes laterales y le dan estabilidad a el elemento.



Figura 14: Sistemas estructurales en el Templo de San Marcos (izquierda) y la Merced (derecha).



CAPÍTULO

VII

CONCLUSIONES

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

En general el problema que presentan los templos visitados es debido a la humedad del subsuelo, la cual es absorbida por los muros, que al ser de materiales porosos rápidamente permiten que suba por capilaridad generando manchas de humedad, eflorescencias y desprendimiento de material, algunos templos presentan daños más graves como grietas y fracturas. Estos son algunos de los factores que contribuyen a un cambio en la frecuencia fundamental de las estructuras.

El templo que tiene mejor comportamiento según las frecuencias encontradas es el de San Marcos, principalmente en el muro derecho, bóveda y campanario, por lo que se puede decir que el trabajo estructural que fue realizado si está ayudando a la rigidez del edificio, el muro frontal y el muro izquierdo son los que menor frecuencia fundamental tienen, en el caso de la fachada se puede atribuir a la fractura que se observa en la parte superior detrás del reloj, sin embargo, no se aprecia ningún motivo por el cual el muro izquierdo tenga esa frecuencia, es conveniente realizar un estudio más a fondo para detectar posibles daños no visibles en ese elemento.

El templo de la Purísima es el que físicamente se encuentra en mejores condiciones, tiene frecuencias altas en el muro frontal, muro izquierdo y bóvedas, las cuales coinciden con el estado del edificio, sin embargo a pesar de no tener daños grandes, incluso la humedad no es un problema serio, el muro lateral derecho y los campanarios tienen frecuencias menores a las esperadas, esto puede ser consecuencia de la cercanía que tiene el muro a la av. Alameda, la cual es muy transitada por automóviles y camiones urbanos, es recomendable revisar que no estén ocasionando un problema de resonancia en estos elementos. Las torres campanario de este templo tienen frecuencias muy parecidas, pero son demasiado bajas tomando en cuenta que son las torres más robustas que se analizaron, se recomienda realizar un estudio más a fondo para encontrar posibles daños en la base de estas.

En el templo del encino las frecuencias están en un rango aceptable, a excepción del muro frontal, esto puede ser por una mayor exposición a la humedad del jardín que se encuentra enfrente ya que no se observan daños en

la estructura, la diferencia de frecuencias entre los muros laterales se atribuye a que del lado izquierdo del templo se encuentra la sacristía y los nichos, que le dan soporte lateral de la parte central hacia el frente; a diferencia del lado derecho, donde se encuentra una edificación que únicamente da soporte a una parte trasera del edificio estudiado.

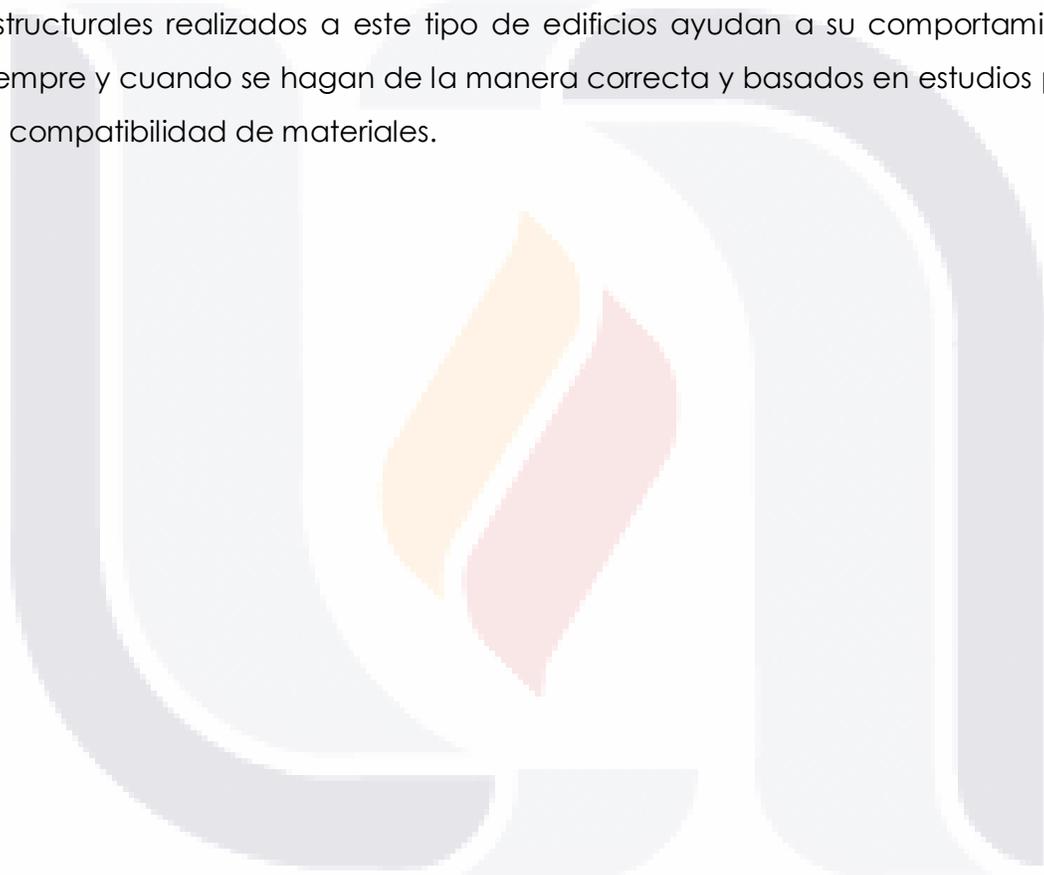
El muro frontal del templo de la Merced es el único que tiene una frecuencia alta en esta estructura, siendo este el que menos daños tiene por humedad, por el contrario el muro lateral izquierdo y el campanario (que se encuentra del mismo lado) tienen las frecuencias más bajas, justo en este edificio se observan fracturas y degradación de materiales por humedad, factores que influyen en la rigidez del elemento, además en ese costado del templo hay menos construcciones aledañas que le den soporte lateral, influyendo también en el comportamiento de la estructura, se recomienda realizar estudios para conocer el origen de la fractura en el muro izquierdo y descartar un posible caso de hundimiento diferencial por subsidencia.

La Parroquia de San José se considera como el caso de estudio con mayores daños por humedad y fracturas, sin embargo las mediciones arrojaron valores de frecuencia aceptables, que no reflejan el estado físico de este templo, esto puede indicar que la humedad solamente es superficial, para lo cual se recomienda mejorar la ventilación del edificio, por otro lado las fracturas presentes en el interior no dañan elementos estructurales importantes, es necesario realizar estudios para conocer el origen de las fracturas y prescindir de la existencia de hundimiento diferencial por subsidencia.

Observando las tablas 2,3 y 4 es evidente que en el Templo de la Merced, San Marcos y la Purísima la existencia de eflorescencias, grietas y fracturas da lugar a una baja frecuencia en los elementos, es importante recordar que las eflorescencias provocan pequeñas grietas en el material y estas junto con las fracturas son consideradas discontinuidades que alteran directamente el comportamiento estructural de un elemento, en el Templo del Encino y la Parroquia de San José no se observa una clara relación entre los daños y el comportamiento estructural del edificio, sin embargo es importante tener en cuenta los factores externos como lo son la cantidad, ubicación y altura de las

construcciones colindantes, ya que estas alteran la rigidez lateral de las estructuras estudiadas, en el caso de estos dos últimos templos el que no exista una relación de los daños con el comportamiento estructural se atribuye a que existen edificaciones a un costado, mejorando o perjudicando el comportamiento estructural de los templos estudiados.

Puede concluirse que los daños y deterioros afectan al comportamiento estructural de los edificios históricos, pero es importante tomar en cuenta factores externos y vicios ocultos en la estructura, también los trabajos estructurales realizados a este tipo de edificios ayudan a su comportamiento siempre y cuando se hagan de la manera correcta y basados en estudios para la compatibilidad de materiales.





Anexo A Descripción de daños y deterioros presentes

A.1 Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)

Al interior del templo se observan daños en los muros (principalmente en el muro izquierdo) causados por humedad (Figura 6 y 7), la cual va desde el desprendimiento de la pintura hasta desprendimiento de material (Figura 8) y grietas (Figura 9), de igual forma en la parte interior de las bóvedas y cúpula central se observan daños por humedad.



Figura 15: Humedad y grietas superficiales en muro interno de fachada principal.

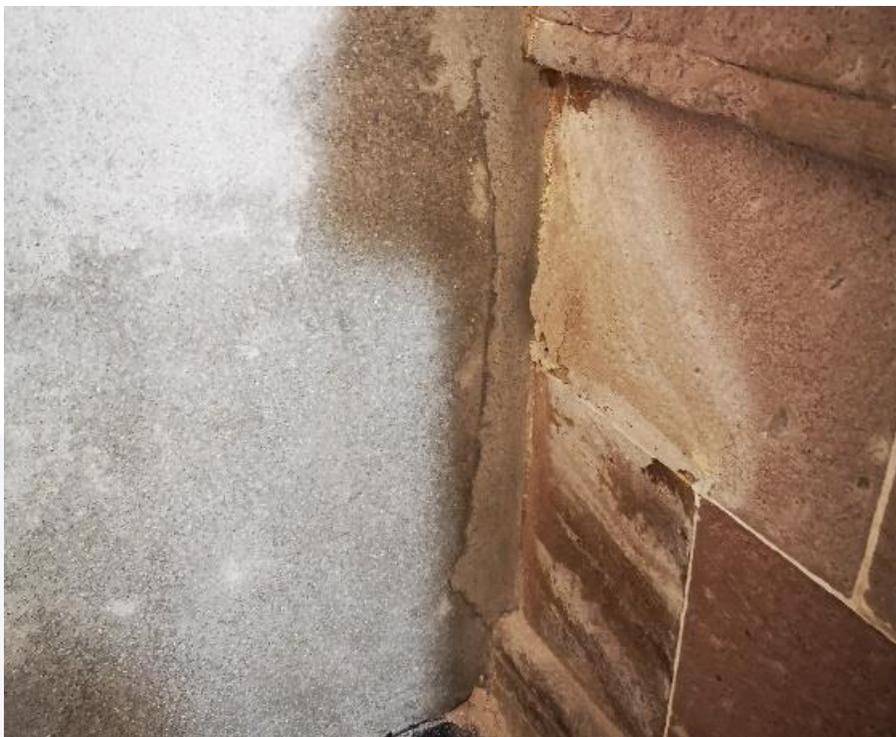


Figura 16: Eflorescencia en muro del altar.



Figura 17: Desprendimiento de material en muro lateral izquierdo debido a humedad.



Figura 18: Grietas en muro lateral izquierdo

En el techo de la estructura se observan daños por humedad (Figura 10 y 11) donde la mampostería está expuesta, así como pérdida de material y grietas (Figura 12) principalmente en muros, además de depósitos de guano de ave principalmente en el campanario.



Figura 19: Manchas de humedad en muro Frontal-campanario.



Figura 20: Manchas de humedad en Azotea.



Figura 21: Perdida de material, enmugrecimiento, guano de ave y grietas en torre campanario.

A.2 Templo de San Marcos

Al interior del edificio se observan pocos daños por humedad (Figuras 13, 14 y 15), principalmente en la parte de los coros, así como una grieta en la bóveda de esta misma área (Figura 16).



Figura 22: Humedad y enmugrecimiento en muro lateral.

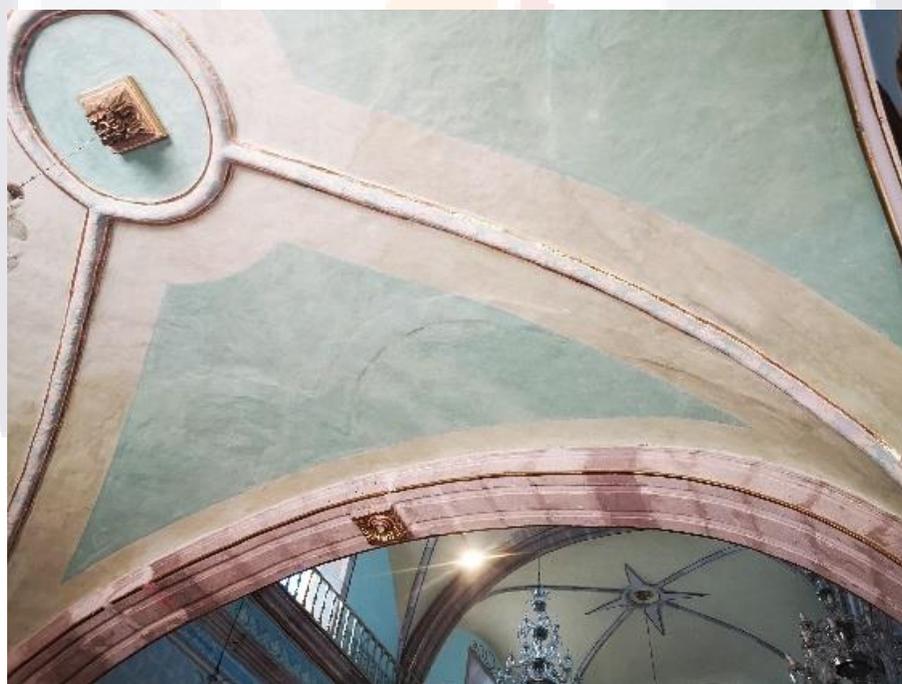


Figura 23: Humedad en bóveda de coros.



Figura 24: Humedad en bóveda de coros.



Figura 25: Grieta en bóveda de coros

En el techo se observan daños por humedad (Figura 17), además de una grieta en el muro del reloj (Figura 18). También, es visible un trabajo de intervención estructural (Figura 19) para dar soporte lateral a los muros del templo, el cual consiste en 8 armaduras sobre las 3 bóvedas frontales con

recubrimiento de concreto, la mayoría presenta desprendimiento parcial de este, así como un grado avanzado de corrosión del acero (Figura 20).



Figura 26: Daños por humedad en azotea.



Figura 27: Grieta en muro de reloj.

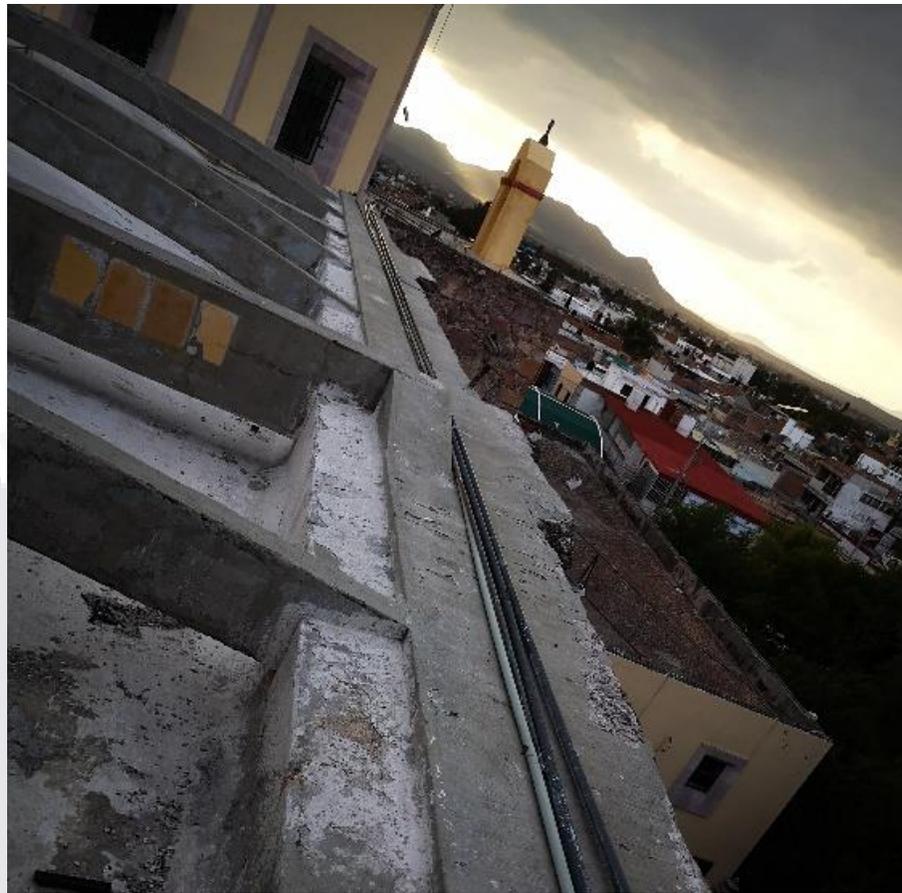


Figura 28: Trabajo de intervención estructural.



Figura 29: Armaduras oxidadas sin recubrimiento.

A.3 Templo de la Purísima Concepción

Al interior se observan daños por humedad y desprendimiento de material en la bóveda y muros de los coros (Figura 21), el resto del templo se encuentra en buenas condiciones, se aprecian renovaciones de juntas en la mampostería (Figura 22) y mantenimiento a humedad en las demás bóvedas (Figura 23).



Figura 30: Desprendimiento de material en muro de coros.

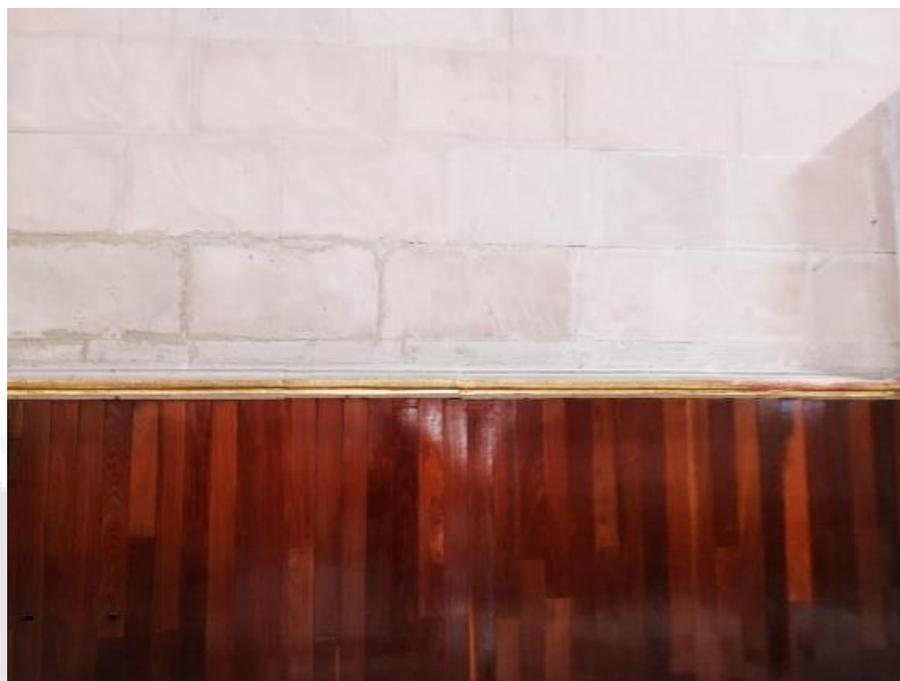


Figura 31: Renovación de juntas en mampostería.

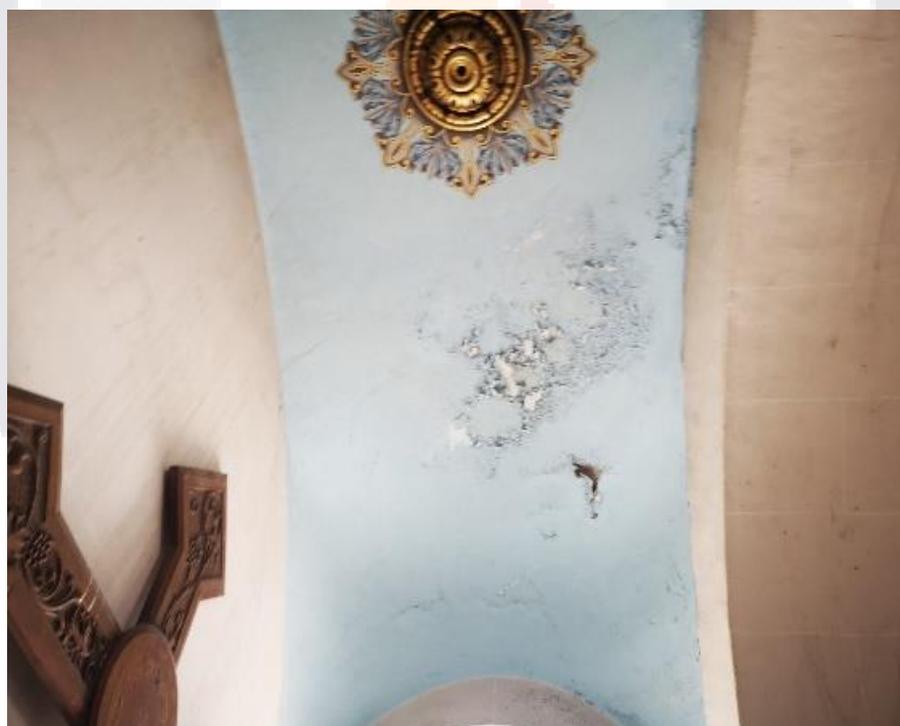


Figura 32: Humedad en bóveda.

En el techo se aprecian manchas de humedad, colonización biológica por algas y eflorescencias en la mayor parte de las bóvedas y muros, falta de

impermeabilización y mantenimiento (Figura 24, 25 y 26)., los campanarios presentan manchas de humedad, eflorescencias y grietas (Figura 27 y 28).



Figura 33: Manchas de humedad en bóvedas.



Figura 34: Manchas de humedad y mantenimiento viejo en bóvedas.



Figura 35: Manchas de humedad, eflorescencias y colonización biológica en bóvedas y muros.



Figura 36: Manchas de humedad y eflorescencias en la torre campanario.



Figura 37: Grietas en la base de los campanarios.

A.4 Templo del Señor del Encino

El interior se encuentra en buenas condiciones, con pocas señales de humedad principalmente en la cúpula central (Figura 29, 30 y 31) y leves agrietamientos en muros de vitrales (Figura 32).

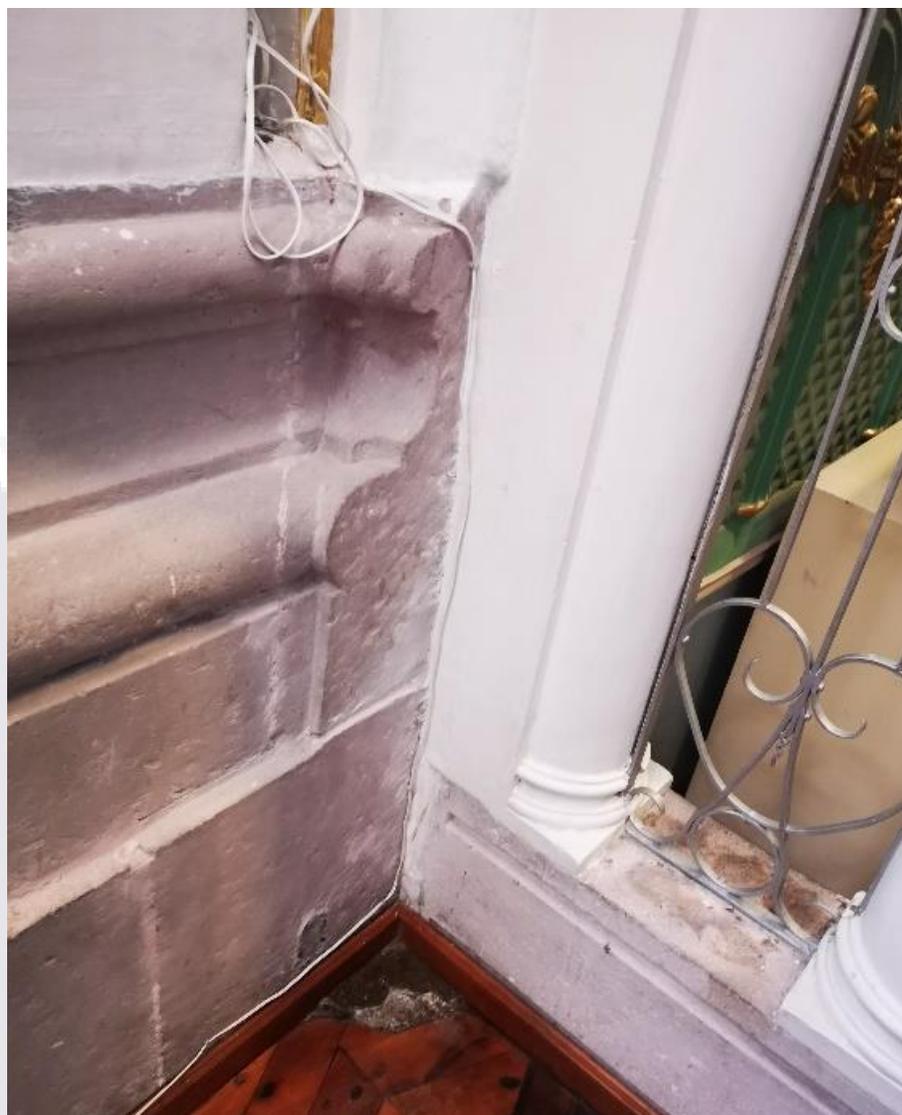


Figura 38: Eflorescencia en muro lateral.



Figura 39: Ampollas en pintura debidas a humedad en muro lateral.



Figura 40: Disyunción de pintura en Cúpula principal por humedad.



Figura 41: Grieta en muro de vitral.

En el techo se aprecian manchas de humedad y eflorescencia en las bóvedas y muros (Figura 33 y 34), agrietamiento en la cúpula central y falta de impermeabilizante y mantenimiento (Figura 35 y 36).



Figura 42: Manchas de humedad y eflorescencia en muro lateral.



Figura 43: Manchas de humedad en muro de fachada principal.



Figura 44: Grietas en cúpula central.



Figura 45: Humedad y falta de impermeabilizante en bóvedas.

A.5 Parroquia de San José.

Al interior se aprecian daños por humedad en los muros y altares (Figura 37), presencia de eflorescencias y deterioro de material, en la bóveda y muro izquierdo se observan fracturas y pérdida de material (Figura 38, 39 y 40).



Figura 46: Humedad y eflorescencias en altar lateral.

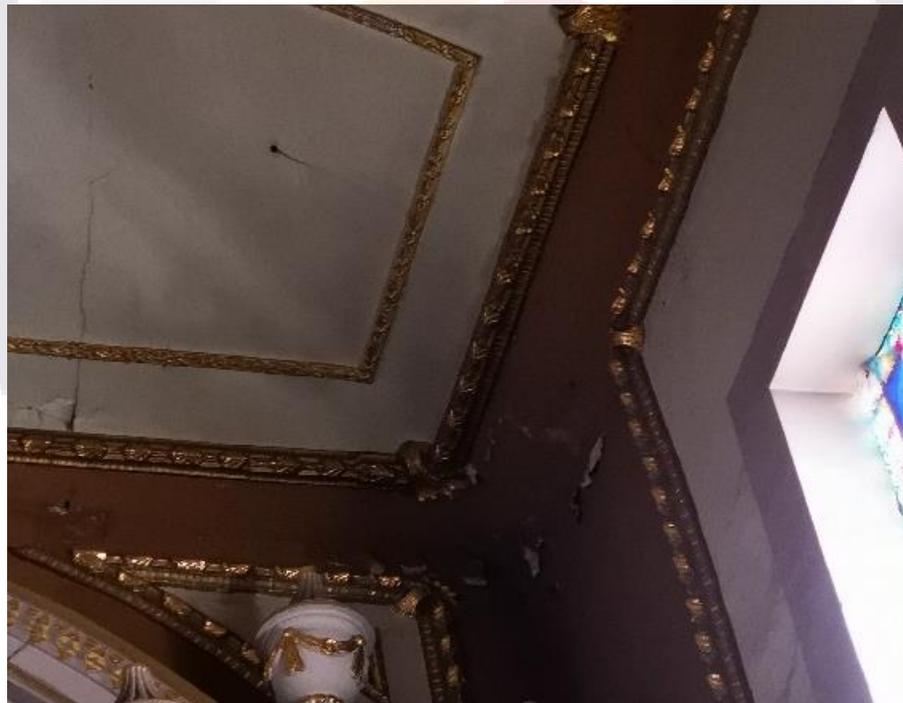


Figura 47: Grietas y disyunción de pintura debida a humedad en bóveda de altar principal.



Figura 48: Fractura y perdida de material muro izquierdo (altar).



Figura 49: Fractura y perdida de material muro izquierdo

En el techo se observa un poco de humedad, el impermeabilizante está en buenas condiciones en casi toda el área y la pintura de la cúpula está en buenas condiciones (Figura 41 y 42).



Figura 50: Buen estado de bóvedas y cúpula.

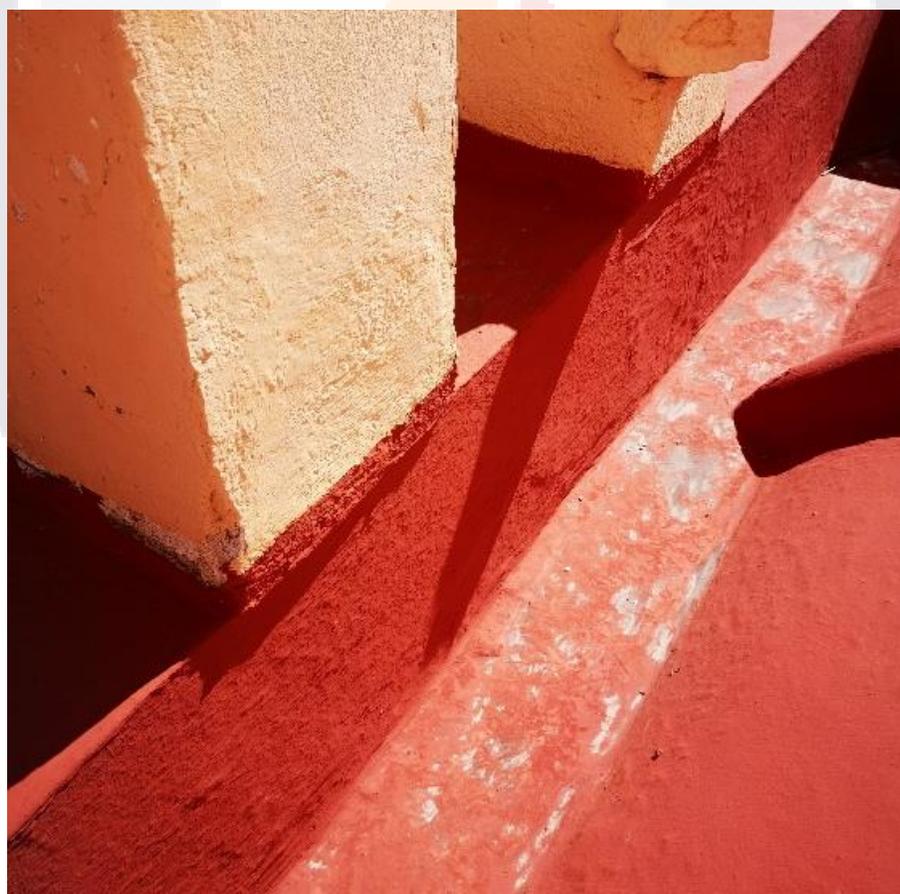


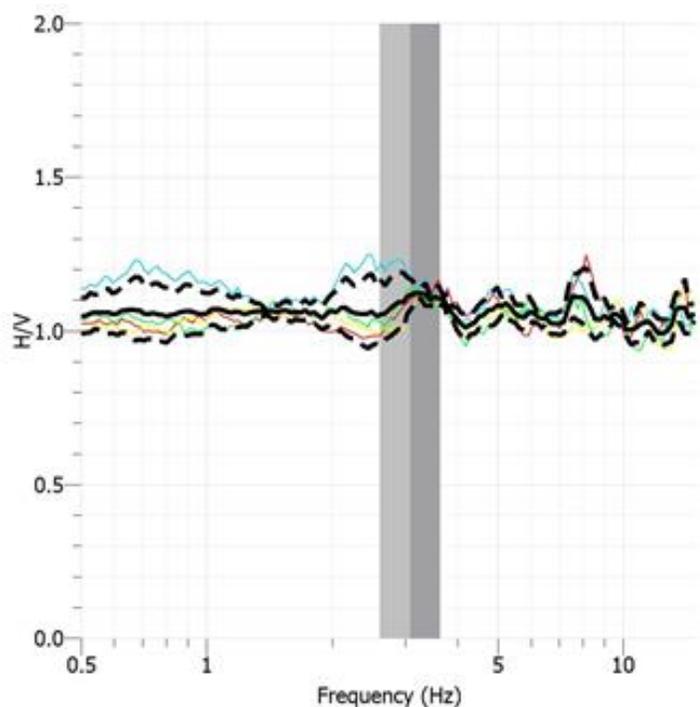
Figura 51: Deterioro en impermeabilizante.



Anexo B Graficas de resultados del análisis H/V

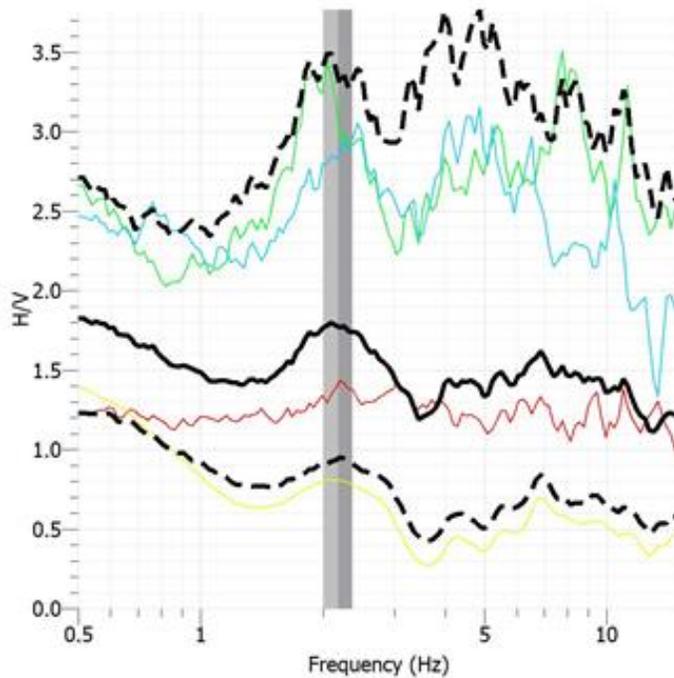
B.1 Templo de Nuestra Señora del Rosario (De la merced)

- Punto de desplante



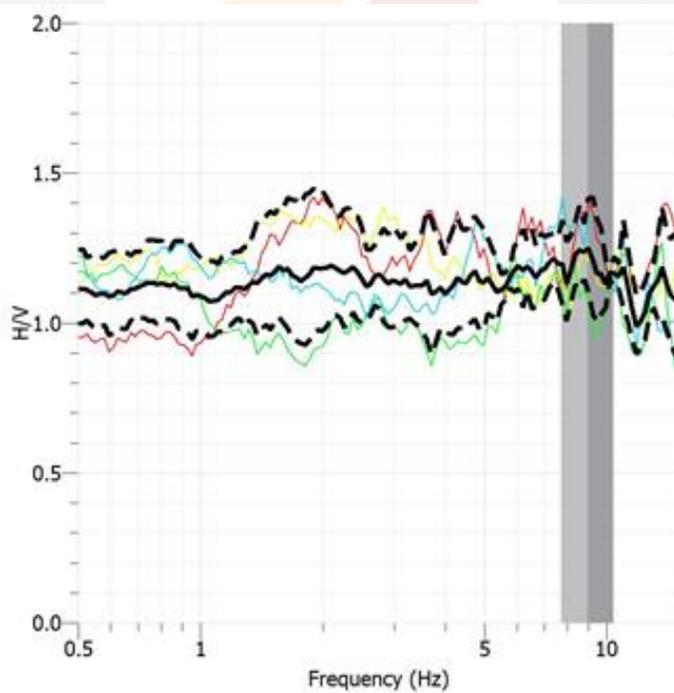
Gráfica 1: Frecuencia dominante del punto de desplante del Templo de "la Merced".

- Campanario



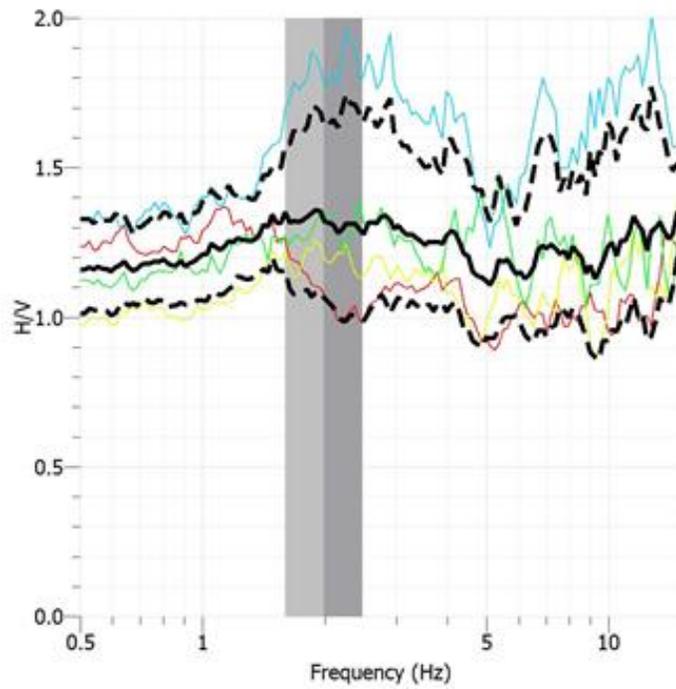
Gráfica 2: Frecuencia dominante del campanario.

- **Muro frontal**



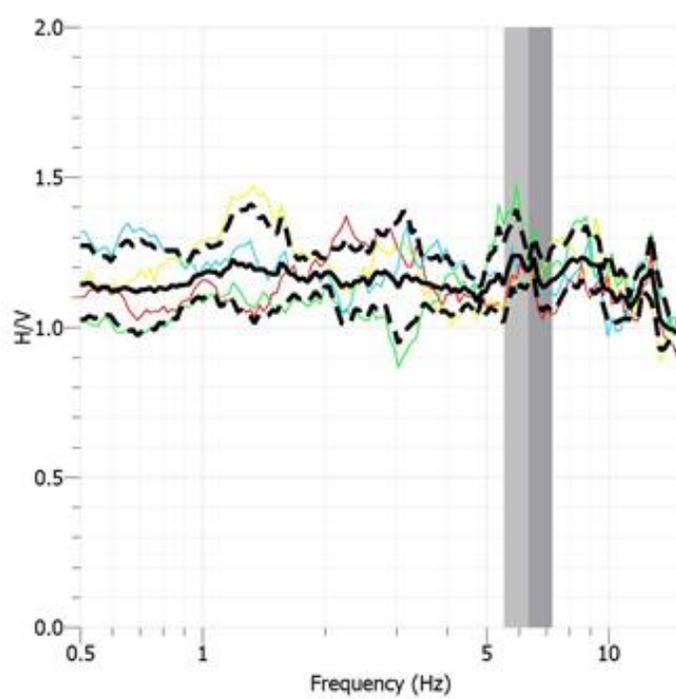
Gráfica 3: Frecuencia dominante del muro frontal

- **Muro lateral izquierdo**



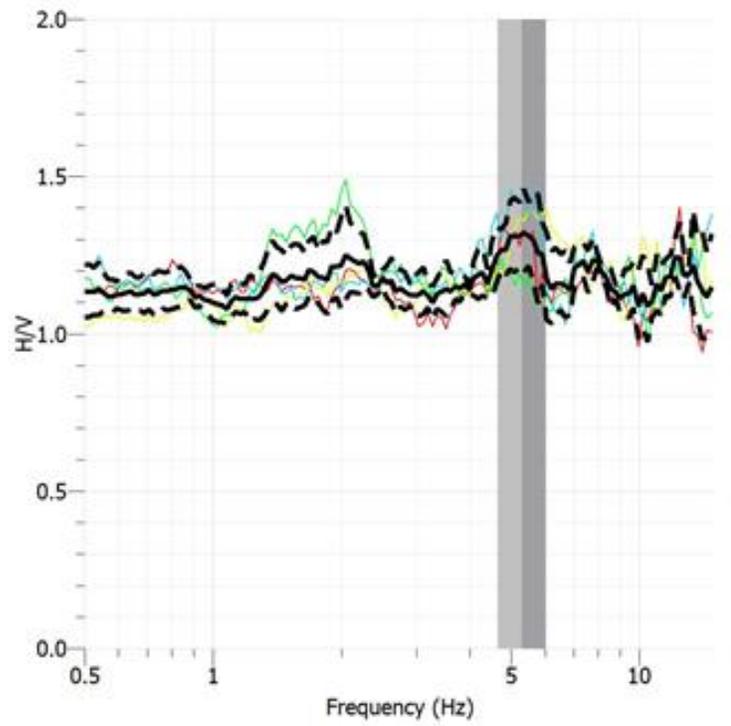
Gráfica 4: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo

- **Bóveda**



Gráfica 5: Frecuencia dominante de bóveda

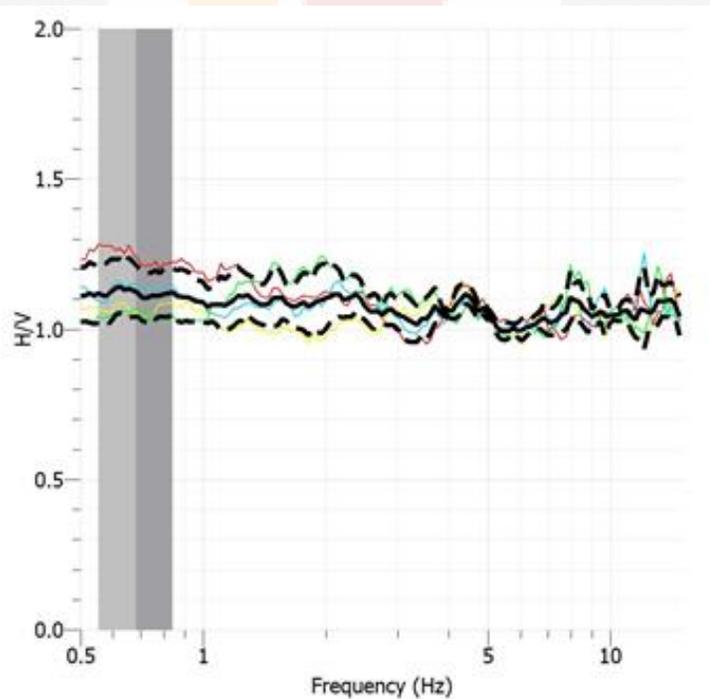
- **Muro lateral derecho**



Gráfica 6: Frecuencia dominante del muro lateral derecho

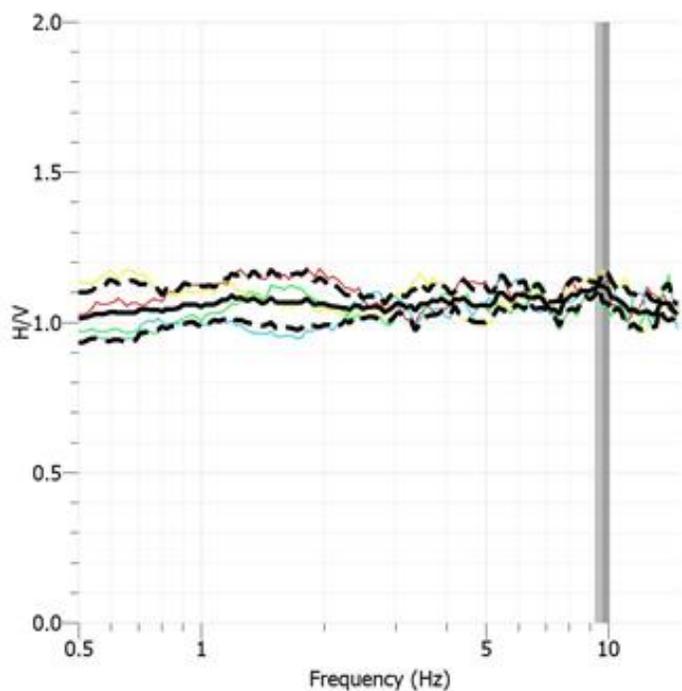
B.2 Templo de San Marcos

- Punto de desplante



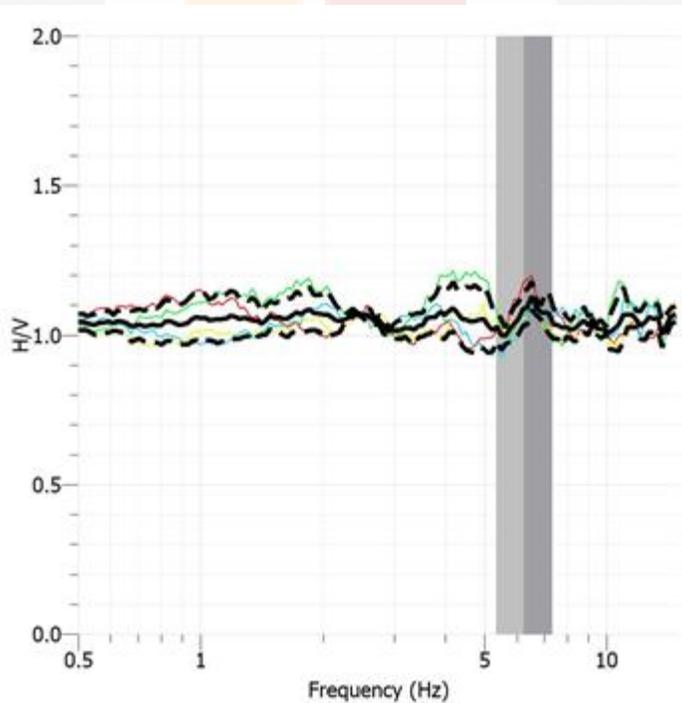
Gráfica 7: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo de San Marcos.

- Campanario



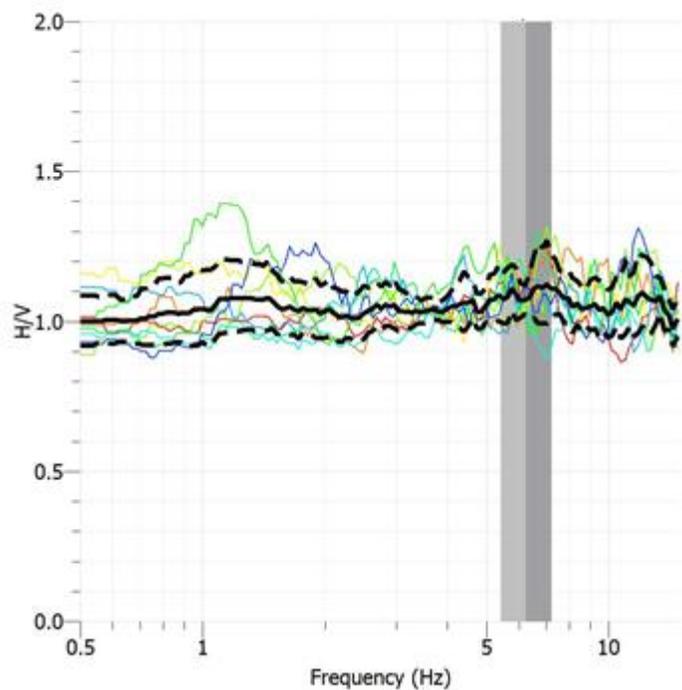
Gráfica 8: Frecuencia dominante del campanario.

- Muro frontal



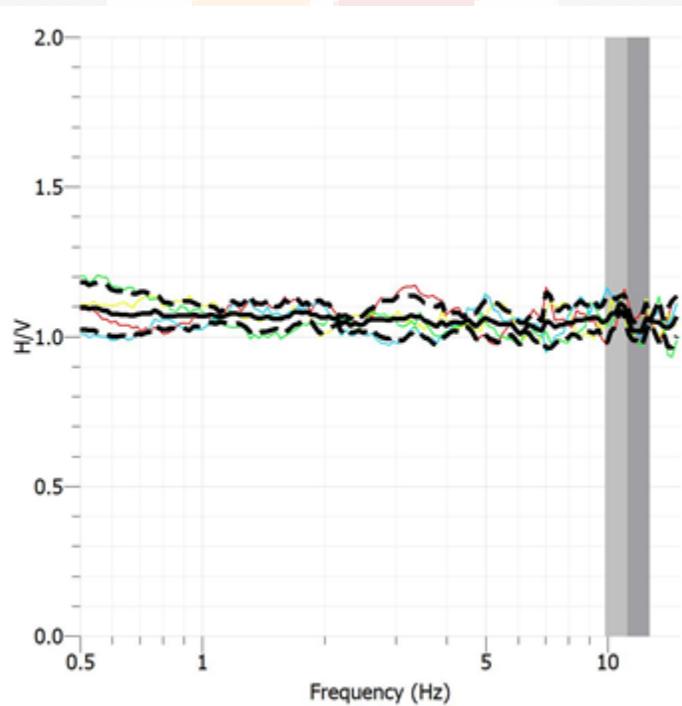
Gráfica 9: Frecuencia dominante del muro frontal

- Muro lateral izquierdo



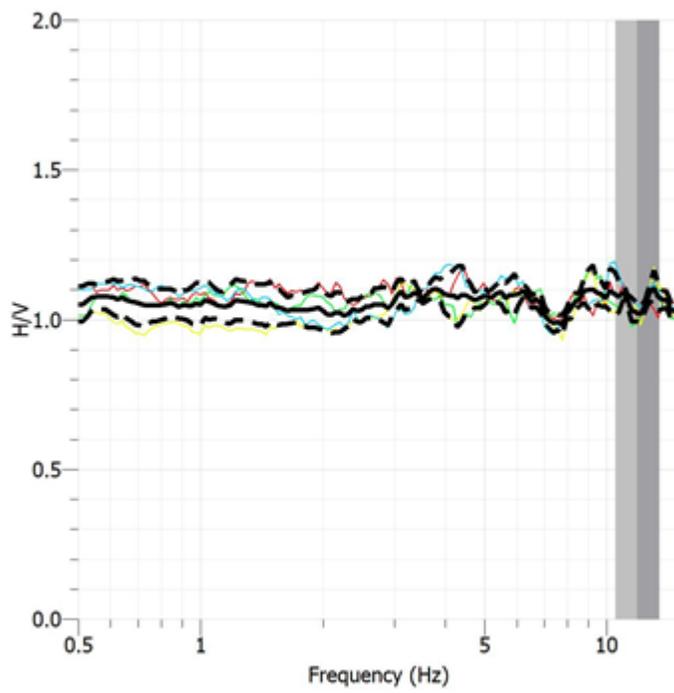
Gráfica 10: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo.

- **Bóveda**



Gráfica 11: Frecuencia dominante de bóveda.

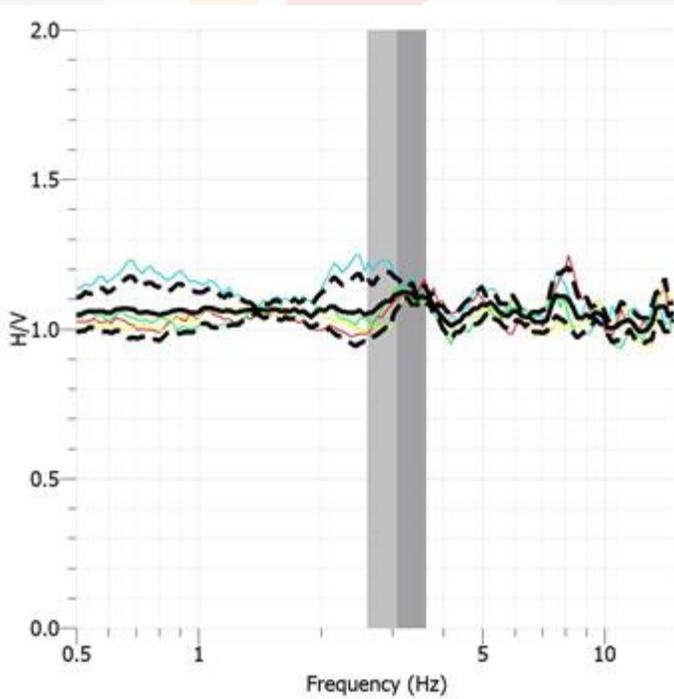
- **Muro lateral derecho**



Gráfica 12: Frecuencia dominante del muro lateral derecho.

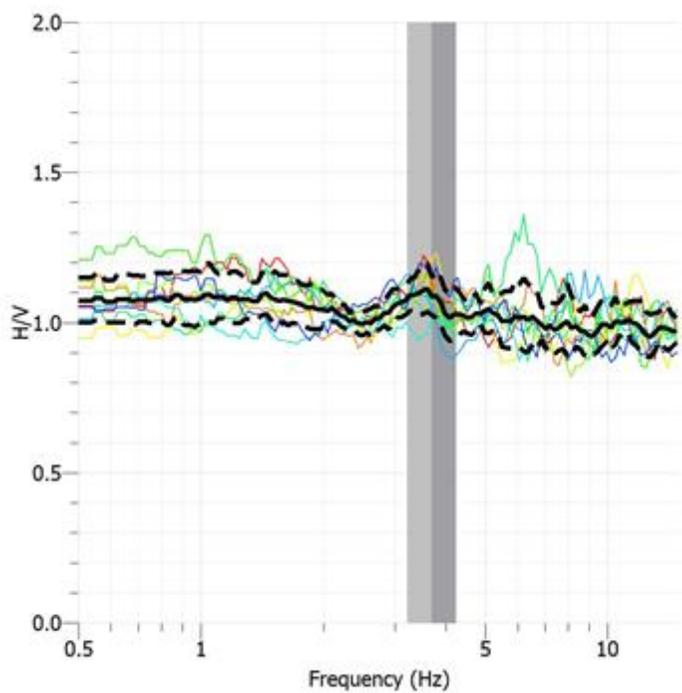
B.3 Templo de la Purísima Concepción

- Punto de desplante



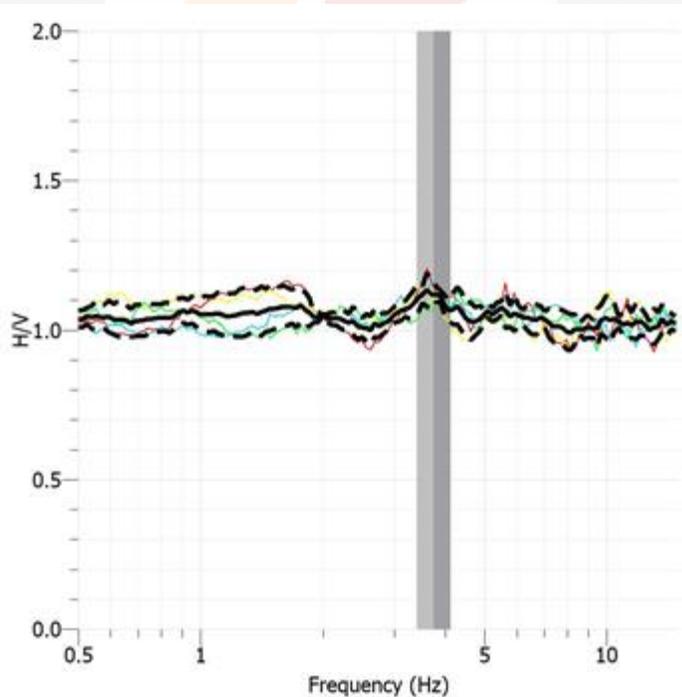
Gráfica 13: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo de "la Purísima".

- Campanario izquierdo



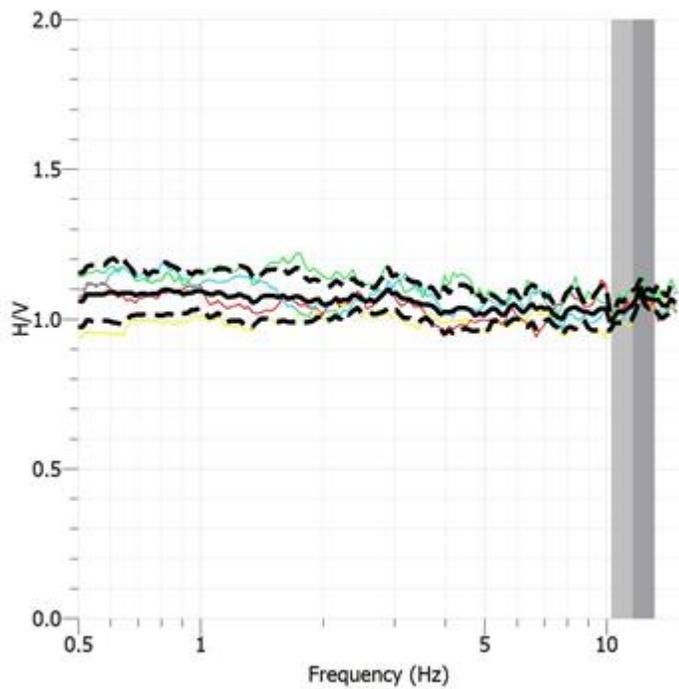
Gráfica 14: Frecuencia dominante del campanario izquierdo.

- Campanario derecho



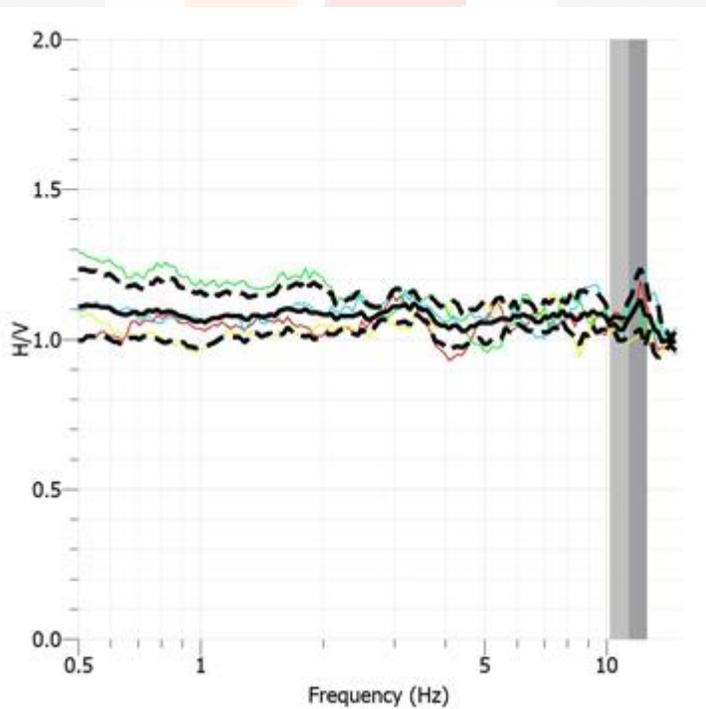
Gráfica 15: Frecuencia dominante del campanario derecho.

- Muro frontal



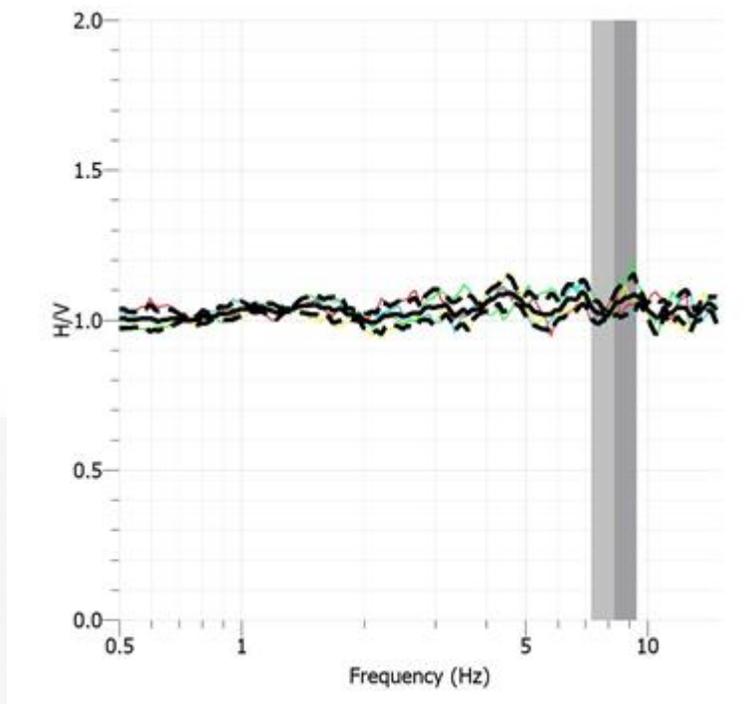
Gráfica 16: Frecuencia dominante del muro frontal.

- **Muro lateral izquierdo**



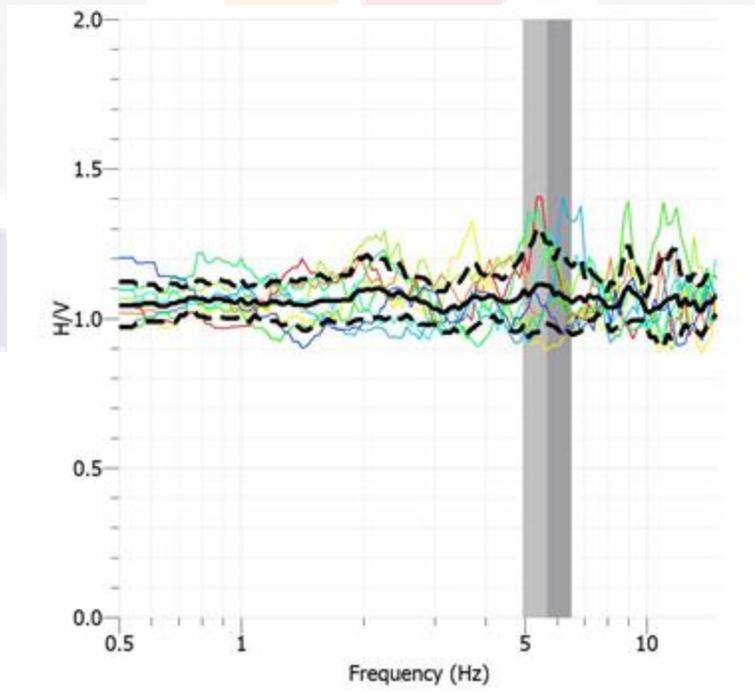
Gráfica 17: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo.

- **Bóveda**



Gráfica 18: Frecuencia dominante de bóveda.

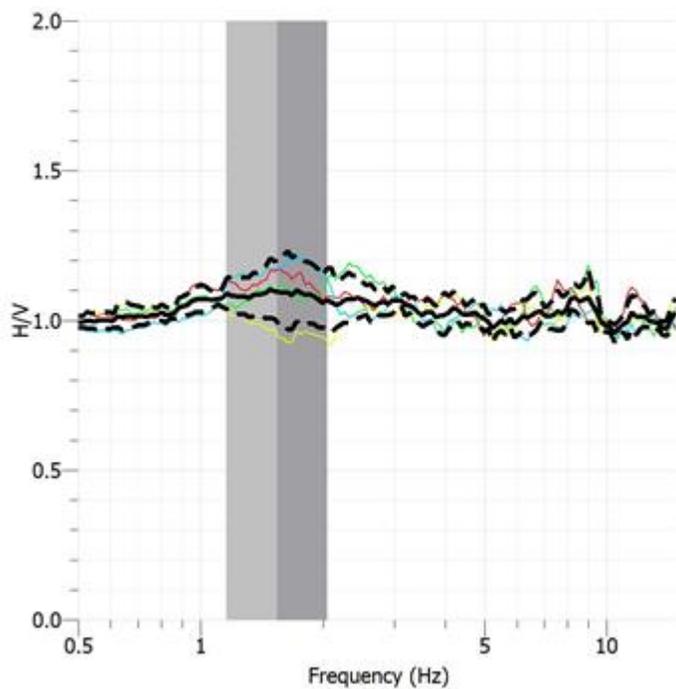
- **Muro lateral derecho**



Gráfica 19: Frecuencia dominante del muro lateral derecho.

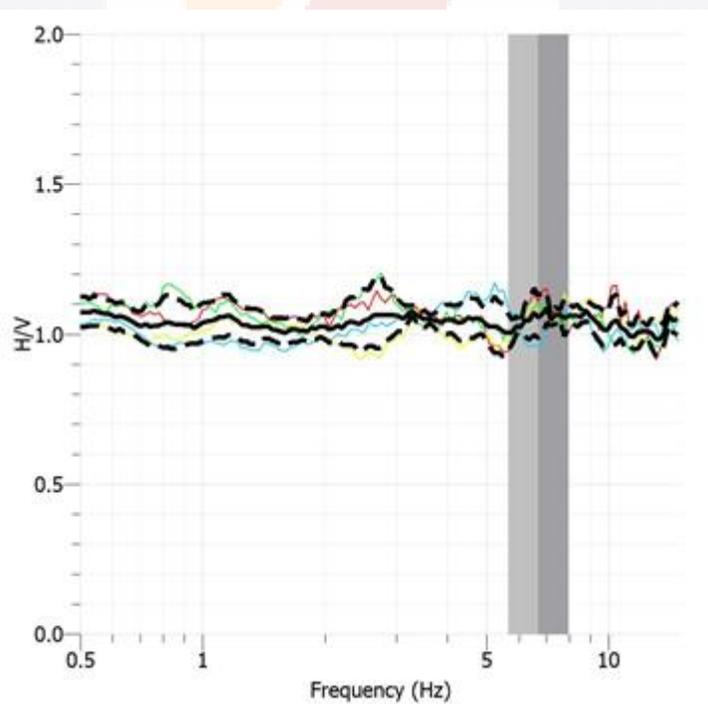
B.4 Templo del Señor del Encino

- Punto de desplante



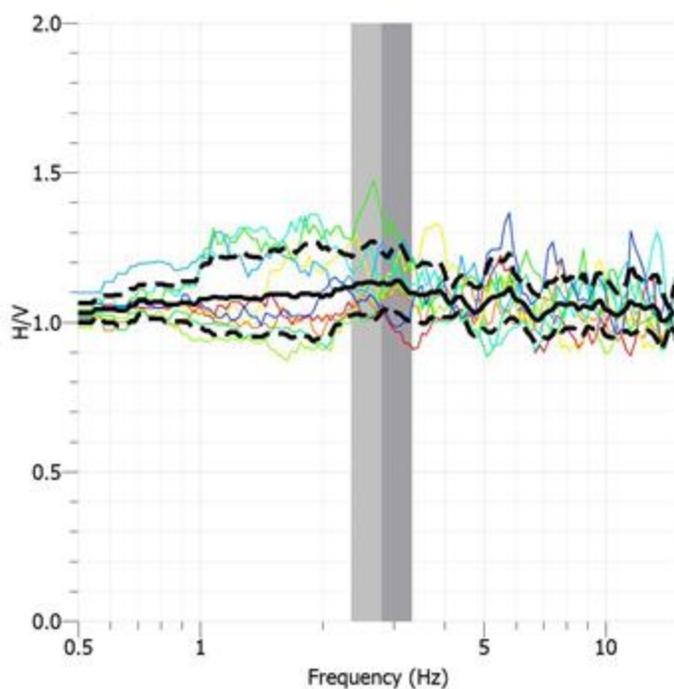
Gráfica 20: Frecuencia dominante del punto de desplante del templo del "Encino"

- Campanario



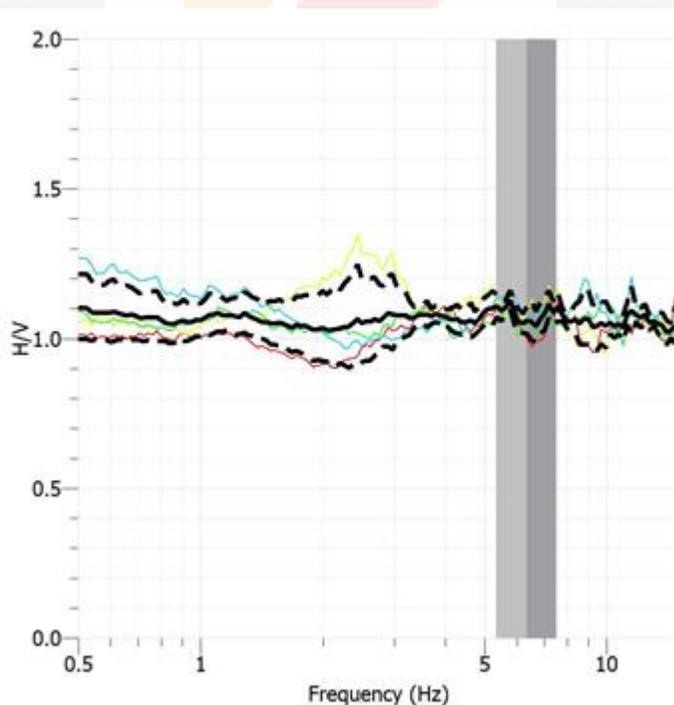
Gráfica 21: Frecuencia dominante del campanario.

- **Muro frontal**



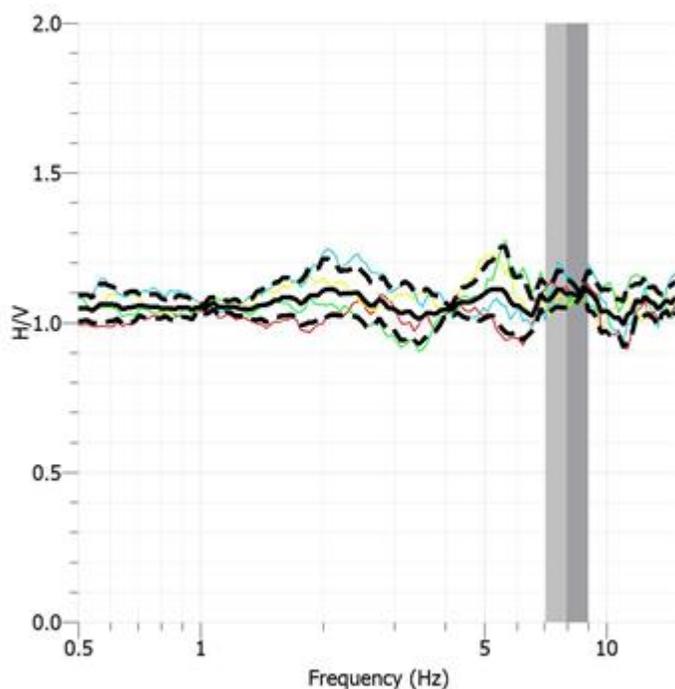
Gráfica 22: Frecuencia dominante del muro frontal.

- **Muro lateral izquierdo**



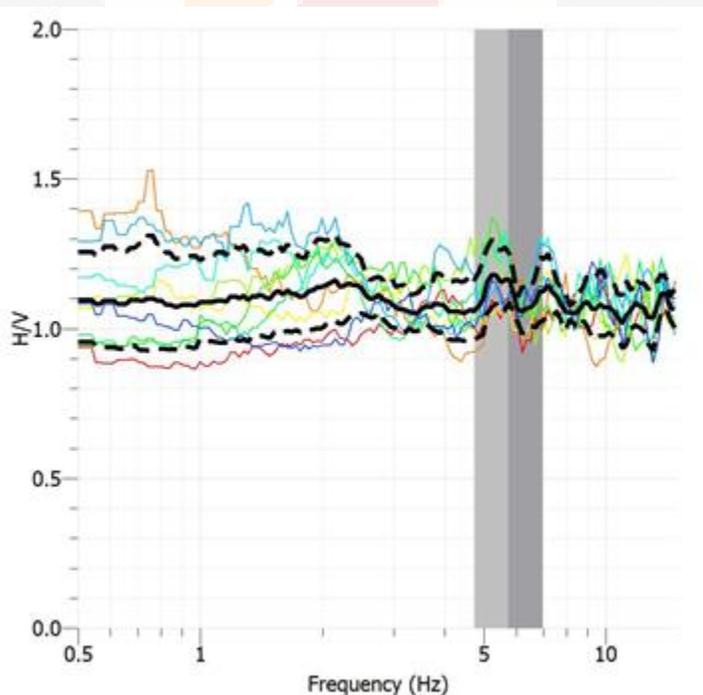
Gráfica 23: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo.

- **Bóveda**



Gráfica 24: Frecuencia dominante de bóveda.

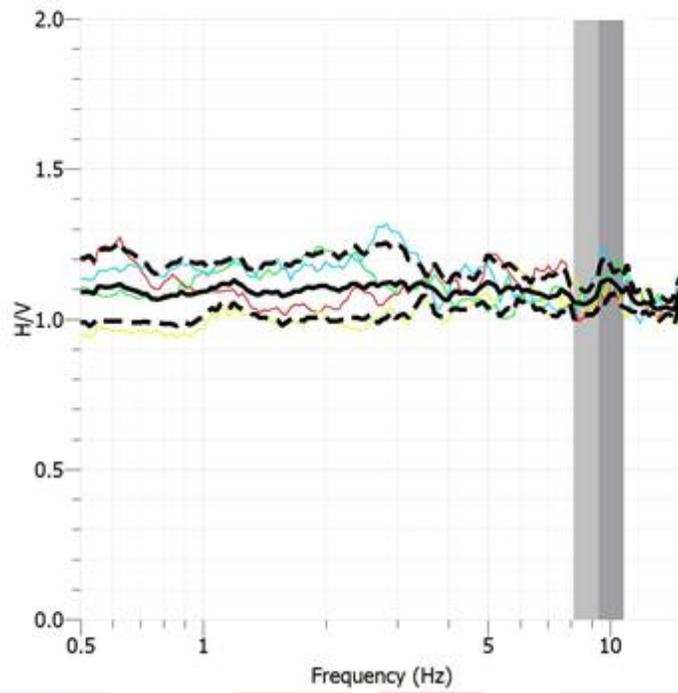
- **Muro lateral derecho**



Gráfica 25: Frecuencia dominante del muro lateral derecho.

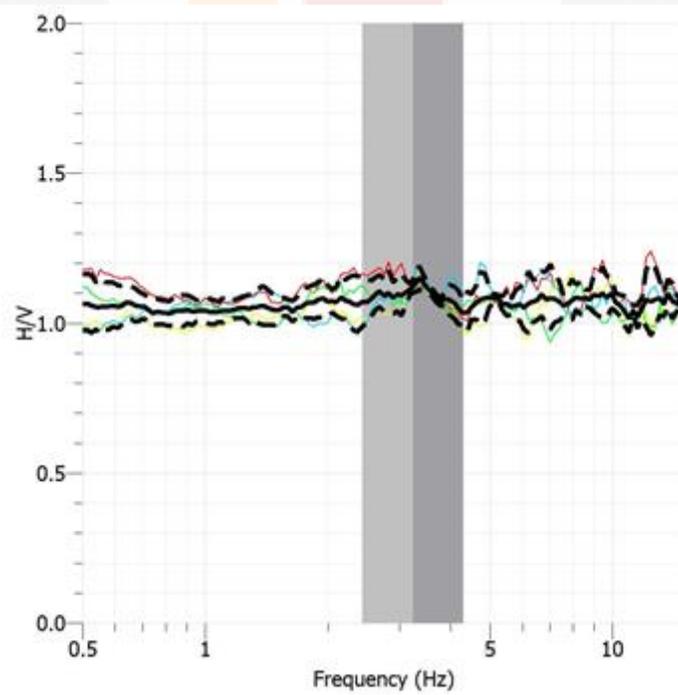
B.5 Parroquia de San José.

- Punto de desplante



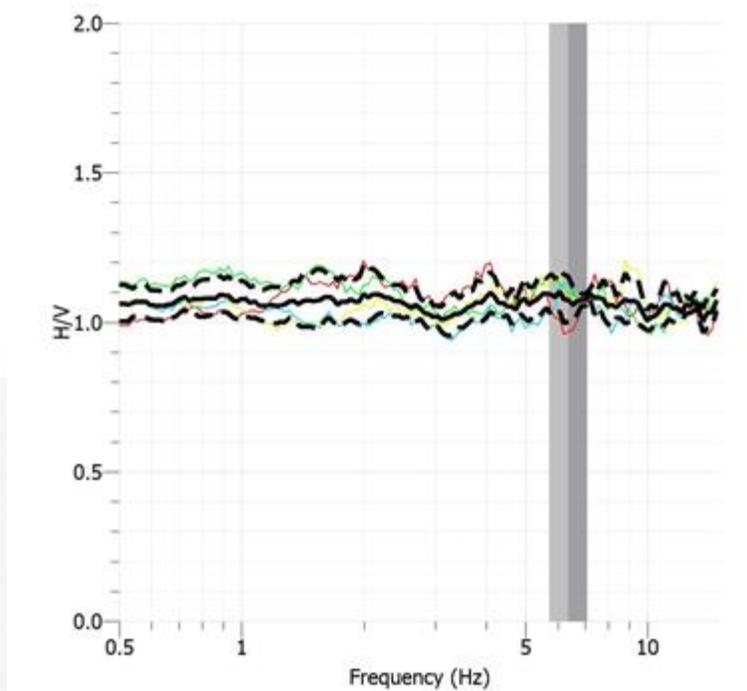
Gráfica 26: Frecuencia dominante del punto de desplante de la parroquia de San José.

- Campanario



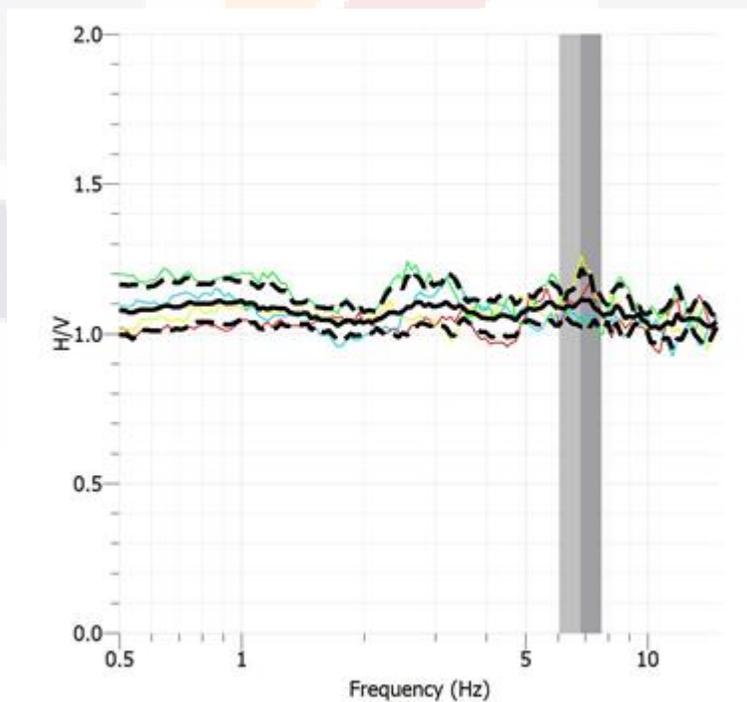
Gráfica 27: Frecuencia dominante del campanario.

- **Muro frontal**



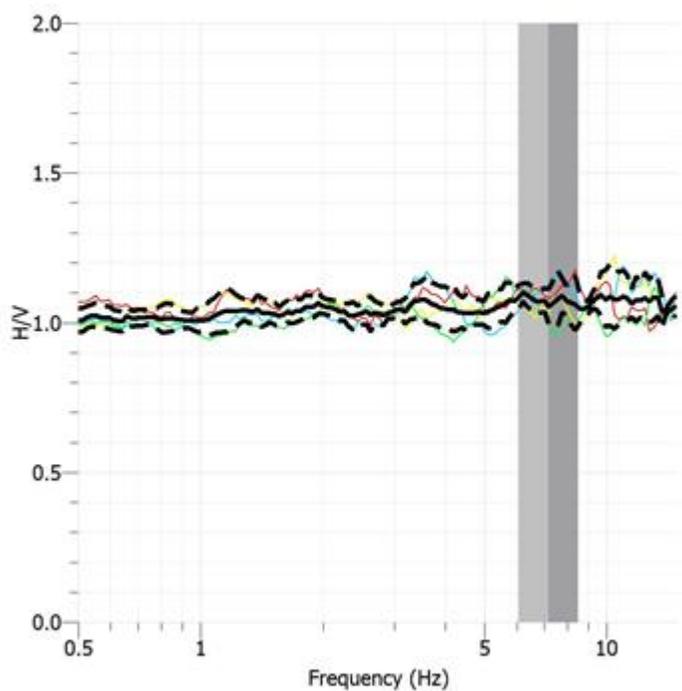
Gráfica 28: Frecuencia dominante del muro frontal.

- **Muro lateral izquierdo**



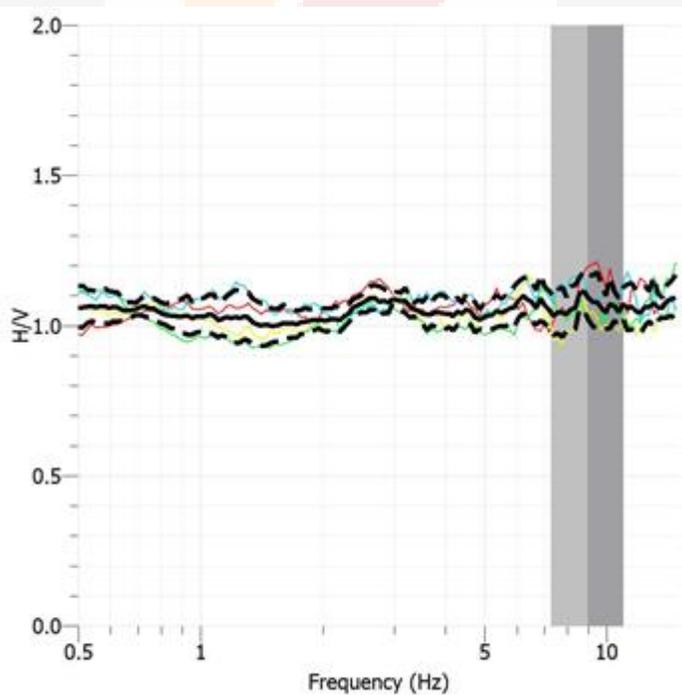
Gráfica 29: Frecuencia dominante del muro lateral izquierdo.

- **Bóveda**



Gráfica 30: Frecuencia dominante de bóveda.

- **Muro lateral derecho**



Gráfica 31: Frecuencia dominante del muro lateral derecho.

Referencias

- Aguilar, R., Pando, M. A., Briceño, C., Zavala, G., Castañeda, B., Perucchio, R., & Uceda, S. (Abril de 2018). Structural and geotechnical engineering assessment of Huaca de la Luna –A massive earthen Moche culture pyramid in Northern Peru. *Journal of Cultural Heritage*(34), 83-94. Obtenido de www.sciencedirect.com
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1972). *Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas* (Vols. Reforma DOF 16-02-2018). Ciudad de México.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras* (4 ed.). (J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) México: Person Educación.
- 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*(70), 1-26. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807001>
- Esquivel, R., & INEGI. (2016). *Estudio de los Hundimientos por Subsistencia en Aguascalientes con Métodos Satelitales. Reporte Técnico, 2015.* . Aguascalientes.
- Galantucci, R. A., & Fabio, F. (Octubre de 2018). Advanced damage detection techniques in historical buildings using digital photogrammetry and 3D surface anlysis. *Journal of Cultural Heritage*(36), 51-62. Obtenido de www.sciencedirect.com
- García de Miguel, J. M., Sánchez Castillo, L., González Aguado, M. T., & Puche Riart, O. (Noviembre de 1991). Impacto ambiental sobre el patrimonio monumental en piedra. *Industria minera*, 23-33.
- García, B., Martínez, I., & Mayor, M. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *El conocimiento social del lugar como fundamento del aprecio y salvaguarda del patrimonio. El caso del barrio del cabanyal (Valencia)* (págs. 545-552). Valencia: Universitat Politècnica de València.

- García, L., Mileto, C., & López, F. V. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Los criterios de intervención en la arquitectura monumental de Tapia en el periodo 1980-1985 a través del archivo del IPCE* (págs. 673-682). Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Gaxiola, D. (2018). *Modelación del comportamiento estructural del templo de san antonio para diferentes estados de degradación del material*. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes.
- Giardina, G., Hendriks, M., & Rots, J. (febrero de 2015). Sensitivity study on tunnelling induced damage to a masonry façade. *Engineering Structures*(89), 111-129. Obtenido de www.elsevier.com/locate/engstruct
- Gutiérrez Martínez, C., Quas Weppen, R., Ordaz Schroeder, M., Guevara Ortíz, E., Muriá Vilá, D., & Krishna Sinhg, S. (2005). *Sismos*. Ciudad de México: SERIE Fascículos.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (10 de Junio de 2015). *Instituto Nacional de Antropología e Historia*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de Instituto Nacional de Antropología e Historia: <https://www.inah.gob.mx/definiciones-tecnicas>
- Karanikoloudis, G., & Lourenço, P. (2018). Structural assessment and seismic vulnerability of earthen historic structures. Application of sophisticated numerical and simple analytical models. *Engineering Structures*(160), 488-509. Obtenido de www.elsevier.com/locate/engstruct
- La Spina, V. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Conocer y restaurar revestimientos históricos de las fachadas de Valencia* (págs. 683-692). Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Marín , R. E., & Hidalgo, F. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Sanatorio de San Francisco*

de Borja, fontilles. *Secuenciación arquitectónica. Análisis y evolución de sus estructuras y técnicas constructivas* (págs. 535-544). Valencia: Universitat Politècnica de València.

Milani, G., Valente, M., & Alessandri, C. (Abril de 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*(207), 3-18. Obtenido de www.elsevier.com/locate/compstruc

Nakamura, Y. (1989). A method of dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 25-33.

Navarro, J. C., Martínez, J. F., & Motta, S. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Metodología de la reconstrucción virtual de la bóveda de la Vila Vella de Denia* (págs. 693-702). Valencia: Universitat Politècnica de València.

Navarro, P., & Alonso, A. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Comportamiento estructural de las bóvedas de cruceros del tratado de Alonso de Vandelvira* (págs. 655-662). Valencia: Universitat Politècnica de València.

Pacheco, J. (2007). *Modelo de subsidencia del valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales*. (Tesis de doctorado) Universidad Nacional Autónoma de México.

Perría, R. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osca (Ed.), *Cronología de la forma histórica de un conjunto patrimonial: la carrera del Darro en Granada* (págs. 571-580). Valencia: Universitat Politècnica de València.

Pineda, P. (Febrero de 2016). Collapse and upgrading mechanisms associated to the structural materials of a deteriorated masonry tower. Nonlinear assessment under different damage and loading levels. *Engineering*

Failure Analysis(63), 72-93. Obtenido de www.elsevier.com/locate/engfailanal

Rodríguez Súnico, M. (2005). *Análisis modal operacional: teoría y práctica*. Sevilla: Inedito.

Rosado, J. I. (2014). Jornadas de investigación emergente en conservación y restauración de patrimonio (EMERGE). En M. V. Vivancos, M. T. Doménech, M. Sánchez, & J. Osa (Ed.), *Metodologías de intervenciones en cubiertas históricas. Interacciones con los aleros* (págs. 711-720). Valencia: Universitat Politècnica de València.

Sabrina, G., Sebastiano, I., Graziano, P., Domenico, B., Giuseppe, L., & Francesco, P. (Octubre de 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*(36), 78-84. Obtenido de www.sciencedirect.com

Saloustros, S., Pelà, L., Roca, P., & Portal, J. (noviembre de 2014). Numerical analysis of structural damage in the church of the Poblet Monastery. *Engineering Failure Analysis*(48), 41-61. Obtenido de www.elsevier.com/locate/engfailanal

Schmidt-Diaz, V. (2016). Aplicación de la técnica H/V en distintos emplazamientos a partir de la medición de vibraciones ambientales y de sismos. *Revista geológica de américa central*, 56, 155-177.

Secretaría de Cultura. (2018). Sismos y patrimonio cultural. Destrucción y restauración. En S. d. cultura, *Sismos y patrimonio cultural. Testimonios, enseñanza y desafíos, 2017 y 2018* (págs. 109-123). Ciudad de México: Corunda.

Shariq, M., Haseeb, S., & Arif, M. (2016). 11th International Symposium on Plasticity and Impact Mechanics, Implast 2016. En N. K. Gupta, & M. A. Iqbal (Ed.), *Analysis of existing masonry heritage building subjected to earthquake loading*. 11, págs. 1833-1840. New Delhi: Elsevier B.V. . Obtenido de www.proceedings.com

Torres, C. (2015). *Hacia una metodología de análisis estructural de edificios históricos, un enfoque sistémico-interdisciplinario*. (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal.

Tschegg, E. K. (2016). Environmental influences on damage and destruction of the structure of marble. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*(89), 250-258. Obtenido de www.elsevier.com/locate/ijrmms

UNESCO. (2014). Patrimonio. En *UNESCO Culture for Development Indicators: Methodology Manual* (págs. 131-140). Francia. Obtenido de <http://www.unesco.org/creativity/cdis>

