

TESIS

TESIS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

TESIS

TESIS

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

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

**TRABAJO PRACTICO**

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A  
UNA FALLA GEOLÓGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA,  
AGUASCALIENTES**

**PRESENTA**

**Ing. Omar Adrián Campos Guerrero**

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL EN EL  
AREA DE CONSTRUCCIÓN**

**TUTOR**

**Dr. Martín Hernández Marín**

**CO-TUTOR**

**Dr. Gil Humberto Ochoa González**

**ASESORES**

**Dra. Marlene Barba Rodríguez**

**Dr. Jesús Pacheco Martínez**

**Aguascalientes, Ags 05 de diciembre de 2023**

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL

M. en I. Ma. Guadalupe Lira Peralta

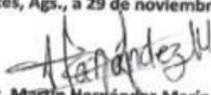
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como TUTOR designado del estudiante **OMAR ADRIÁN CAMPOS GUERRERO** con ID 102927 quien realizó el trabajo práctico titulado: **ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A UNA FALLA GEOLOGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA, AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 29 de noviembre de 2023.

  
Dr. Martín Hernández Marín  
Tutor de trabajo práctico

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-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19

CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL

M. en I. Ma. Guadalupe Lira Peralta

DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como COTUTOR designado del estudiante **OMAR ADRÍAN CAMPOS GUERRERO** con ID 102927 quien realizó el trabajo práctico titulado: **ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A UNA FALLA GEOLOGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA, AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 29 de noviembre de 2023.



Dr. Gil Humberto Ochoa González  
Co-Tutor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaria 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-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19

**CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL**

**M. en I. Ma. Guadalupe Lira Peralta**

**DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PRESENTE**

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **OMAR ADRIÁN CAMPOS GUERRERO** con ID 102927 quien realizó el trabajo práctico titulado: **ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A UNA FALLA GEOLOGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA, AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

**ATENTAMENTE**  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 29 de noviembre de 2023.

**Dra. Marlene Barba Rodríguez**  
Asesora de trabajo práctico

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-07  
Actualización: 01  
Emisión: 11/05/19

**CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL**

**M. en I. Ma. Guadalupe Lira Peralta**

**DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PRESENTE**

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **OMAR ADRÍAN CAMPOS GUERRERO** con ID 102927 quien realizó el trabajo práctico titulado: **ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A UNA FALLA GEOLOGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA, AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

**ATENTAMENTE**  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 29 de noviembre de 2023.

  
**Dr. Jesús Pacheco Martínez**  
Asesor de trabajo práctico

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-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19



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



Fecha de dictaminación: 28/11/2023

**NOMBRE:** Omar Adrián Campos Guerrero **ID:** 10297

**PROGRAMA:** Maestría en Ingeniería Civil **LGAC (del posgrado):** Área de Construcción

**TIPO DE TRABAJO:** ( ) Tesis ( X ) Trabajo Práctico

**TÍTULO:** ANALISIS DE PATOLOGIAS DE DAÑO CONSTRUCTIVO DEBIDO A UNA FALLA GEOLOGICA EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA, AGUASCALIENTES

**IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):** La investigación realizada de este trabajo práctico impacta en la aportación de información para monumentos históricos de la nación y directamente al Museo de la Insurgencia para conocer como es que el fenómeno de subsidencia está afectando a la estructura del museo, se analizan los desplazamientos en los elementos estructurales causados por la falla.

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

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado: **SI**  **No**

**Elaboró:** **FIRMAS**  
 \* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCION: Dr. Miguel Ángel Soto Zamora  
 NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO: Dr. Martín Hernández Marín  
 \* En caso de conflicto de intereses, firmará un rector miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano  
**Revisó:**  
 NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO: Dr. Mario Ernesto España Díaz de León  
**Autorizó:**  
 NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO: M. en I. Ma. Guadalupe Uribe Peralta

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**  
 En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Colocar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los asuntos.  
 Elaborado por: D. Apoyo al Poig.  
 Revisado por: D. Control Escolar/D. Gestión de Calidad.  
 Aprobado por: D. Control Escolar/ D. Apoyo al Poig.  
 Código: DD-SEE-PO-13  
 Actualización: 01  
 Emisión: 28/04/20

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT por la beca otorgada para poder continuar con mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por las enseñanzas otorgadas y la oportunidad de estudiar la maestría en ingeniería civil.

Al INAH por la oportunidad y enseñanzas recibidas durante los trabajos de servicio social.

Al Dr. Martín Hernández Marín por el apoyo, orientación y paciencia otorgados durante la maestría fungiendo como mi tutor de trabajo practico.

Al Dr. Gil Humberto Ochoa González por el apoyo recibido fungiendo como mi co-tutor en este trabajo practico.

A la Dra. Marlene Barba Rodríguez por el apoyo recibido fungiendo como asesora durante este trabajo practico.

Al Dr. Jesús Pacheco Martínez por el apoyo recibido fungiendo como asesor durante este trabajo practico.

A Dios por la fortaleza, sabiduría y las pruebas recibidas durante el tiempo que curse la maestría en ingeniería civil.

A mis padres Saul y Raquel, por el apoyo, el amor, la comprensión, el entusiasmo y la paciencia, otorgados durante el tiempo que curse la maestría en ingeniería civil.

A mis hermanos Juan y Diego por el apoyo y la comprensión que me otorgaron durante el tiempo que curse la maestría.

A mi tía Chagua por el apoyo que me dio durante el tiempo que curse la maestría

A mis compañeros y amigos de maestría por todo el apoyo recibido durante el tiempo compartido juntos en especial a Carlos y Josué.

Al Dr. José Manuel Ramírez León por el apoyo recibido en el ITESO durante el procesamiento de datos del escáner de los estudios realizados en el museo.

A la Dra. Norma por la orientación y apoyo para la realización de este trabajo practico.

A Adrianita por el entusiasmo y apoyo otorgado durante el tiempo que curse la maestría.

## DEDICATORIAS

A mi familia, conformada por mis padres Saul y Raquel, hermanos Juan y Diego y en especial a mi hermana Ale (1989-2007) por las enseñanzas, el amor, cariño y el tiempo compartido juntos.



**1 ÍNDICE GENERAL**

1 ÍNDICE GENERAL..... 1

2 ÍNDICE DE TABLAS ..... 4

3 ÍNDICE DE FIGURAS ..... 5

4 RESUMEN..... 7

5 ABSTRACT..... 9

6 INTRODUCCIÓN..... 11

    6.1 Localización del museo de la insurgencia..... 12

    6.2 Hipótesis ..... 12

    6.3 Objetivos ..... 13

        6.3.1 Objetivo general..... 13

        6.3.2 Objetivos específicos ..... 13

    6.4 Alcances del estudio ..... 14

    6.5 Planteamiento del problema de investigación..... 14

7 MARCO TEORICO ..... 15

    7.1 Patrimonio edificado..... 15

    7.2 Monumento ..... 15

    7.3 Conservación ..... 15

    7.4 Falla geológica ..... 16

    7.5 Tipos de fallas con respecto a su movimiento ..... 16

    7.6 Fallas normales..... 16

    7.7 Subsistencia..... 16

8 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO ..... 17

    8.1 Influencia de la extracción de agua en la subsidencia y agrietamiento en Aguascalientes..... 17

8.2 Levantamiento cartográfico de las fallas y fracturas geológicas de la ciudad de Aguascalientes.....	18
8.3 Riesgo geológico para el patrimonio histórico san Luis Potosí .....	18
8.4 Actividad de una falla geológica superficial y registro de sus daños en edificaciones en pabellón de hidalgo, Aguascalientes .....	19
8.5 Análisis mediante simulaciones numéricas de daños estructurales .....	19
8.6 Análisis de resultados métricos de una nube de puntos en el patrimonio edificado	20
9 METODOLOGÍA .....	21
9.1 Campaña experimental .....	23
9.1.1 Primer levantamiento fotográfico del museo en elementos estructurales más afectados del inmueble .....	23
9.1.2 Colocación de fisurómetros.....	25
9.1.3 Colocación de fisurómetros en el lado norte .....	26
9.1.4 Colocación de fisurómetros en el lado sur.....	28
9.2 Levantamiento de patologías.....	31
10 RESULTADOS .....	33
10.1 Primera comparación de afectaciones en el museo.....	33
10.2 Resultados del levantamiento de medición de patologías .....	34
10.3 Resultados generales obtenidos por los fisurómetros del lado norte .....	35
10.4 Resultados individuales obtenidos por cada fisurómetro del lado norte del museo37	
10.4.1 Graficas de fisurómetros colocados en piso directamente en los labios de la falla del lado norte del museo.....	37
10.4.2 Graficas de fisurómetros colocados en elementos estructurales (columnas) más cercanos a la traza de la falla .....	38
10.5 Resultados generales obtenidos por cada fisurómetro del lado sur del museo.....	38
10.6 Resultados individuales obtenidos por cada fisurómetro del lado sur del museo..	40
10.6.1 Graficas de fisurómetros colocados en piso del lado sur del museo .....	40

10.6.2 Gráficas de fisurómetros colocados en elementos estructurales más cercanos a la traza de la falla..... 41

11 PRIMER ESCANEO EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA EN PABELLON DE HIDALGO, AGUASCALIENTES ..... 43

    11.1 Resultados del primer escaneo en el lado sur del museo..... 44

    ..... 45

    11.2 Resultados del primer escaneo en el lado norte del museo ..... 46

12 SEGUNDO ESCANEO EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA EN PABELLON DE HIDALGO, AGUASCALIENTES ..... 47

    12.1 Resultados del segundo escaneo en el lado sur del museo ..... 47

    12.2 Resultados del segundo escaneo en el lado norte del museo ..... 48

13 RESULTADOS ENTRE LAS COMPARATIVAS DE LOS ESCANEOS REALIZADOS Y LOS FISUROMETROS COLOCADOS EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA..... 49

    13.1 Comparativa final de escaneos del lado norte ..... 49

    13.2 Comparativa final de escaneos en el lado sur ..... 50

14 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES ..... 51

    14.1 Resultados finales entre escaneos laser y fisurómetros fijos en el museo de la Insurgencia ..... 51

    14.2 Comparativa de desplazamientos con estudio de hace 10 años por Montalvo (2013) ..... 52

    ..... 52

15 BIBLIOGRAFÍA..... 53

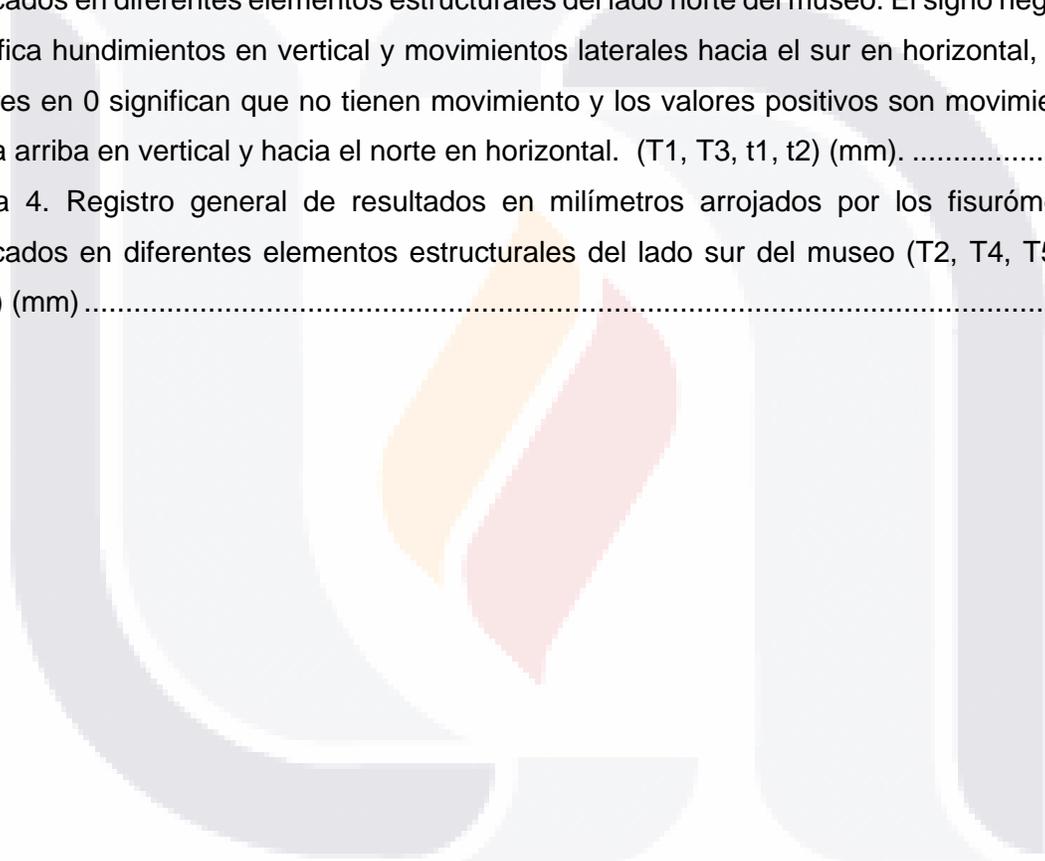
**2 ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Tabla de fisurómetros: nombre, medida y ejes que midieron cada uno, respectivamente. .... 23

Tabla 2. Resultados obtenidos en milímetros por el levantamiento de medición de grietas con el vernier digital sobre los fisurómetros colocados. .... 35

Tabla 3. Registro general de resultados en milímetros arrojados por los fisurómetros colocados en diferentes elementos estructurales del lado norte del museo. El signo negativo significa hundimientos en vertical y movimientos laterales hacia el sur en horizontal, y los valores en 0 significan que no tienen movimiento y los valores positivos son movimientos hacia arriba en vertical y hacia el norte en horizontal. (T1, T3, t1, t2) (mm). .... 36

Tabla 4. Registro general de resultados en milímetros arrojados por los fisurómetros colocados en diferentes elementos estructurales del lado sur del museo (T2, T4, T5, t1, t2,t3) (mm) ..... 39



### 3 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Museo de la Insurgencia, Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes, México. .... 12

Figura 2. Fisurómetro de acrílico de 6 x 6 cm para registro de desplazamientos milimétricos en el suelo. .... 22

Figura 3. Fisurómetro de acrílico de 1.5 x 1.5 cm para registro de desplazamientos milimétricos en columnas..... 22

Figura 4. Primeras fotos del arco sur del museo, siendo a) el frente del arco y B) el arco tomado por debajo c) y d) la columna afectada en la jardinera. .... 24

Figura 5. Primera foto tomada del estudio sobre las afectaciones en el suelo y en el arco por el fenómeno de subsidencia ya con algunas adecuaciones sobre el suelo del lado norte del museo. .... 25

Figura 6. Colocación de testigo numero 1 (T1) de manera vertical del lado norte del museo ..... 26

Figura 7. Colocación de bases de acrílico y de los fisurómetros de manera horizontal en afectaciones sobre el suelo del lado norte del museo. .... 27

Figura 8. Colocación de testigo 1 (t1) de 1.5x1.5cm del lado norte del museo..... 28

Figura 9. Colocación de testigo 2 (t 2) de 1.5 x 1.5cm en la segunda columna más cercana a la afectación en el suelo del lado norte del museo para registrar movimientos en eje Z y eje Y. .... 28

Figura 10. Colocación de testigo numero 2 (T2) de 6x6cm de manera horizontal para registrar posibles movimientos en los ejes Z y X..... 29

Figura 11. Colocación de testigo numero 4 (T4) de 6x6cm de manera vertical para registrar movimientos en los ejes X y Y del lado sur del museo..... 29

Figura 12. Colocación de fisurómetros, a) t3, b) t4 y c) t5 de 1.5 x 1.5mm en columnas para registrar los posibles movimientos en los ejes Z y Y. .... 30

Figura 13. Colocación de testigo 5 de 6x6cm (T5) en guarnición de jardinera para registrar posibles movimientos b y d, a y c ubicación de árbol en el museo..... 31

Figura 14. Collage de fotos tomadas en el museo donde se puede observar cómo se tomaron las mediciones con el vernier digital en la parte norte y sur del edificio..... 32

Figura 15. Comparativa entre los arcos afectados en el museo 2013 y 2022 respectivamente. Fuente: Montalvo 2013. .... 34

Figura 16. Grafica 1 representa los resultados obtenidos por el T1 y grafica 2 representa resultados obtenidos por el T3 del lado norte del museo. .... 37

Figura 17. Grafica 4 correspondiente a los resultados obtenidos por el t1 de 1.5 x 1.5mm y grafica 2 representando los resultados obtenidos por el t2 de 1.5 x 1.5mm. .... 38

Figura 18. La grafica 5 representa los resultados obtenidos por el fisurómetro T2 y la grafica 6 representa los resultados obtenidos por el T4. El eje Y en los gráficos indica los desplazamientos en milímetros y el eje X representa el número de lecturas. .... 40

Figura 19. Grafica 7, 8 y 9 representan movimientos en elementos estructurales como columnas de los fisurómetros t3, t4 y t5 de 1.5x1.5cm respectivamente y la gráfica 10 representa los desplazamientos en guarnición de jardinera correspondientes al T5 de 6x6cm. El eje Y en los gráficos indica los desplazamientos en milímetros y el eje Z representa el número de lecturas..... 42

Figura 20. a) Estación de escaneo con la que se realizó el estudio, b) dianas de apoyo para la ejecución de este mismo..... 43

Figura 21. Imágenes de afectaciones en el lado sur del museo creadas con el software Recap ..... 45

Figura 22. Mosaico de imágenes en el software Recap de afectaciones en el lado norte del museo..... 46

Figura 23. Collage de imágenes capturadas con ayuda del software Recap. .... 47

Figura 24. Imágenes capturadas con el ayuda del software Recap del lado norte del museo ..... 48

Figura 25. Comparativa de movimientos registrados en el lado norte del museo por el escáner Leica P40 con una diferencia de 6 meses entre los 2 estudios. a) resultados del primer estudio, b) resultados del segundo estudio. .... 49

Figura 26. Comparativa de movimientos registrados en el lado sur del museo por el escáner Leica P40 con una diferencia de 6 meses entre los 2 estudios, a) resultados iniciales y b) resultados del segundo escaneo..... 50

Figura 27. Imagen en la cual se muestran los movimientos en milímetros y la dirección de dichos movimientos después de una monitorización de 351 días. .... 52

## 4 RESUMEN

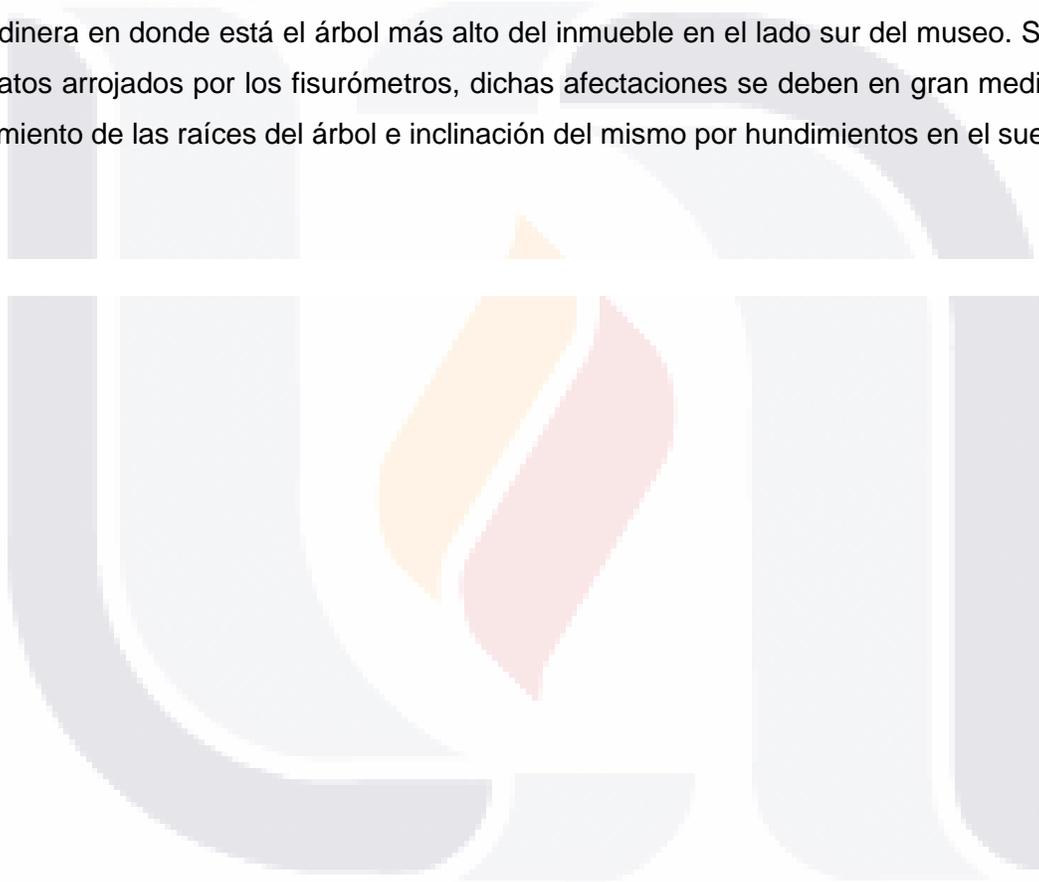
La situación de las discontinuidades geológicas asociadas a subsidencia en el valle de Aguascalientes ha propiciado una situación que preocupa en la actualidad a las autoridades correspondientes, ya que han causado daños en infraestructura y pérdidas económicas muy grandes para el estado. Los fenómenos de subsidencia y fracturamiento fueron documentados por primera vez en la década de los 1980's, resultando como hipótesis sobre el origen de estos fenómenos: 1) abatimiento de acuíferos, ya que fue en esa época en la que el bombeo de agua subterránea se intensificó; 2) deslizamiento paulatino del suelo; y 3) movimientos tectónicos, porque las discontinuidades en el valle de Aguascalientes se presentan casi de manera paralela a la traza de las 2 fallas geológicas que originaron al valle.

El edificio bajo estudio en este trabajo corresponde al Museo de la Insurgencia, mismo que se ubica en la localidad de Pabellón de Hidalgo, en el municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes, en donde se han registrado varias edificaciones afectadas por una discontinuidad geológica. El Museo de la Insurgencia está catalogado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) como patrimonio histórico de la Nación ya que fue en ese museo, antes hacienda de San Blas, en donde el independentista Miguel Hidalgo fue relegado de su cargo un 24 de enero de 1811, después de la derrota en puente de calderón durante la guerra de independencia.

La metodología empleada en este estudio se diseñó para definir las principales afectaciones del edificio a causa de una discontinuidad geológica. Ésta consistió primeramente en realizar un levantamiento de patologías en la estructura y en el suelo del museo, para posteriormente realizar una monitorización de desplazamientos en el edificio por medio de 9 fisurómetros colocados estratégicamente en las zonas más afectadas y que aparentemente tienen mayor desplazamiento. La monitorización se realizó durante 351 días, tratando de capturar los movimientos tridimensionales que la discontinuidad transmite al edificio, causándole daños estructurales. Para complementar la caracterización de la deformación, adicionalmente se utilizó un escáner, Leica P40 para obtener 2 modelos tridimensionales del edificio, con diferencia de 6 meses entre los mismos obteniendo nubes de puntos en cada modelo, para así poder hacer una comparativa entre los 2 escaneos, y junto con los datos arrojados por los fisurómetros obtener una caracterización de movimientos de la estructura.

De acuerdo con los datos arrojados por los fisurómetros (testigos) la discontinuidad que divide al museo en tres bloques estructurales, continua activa con deformaciones de hasta -10 mm verticalmente (eje Y) y de 6 mm horizontal perpendicular a la falla (eje X), así como 6 mm de movimiento horizontal paralelo a la falla (eje Z), todos estos medidos en la traza de la falla en el lado norte del museo, mientras que en el lado sur los movimientos de afectación fueron -1 mm verticales (eje Y), 4 mm de desplazamiento horizontal perpendicular a la falla (eje X) y 4 mm paralelo (eje Z).

Por otro lado, se registraron afectaciones en el suelo y en las columnas alrededor de la jardinera en donde está el árbol más alto del inmueble en el lado sur del museo. Según los datos arrojados por los fisurómetros, dichas afectaciones se deben en gran medida al crecimiento de las raíces del árbol e inclinación del mismo por hundimientos en el suelo.



## 5 ABSTRACT

The situation of the geological discontinuities associated with subsidence in the Aguascalientes valley has led to a situation that currently worries the corresponding authorities, since they have caused damage to infrastructure and very large economic losses for the state. The phenomena of subsidence and fracture were documented for the first time in the 1980s, resulting as a hypothesis about the origin of these phenomena: 1) abatement of aquifers, since it was at that time that the pumping of groundwater intensified; 2) gradual sliding of the soil; and 3) tectonic movements, because the discontinuities in the Aguascalientes valley are presented almost in parallel to the trace of the 2 geological faults that originated the valley.

The building under study in this work corresponds to the Museum of Insurgency, which is located in the town of Pabellón de Hidalgo, in the municipality of Rincón de Romos, Aguascalientes, where several buildings affected by a geological discontinuity have been registered. The Museum of the Insurgency is listed by the National Institute of Anthropology and History (INAH) as a historical heritage of the Nation since it was in that museum, formerly hacienda de San Blas, where the independence fighter Miguel Hidalgo was relegated from his position on January 24, 1811, after the defeat in Puente de Calderón during the war of independence.

The methodology used in this study was designed to define the main effects of the building due to a geological discontinuity. This first consisted of carrying out a survey of pathologies in the structure and on the floor of the museum, to later carry out a monitoring of displacements in the building by means of 9 fisurometers strategically placed in the most affected areas and that apparently have greater displacement. The monitoring was carried out for 351 days, trying to capture the three-dimensional movements that the discontinuity transmits to the building, causing structural damage. To complement the characterization of the deformation, a scanner, Leica P40, was additionally used to obtain 2 three-dimensional models of the building, with a difference of 6 months between them obtaining point clouds in each model, in order to be able to make a comparison between the 2 scans, and together

with the data thrown by the fisurometers obtain a characterization of movements of the structure.

According to the data released by the fisurometers (witnesses) the discontinuity that divides the museum into three structural blocks, continuous active with deformations of up to -10 mm vertically (Y- Axis) and 6 mm horizontal perpendicular to the fault (X Axis), as well as 6 mm of horizontal movement parallel to the Fault (Z Axis), all these measured in the trace of the Fault on the north side of the museum, while on the south side the affectation movements were -1 mm vertical (Y Axis), 4 mm of horizontal displacement perpendicular to the Fault (X Axis) and 4 mm Parallel (Z- Axis).

On the other hand, there were affectations on the ground and on the columns around the planter where the tallest tree of the property is on the south side of the museum. According to the data released by the fisurometers, these affectations are largely due to the growth of the roots of the tree and its inclination due to subsidence in the ground.

## 6 INTRODUCCIÓN

Los primeros reportes de grietas con movimiento relativo dentro de zonas urbanas en Aguascalientes según Aranda-Gómez (1989), ocurrieron a partir de 1981. Sin embargo, los daños graves en calles, edificios y en el sistema de drenaje se reportaron hasta el año de 1984 en donde el fenómeno ya se había intensificado, surgiendo así la necesidad de nuevos estudios, así surgió el trabajo de Aranda-Gómez (1989), en el cual se plantearon las tres primeras hipótesis sobre el origen de las grietas, siendo éstas:

- 1) Las primeras grietas aparecieron por el resultado del grupo de esfuerzos al que se somete gran cantidad de territorio en el centro del país, es decir de origen tectónico;
- 2) La sobreexplotación de agua subterránea ha demostrado relacionarse directamente con la aparición de grietas debido a los hundimientos diferenciales del suelo;
- 3) Movimientos del flujo plástico del suelo (*creep*), como resultado de la fuerza de gravedad.

Las discontinuidades geológicas representan un problema de actualidad en el valle de Aguascalientes ya que han causado daños en construcciones y varias pérdidas económicas. Dentro de las varias construcciones afectadas, se encuentra el Museo de la Insurgencia, ubicado en Pabellón de Hidalgo, municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes, el cual es el objeto de este estudio. Dicho museo destaca ya que ha sido catalogado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) como patrimonio histórico de la nación, debido a que en ese museo, antes hacienda de San Blas, se relegó de su cargo militar a Miguel Hidalgo durante la guerra de independencia.

El museo de la Insurgencia es probablemente una de las edificaciones más afectadas de la localidad de Pabellón de Hidalgo ya que la falla que lo afecta atraviesa su estructura en su totalidad de norte a sur, dividiendo al edificio en tres bloques estructurales.

### 6.1 Localización del museo de la insurgencia

El museo de la Insurgencia se encuentra en el poblado llamado Pabellón de Hidalgo ubicado en el municipio Rincón de Romos en el estado de Aguascalientes, México. El siguiente mapa muestra la ubicación del museo de la Insurgencia.

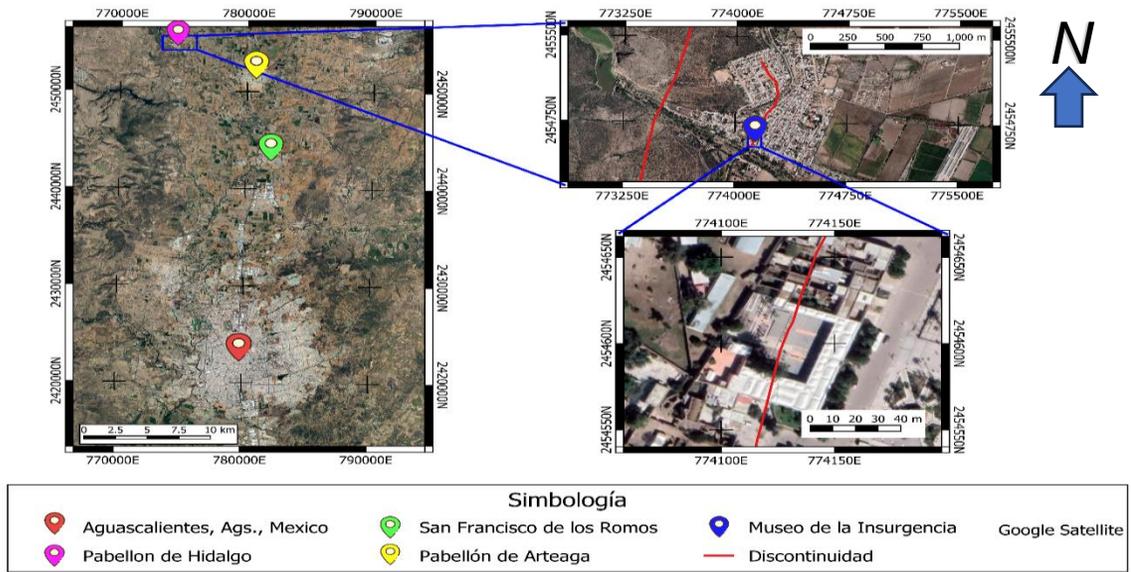


Figura 1. Localización del Museo de la Insurgencia, Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes, México.

### 6.2 Hipótesis

La falla geológica que se manifiesta en Pabellón de Hidalgo Aguascalientes específicamente en el Museo de la Insurgencia ha estado ocasionando daños a elementos estructurales cada vez más alejados de la falla dentro del museo mediante movimientos tridimensionales de la misma.

## 6.3 Objetivos

### 6.3.1 Objetivo general

Implementar una metodología para el análisis de los desplazamientos tridimensionales de los elementos constructivos del Museo de la Insurgencia, e identificar aquellos relacionados con la actividad de una falla geológica manifestada en esa zona del valle de Aguascalientes. La metodología incluye la colocación de fisurómetros en puntos específicos de la construcción, así como utilizar un escáner tipo Lidar en dos tiempos y comparar los resultados.

### 6.3.2 Objetivos específicos

1. Implementar una metodología para una correcta monitorización y posterior análisis de los desplazamientos espaciales que se presenten en el suelo por la falla geológica manifestada en el museo para conocer el estado actual de afectaciones estructurales en el inmueble.
2. Identificar los puntos críticos de afectación en el Museo de la Insurgencia y sobre ellos colocar los fisurómetros para la medición constante de desplazamientos sobre los elementos estructurales afectados sobre la zona de riesgo para detectar la variación de movimientos en el espacio ocasionados por la falla.
3. Con los datos de medición de desplazamientos de los fisurómetros, realizar un análisis de desplazamientos en el edificio para clasificarlos.
4. Aplicar la técnica de escaneo tipo Lidar terrestre con la estación de escaneo Leica p40 con una diferencia de tiempo de 6 meses entre las mediciones, procesando los datos utilizando los programas de cómputo *Cyclone-navigator* y *Recap* para el análisis de los datos.
5. Realizar un análisis comparativo de las mediciones realizadas mediante el escaneo tipo Lidar, y en conjunto con el análisis de desplazamientos realizados con los fisurómetros, establecer un modelo de desplazamientos del edificio.

#### **6.4 Alcances del estudio**

Los principales alcances de este estudio fueron implementar una metodología de dos técnicas de monitorización de los desplazamientos espaciales en el Museo de la Insurgencia, así como realizar un análisis comparativo de dichos desplazamientos durante un total de un año de monitorización, enfocándose en las zonas con las principales patologías estructurales presentadas en el museo, tomando como herramientas principales los levantamientos fotográficos constantes, mediciones de desplazamientos mediante fisurómetros colocados en puntos previamente analizados y dos escaneos tipo Lidar terrestre.

#### **6.5 Planteamiento del problema de investigación**

En el valle de Aguascalientes las discontinuidades geológicas representan un problema actual que ha causado daños en infraestructura y en consecuencia han generado grandes pérdidas económicas en varias zonas urbanas. Entre los elementos dañados se encuentran varios edificios y construcciones de gran valor histórico, algunos de los cuales, han sido seriamente afectados por agrietamientos y hundimientos del terreno desde hace algunos años, siendo uno de los más afectados el Museo de la Insurgencia. En ese contexto, esta investigación se basa en el siguiente cuestionamiento básico: ¿Qué influencia tiene la falla geológica que actúa sobre el suelo del Museo de la Insurgencia, ocasionando daños en elementos estructurales en varios puntos del edificio?

## 7 MARCO TEORICO

Para entender mejor la problemática que se está abordando en esta investigación, es necesario comprender y familiarizarse con varios conceptos que se manejan en el manuscrito, se resaltan los siguientes:

### 7.1 Patrimonio edificado

El patrimonio edificado puede definirse como el conjunto de bienes edificados a los cuales se les reconoce un valor cultural. A últimas fechas, sin embargo, este concepto ha experimentado una serie de cambios en los valores culturales, por lo que se considera como un concepto de definición dinámica y susceptible de modificaciones Azkarate et al., (2003).

### 7.2 Monumento

Según Chanfón Olmos, (1974) en su libro fundamentos sobre la restauración define al monumento como *"...todo aquello que puede representar valor al conocimiento de la cultura del pasado histórico, considera también que el concepto debe citarse entre los polos, evitando la posición entre solo lo extraordinario es monumento y absolutamente toda obra es monumento"*.

### 7.3 Conservación

En la definición de Terán Bonilla (2004), *"La conservación consiste en la aplicación de los procedimientos técnicos cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico"*.

Por otro lado, dentro de los conceptos geológicos implicados en este trabajo podemos destacar los siguientes:

#### **7.4 Falla geológica**

Según Tarbuck & Lutgens, (2005), una falla es una fractura en la corteza que asciende hasta la superficie, en la cual, los bloques en los que se divide presentan desplazamientos en diferentes direcciones, las cuales pueden presentarse de la siguientes maneras: 1) en estratos sedimentarios desplazándose unos pocos metros reconociéndose como rupturas pequeñas aisladas en el suelo; y 2) las que su traza presenta desplazamientos de centenares de kilómetros y se reconocen por estar compuestas de varias superficies falladas comunicadas entre sí, las cuales son más fáciles de identificar ya que pueden llegar a tener una anchura de varios kilómetros.

#### **7.5 Tipos de fallas con respecto a su movimiento**

Según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES, 2015) las fallas geológicas se clasifican dependiendo de la dirección del movimiento que tienen los bloques que la componen, a la hora de cortar la superficie. Hay tres tipos principales: 1) falla normal: presentándose por tensión horizontal como esfuerzo predominante; 2) falla inversa: presentándose por compresión horizontal como esfuerzo predominante; y 3) falla de desplazamiento de rumbo: presentándose a lo largo de las trazas verticales y sus bloques generan movimientos en horizontal.

#### **7.6 Fallas normales**

La tensión horizontal como principal componente de esfuerzos es lo que las genera. Los esfuerzos sometidos en alguno de los bloques son perpendiculares a la traza de la ruptura superficial, siendo el movimiento vertical el más relevante. En este tipo de fallas se denomina “techo” al bloque que queda por encima y realiza movimientos descendentes, al bloque que queda por debajo del plano se le denomina “piso” teniendo movimientos ascendentes.

#### **7.7 Subsistencia**

El fenómeno de subsidencia es prácticamente el hundimiento paulatino de la superficie, ya sea terrestre, submarina o continental. El presente trabajo se enfoca en la

subsidencia terrestre la cual es el fenómeno geológico que conlleva consigo el asentamiento de la superficie terrestre en un área determinada la cual puede hacerse presente por diferentes factores según Corapcioglu (1984) pueden ser por causa natural o por el resultado de una gran cantidad de diversas actividades humanas.

## **8 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO**

### **8.1 Influencia de la extracción de agua en la subsidencia y agrietamiento en Aguascalientes**

Zermeño de León et al., (2004) realizaron un proyecto de monitoreo del fenómeno de subsidencia nombrado UAA-INEGI en la ciudad de Aguascalientes. Dicho proyecto consistió en hacer levantamientos con GPS sobre 60 monumentos ya establecidos dentro de la mancha urbana presentando agrietamientos del terreno. Básicamente en este trabajo se indica que el abatimiento de agua excesivo en el valle de Aguascalientes provoca el agrietamiento del suelo. Se colocaron placas de aluminio de 9.5 cm de diámetro, identificando cada una de estas con clave y fecha de colocación aproximada a 15 metros de manera perpendicular al plano de la falla. Para el procesamiento de datos utilizaron el software *Trimble Geomatics Office* y la estación fija INEGI que constantemente tiene hundimientos, por lo cual se tuvo que actualizar las coordenadas en cada etapa del estudio ya que la estación se encuentra en la zona que expresa subsidencia en la ciudad. Como resultados principales se notó que en ninguno de los 60 puntos de referencia del estudio se presentaron desplazamientos horizontales, la dispersión promedio fue de 1.6 cm (0.00035 pulgadas en latitud y 0.000392 pulgadas en longitud) en el tiempo que comprende a un año. Además, observaron un hundimiento considerable en gran parte de la ciudad relacionado directamente con la sobreexplotación de agua ya que la mayor parte de extracción se obtuvo del lado Oriente de la ciudad lo cual hace referencia a que coincida con uno de los epicentros locales en esta misma zona, lo que ocasiona que los estratos tengan asentamientos no uniformes en la superficie del suelo, provocando grietas y hundimientos.

## 8.2 Levantamiento cartográfico de las fallas y fracturas geológicas de la ciudad de Aguascalientes

Castañeda Molina, et al., (1993) realizaron un estudio para mostrar los lineamientos y trazas de las fallas y fracturas del área urbana ubicada entre las coordenadas UTM (74000-84000) mts-E y (18000-28000) mts-N que formaban la cuadrícula divisional del área urbana con separaciones a cada 2000 mts. Estos autores elaboraron una serie de encuestas que les permitieron evaluar las magnitudes y la rapidez de propagación de daños en construcciones, también realizaron la investigación de marcas de nivelación antiguas y seleccionaron nuevos puntos de control, que les permitió la instalación de monumentos testigo para el registro de movimientos horizontales y verticales a lo largo de las grietas que estaban presentes. Estos autores concluyeron que la variación relativa entre los depósitos vulcano-sedimentarios y rocas ígneas existentes en los lomeríos orientales con respecto a su contraparte encontrada en el valle presenta desniveles medidos de hasta cientos de metros. Determinando la relación directa entre la concentración de pozos por una distribución mal ordenada, su nivel de explotación y la dirección y avance de las grietas y fisuras en la superficie.

## 8.3 Riesgo geológico para el patrimonio histórico san Luis Potosí

Con respecto al análisis de daños en el patrimonio histórico, López-doncel et al., (2006) realizaron un estudio en San Luis Potosí referente a afectaciones en edificios de gran valor histórico por el fenómeno de subsidencia entre los cuales los más afectados en la década de 1990 fueron: 1) **El museo de la máscara**, ubicado en la zona centro de la ciudad presentando grietas en pisos, techos y en diferentes muros del museo asociadas al sistema de fallas geológicas W-E y NW-SE que cruzan el centro histórico de san Luis Potosí, 2) **El Museo Regional Potosino**, ubicado en la zona centro de la ciudad. Este edificio presentó grietas en la sacristía, comisaría y vestíbulo de la capilla y a lo largo de todo el espacio de la sala de herrajes. La inclinación general de estas grietas fue de 80° al SE, presentándose de manera vertical, aunque curiosamente dichas grietas se reflejan en la azotea del edificio afectando la parte superior de ventanas y muros pero no en los pisos de la planta baja del museo y 3) **la Iglesia del Espíritu Santo**, los agrietamientos que presentó este edificio fueron tanto en pisos y paredes como en techos y azoteas, grietas

que se podían medir desde milímetros hasta unos cuantos centímetros, que de igual manera se asocian al sistema de fallamiento NW-SE ya que se presentó desde el museo de la máscara hasta atravesar la iglesia del espíritu santo. Como conclusión estos autores determinaron que los desplazamientos y características de las grietas presentadas les permitieron proponer una relación directa con la subsidencia regional del subsuelo, debido a la sobreexplotación de agua subterránea, aunque también se asocian a fallas en el subsuelo relacionada con esfuerzos de deformación en la dirección de las trazas realizadas por las fallas.

#### **8.4 Actividad de una falla geológica superficial y registro de sus daños en edificaciones en pabellón de hidalgo, Aguascalientes**

Hace unos años, Láriz Medina, (2013) realizó investigaciones sobre el fenómeno de subsidencia en la localidad de Pabellón de Hidalgo, su metodología consistió en registrar la actividad de la falla mediante 17 fisurómetros de acrílico denominados fisurómetros. La mayoría de estos dispositivos fueron colocados de modo perpendicular a la traza de la discontinuidad, pocos se colocaron en muros paralelos a algunos de los elementos constructivos en viviendas. Esta autora registró movimientos milimétricos horizontales y verticales, así como también evaluó cuantitativamente los daños en edificaciones de dicha localidad. Adicionalmente, realizó un censo de afectaciones por la falla geológica que le permitió identificar 32 predios, de los cuales solo 2 correspondían a lotes baldíos, mientras que 24 correspondieron a casa habitación, entre las cuales 3 de estas se encontraban deshabitadas en ese momento. Como datos de materiales de construcción en los 32 predios se percató que en su mayoría estaban contruidos con lo que se conocen como tabique rojo recocido con dimensiones 7x14x28 cm, unido con mortero-cal-arena y ligados con castillos y cadenas de concreto armado. Como resultado de los 17 fisurómetros colocados observó que los máximos movimientos obtenidos horizontalmente fueron de 7.5 mm en un tiempo de 164 días y 10 mm como desplazamiento máximo en movimientos verticales en un lapso de 201 días.

#### **8.5 Análisis mediante simulaciones numéricas de daños estructurales**

Montalvo (2013), fue uno de los primeros autores en investigar la problemática de afectación del Museo de la Insurgencia, utilizando una metodología que consistió en la colocación de varios fisurómetros colocados estratégicamente a lo largo del plano de la falla

para realizar un monitoreo de posibles desplazamientos paulatinos del suelo dentro del Museo. Sus resultados indicaron que la estructura del Museo presentó desplazamientos tanto verticales como horizontales a la traza de la falla del orden de 3 mm y 10 mm, respectivamente, durante el periodo de monitoreo de la falla, que fue de febrero a agosto del 2013 y mediante un análisis numérico que se realizó sobre el edificio, se determinó un riesgo de colapso del mismo a partir de los siguientes cinco años. El autor propuso una adecuación estructural que consistió en desligar totalmente los dos bloques de los arcos y columnas más afectadas e incluir una columna en cada uno de los dos arcos para impedir que los mismos queden en voladizo.

#### **8.6 Análisis de resultados métricos de una nube de puntos en el patrimonio edificado**

En cuanto a estudios relacionados con el análisis de nubes de puntos, Serrano et al., (2014) realizaron un estudio con la finalidad de hacer una comparación entre 2 levantamientos de un mismo edificio, el primero fue por medio de planos de planta y sección de un proyecto orientado a la rehabilitación del edificio y el segundo se utilizó un escaneo con tecnología láser, esto con la finalidad de poder realizar nuevos planos de planta y sección, equivalentes a los ya existentes, y así poder obtener la información del grado de complejidad y de exactitud de cada uno de los métodos. El segundo método es una fracción de puntos escaneados entre dos planos paralelos y separados a una determinada distancia, resultando los dos métodos aceptables, sin embargo, el método tradicional aunque nos genera un coste menor al de escaneo láser por el personal que se utiliza, depende mucho de con qué tanto cuidado se realice, por esta razón la exactitud del método es variable, y el método de escaneo láser aunque desde un punto visual es excelente, es más costoso por los recursos técnicos y humanos implicados, así como el alto costo del equipo.

## 9 METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos planteados en la investigación se propusieron las siguientes actividades generales:

1. Revisión del estado del arte de técnicas de monitorización a una falla geológica, de patologías en estructuras catalogadas como patrimonio histórico y sobre el fenómeno de subsidencia.
2. Observación en campo mediante inspección visual, obteniendo un registro fotográfico.
3. Registro de la actividad de la falla mediante los desplazamientos tridimensionales en los ejes X, Y y Z, registrando movimientos verticales, y horizontales perpendiculares y paralelos en algunos de los elementos constructivos, principalmente en columnas afectadas por dichos movimientos, en la localidad de Pabellón de Hidalgo.
4. Para determinar los desplazamientos en varios elementos de la estructura se emplearon un total de 10 fisurómetros, los cuales, para más detalle consisten en dos placas de resina acrílica parcialmente superpuestas. La placa frontal está grabada con una cruz roja que divide los ejes cartesianos, mientras que la posterior tiene una cuadrícula plasmada en milímetros con una capacidad de registro de hasta 3 cm por cuadrante de cada eje, es decir de 6 x 6 cm los cuales se colocaron 3 de manera horizontal y 2 de manera vertical registrando los desplazamientos antes mencionados, los cuales se denominarán en este manuscrito como T1, T2, T3, T4 y T5. La figura 2 muestra un fisurómetro para medir los desplazamientos.

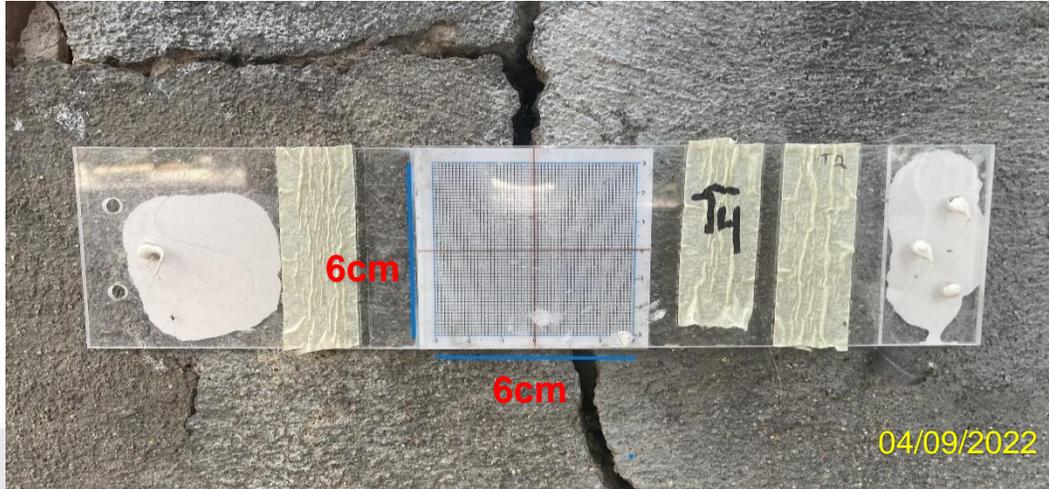


Figura 2. Fisurómetro de acrílico de 6 x 6 cm para registro de desplazamientos milimétricos en el suelo.

5. Para determinar los desplazamientos en elementos estructurales del museo se utilizaron fisurómetros de 3 x 3cm obteniendo movimientos de hasta 1.5cm por cuadrante como lo muestra la figura 3.

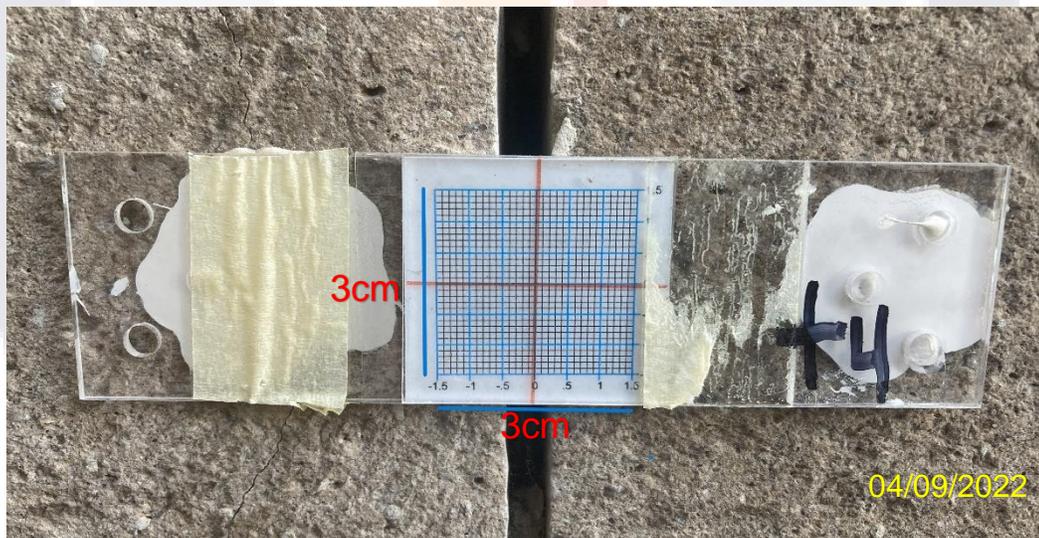


Figura 3. Fisurómetro de acrílico de 1.5 x 1.5 cm para registro de desplazamientos milimétricos en columnas.

8. Aplicación de un escaneo tipo Lidar con un escáner Leica p40 que tiene la capacidad de registrar un millón de puntos por segundo, y mediante el cual se realizaron dos escaneos en el museo con una diferencia de tiempo de 6 meses, con el fin de poder dimensionar los desplazamientos en los elementos constructivos del edificio como

consecuencias de la actividad de la falla geológica. Se aplicó una comparativa de la nube de puntos arrojada por cada uno de los escaneos.

En la siguiente tabla se representa como son nombrados los fisurómetros y que medida tienen cada uno de ellos.

Tabla 1. Tabla de fisurómetros: nombre, medida y ejes que midieron cada uno, respectivamente.

Fisurómetro	Medida (cm)	Ejes	Fisurómetro	Ejes	Medida (cm)
T1	6 x 6cm	X, Y	t1	Y, Z	3 x 3 cm
T2	6 x 6cm	X, Z	t2	Y, Z	3 x 3 cm
T3	6 x 6cm	X, Z	t3	Y, Z	3 x 3 cm
T4	6 x 6cm	X, Y	t4	Y, Z	3 x 3 cm
T5	6 x 6cm	Y, Z	t5	Y, Z	3 x 3 cm

## 9.1 Campaña experimental

### 9.1.1 Primer levantamiento fotográfico del museo en elementos estructurales más afectados del inmueble

Para cumplir con la metodología del presente trabajo se muestra a continuación el primer levantamiento fotográfico de los elementos considerados más afectados del inmueble en el año 2022 para un primer registro fotográfico de afectaciones en el inmueble provocadas por una falla geológica. La figura 4 muestra la situación actual del museo en el lado sur.



Figura 4. Primeras fotos del arco sur del museo, siendo a) el frente del arco y B) el arco tomado por debajo c) y d) la columna afectada en la jardinera.

Finalmente, la figura 5 a y b muestra la situación actual del arco y c muestra la situación actual en el suelo del lado norte del museo.



Figura 5. Primera foto tomada del estudio sobre las afectaciones en el suelo y en el arco por el fenómeno de subsidencia ya con algunas adecuaciones sobre el suelo del lado norte del museo.

### 9.1.2 Colocación de fisurómetros

Se colocaron fisurómetros de acrílico en ambos lados del museo (lado sur y norte) los cuales consisten en dos placas de resina acrílica parcialmente superpuestas (figura 6 y 7).

Los fisurómetros colocados de manera horizontal (recostados) sirvieron para registrar movimientos paralelos y perpendiculares a la traza de la falla, direcciones que en este trabajo se manejan como ejes Z y X, respectivamente (figura 6). Finalmente, los

fisurómetros colocados de manera vertical sirvieron para registrar movimientos perpendiculares a la falla (eje X, ya explicado anteriormente) y movimientos verticales a la traza de la falla, es decir hundimientos, denominado en este trabajo como eje Y (figura 7 a y b).

### 9.1.3 Colocación de fisurómetros en el lado norte

Se colocaron fisurómetros tanto de manera horizontal como vertical del lado norte del museo. Para los que fueron colocados de manera horizontal, primero se colocaron 2 bases de acrílico niveladas para, sobre ellas poder colocar a su vez a los fisurómetros y así, poder registrar movimientos paralelos y perpendiculares a la falla (ejes “Z” y “X”). El testigo número 1 (T1) de 6 x 6 cm (figura 6) se colocó de manera vertical sobre la zona del suelo más afectada del lado norte del museo para registrar movimientos verticales a la traza de la falla (eje Y), iniciando la lectura en las coordenadas 0, 15 en eje X y 0, -15 en eje Y, esto porque de acuerdo a estudios anteriores, la falla se está comportando de manera tal que probablemente los movimientos se salgan del posible registro en el tiempo de medición, por lo tanto de esta manera se le dio más margen de movimiento.

La figuras 7 a y b por su parte, muestran el fisurómetro T3 colocado de manera horizontal y su proceso de nivelación.

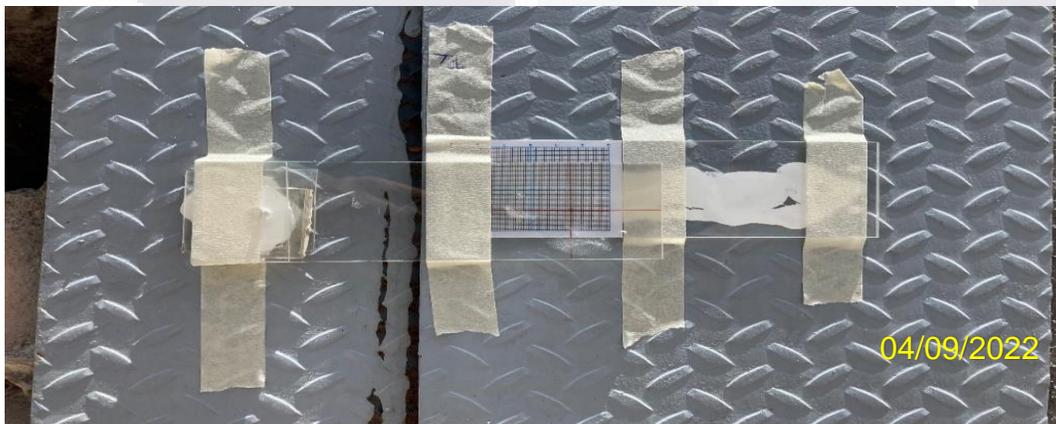


Figura 6. Colocación de testigo numero 1 (T1) de manera vertical del lado norte del museo



Figura 7. Colocación de bases de acrílico y de los fisurómetros de manera horizontal en afectaciones sobre el suelo del lado norte del museo.

En elementos estructurales como lo son las columnas se colocaron fisurómetros de 1.5 x 1.5 cm de manera vertical sobre patologías como grietas, pudiendo éstos registrar hasta 15 mm de desplazamiento por eje cartesiano. Tal es el caso del primer fisurómetro, denominado t1 (figura 8), que se colocó en la columna más cercana a la traza de la falla del lado norte del museo para registrar movimientos en los ejes Z y Y.



Figura 8. Colocación de testigo 1 (t1) de 1.5x1.5cm del lado norte del museo.

Se colocó un segundo fisurómetro de 1.5 x 1.5cm en otra de las columnas afectadas del lado norte del museo el cual fue denominado como t2 para registrar movimientos en eje Z y eje Y, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Colocación de testigo 2 (t 2) de 1.5 x 1.5cm en la segunda columna más cercana a la afectación en el suelo del lado norte del museo para registrar movimientos en eje Z y eje Y.

#### 9.1.4 Colocación de fisurómetros en el lado sur

Al igual que en lado norte del museo, se colocaron fisurómetros tanto de los de dimensiones 6 x 6 cm en las zonas más afectadas en el suelo, como aquellos de 1.5 x 1.5 cm en elementos estructurales como lo son las columnas para registrar posibles movimientos tridimensionales en el espacio.

En una de las partes más afectadas del suelo del lado sur del museo se realizó la colocación del testigo número 2 de 6 x 6 cm (T2) de manera horizontal, como se muestra en la figura 10 esto para registrar posibles movimientos paralelos a la traza de la falla (eje Z) y movimientos perpendiculares a la traza de la falla (eje X).



Figura 10. Colocación de testigo numero 2 (T2) de 6x6cm de manera horizontal para registrar posibles movimientos en los ejes Z y X.

En otra de las zonas con afectaciones más pronunciadas del lado sur de museo se colocó de manera vertical el fisurómetro 4 (T4) de 6 x 6 cm (figura 11), para registrar posibles movimientos transversales y perpendiculares a la traza de la falla (ejes Y y X, respectivamente).

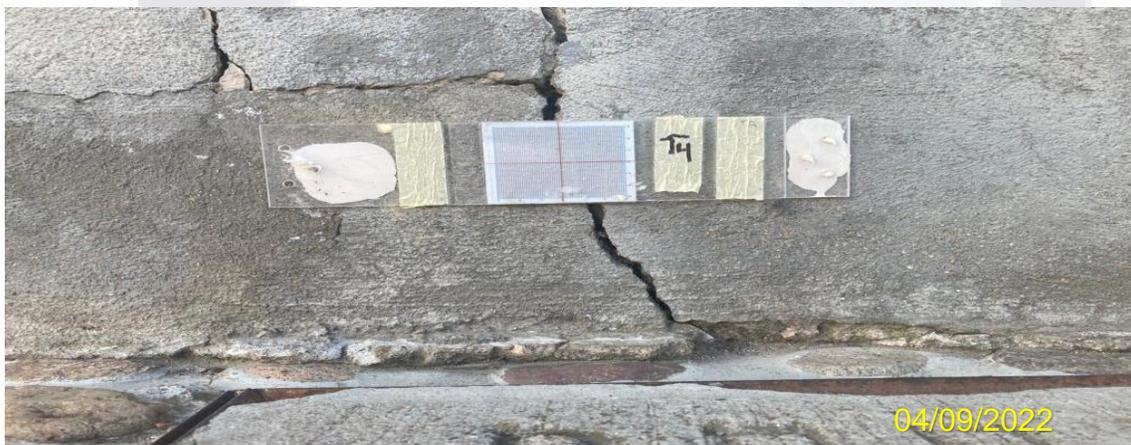


Figura 11. Colocación de testigo numero 4 (T4) de 6x6cm de manera vertical para registrar movimientos en los ejes X y Y del lado sur del museo.

Al igual que los fisurómetros de 6 x 6 cm, también se colocaron algunos de 1.5 x 1.5 cm en esa zona del museo. Un ejemplo de ello son los que se muestran en la figura 12, postrados en las columnas más cercanas a la falla.

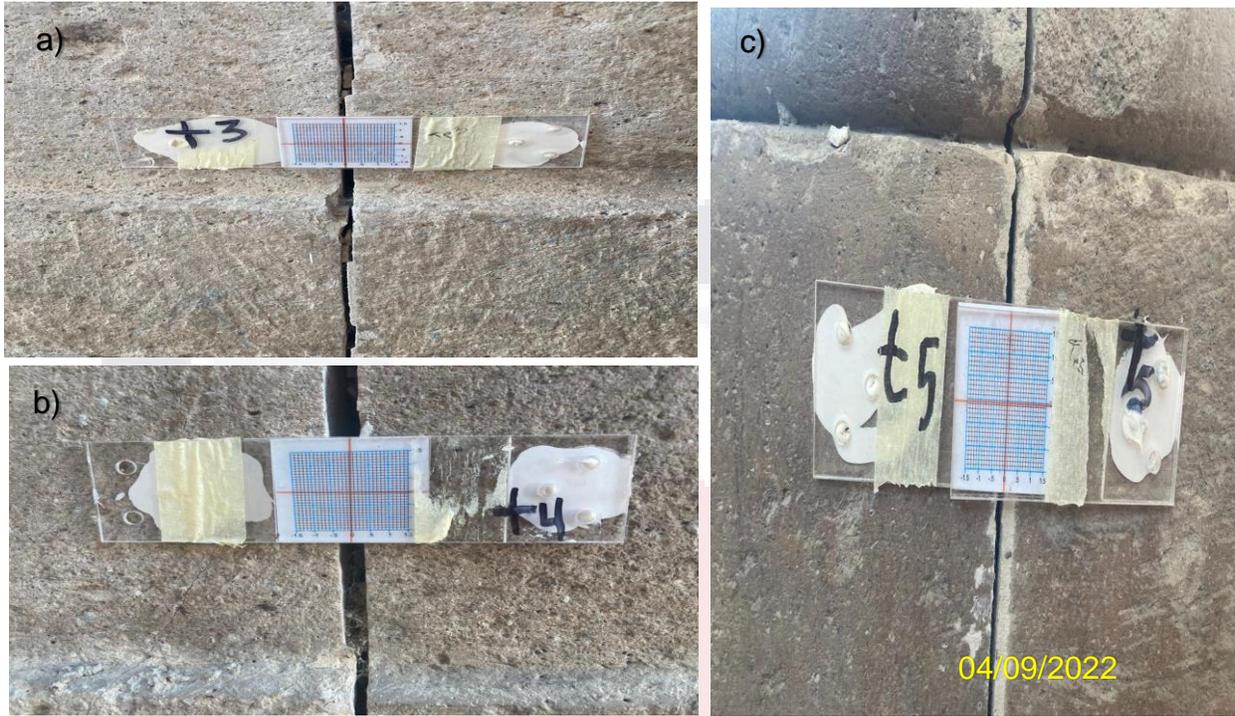


Figura 12. Colocación de fisurómetros, a) t3, b) t4 y c) t5 de 1.5 x 1.5mm en columnas para registrar los posibles movimientos en los ejes Z y Y.

Por otro lado, en el lado sur del museo cargado hacia el Este existe una jardinera con un árbol muy antiguo y bastante alto y voluminoso (figura 13 a y c). Dicha jardinera presenta afectaciones como lo son grietas muy notorias en la guarnición que cubre el perímetro, por lo cual se realizó la colocación del testigo numero 5 (T5) de 6 x 6cm de manera vertical para registrar movimientos perpendiculares a la falla (eje Z) y posibles movimientos verticales a la traza de la falla (eje Y). La figura 13 b y d muestra la jardinera y algunas de las fisuras presentadas que posiblemente están asociados al árbol.



Figura 13. Colocación de testigo 5 de 6x6cm (T5) en guarnición de jardinera para registrar posibles movimientos b y d, a y c ubicación de árbol en el museo.

## 9.2 Levantamiento de patologías

Ya con los fisurómetros colocados el día 4 de septiembre del 2022 se procedió a ubicar las grietas en el suelo y en elementos estructurales que forman parte del museo por lo cual se realizó la medición del ancho de las grietas con un vernier digital sobre las afectaciones que se colocaron los fisurómetros en ambos lados del museo, del lado norte se realizaron las mediciones sobre los 2 fisurómetros de 6 x 6 cm (T1 y T3) colocados en las afectaciones sobre el suelo y en las 2 columnas más cercanas a la traza de la falla sobre los fisurómetros de 1.5 x 1.5 cm (t1 y t2), que son los elementos estructurales con mayor afectación en el museo por el fenómeno de subsidencia, del lado sur se realizaron las mediciones sobre las grietas que se manifestaron en el suelo sobre los fisurómetros previamente colocados (T2 y T4) y mediciones sobre los fisurómetros colocados en las 3 columnas más cercanas a la traza de la falla ( t3, t4 y t5), continuando con las mediciones de grietas del lado sur del museo también se realizó la medición a las grietas presentadas en la guarnición de la jardinera en donde se ubica el árbol y se colocó un fisurómetro más (T5), perteneciendo figura 14 a, b y f al lado sur del museo y figura 14 c, d y e pertenecientes al lado norte del museo.



Figura 14. Collage de fotos tomadas en el museo donde se puede observar cómo se tomaron las mediciones con el vernier digital en la parte norte y sur del edificio.

## 10 RESULTADOS

### 10.1 Primera comparación de afectaciones en el museo

Para poder llevar a cabo la primera comparación de afectaciones en el museo se investigó los antecedentes de estas, en las siguientes imágenes se muestran las fotografías tomadas en el 2013 (Montalvo, 2013) junto a las tomadas en el 2022 en este trabajo, enfocándose en dos arcos afectados al norte y sur del museo (figura 15).

En las imágenes se muestra la diferencia en el ancho de afectación en los arcos, en particular, las fotos se muestran un corte y una adecuación de los arcos, tanto en el piso como en el techo de la cúpula y así dividir las estructuras en tres bloques, esto permite que se comporten de manera estructuralmente individual (figura 15). Mediante esta medida se retiraron los esfuerzos puntuales que se ejercían sobre la zona de fallamiento para evitar el colapso de cualquiera de los dos arcos. De manera puntual en la figura 15 a y c se observa un desnivel considerable tanto en el arco como en el suelo, así como una separación en el muro y un colapso en el elemento estructural que unía al arco y la columna; mientras que en la figura 15 b y d se observan en el lado sur del museo, afectaciones de separación en el centro del arco y en la pared.



Figura 15. Comparativa entre los arcos afectados en el museo 2013 y 2022 respectivamente. Fuente: Montalvo 2013.

## 10.2 Resultados del levantamiento de medición de patologías

Después del levantamiento de medición de grietas con la ayuda de un vernier digital, los resultados son los mostrados en la tabla 1. En los fisurómetros T1 y T2, no se pudo realizar una medición porque las grietas eran demasiado profundas.

Tabla 2. Resultados obtenidos en milímetros por el levantamiento de medición de grietas con el vernier digital sobre los fisurómetros colocados.

<b>Fisurómetro</b>	<b>Ancho de grieta (mm)</b>	<b>Profundidad de grieta (mm)</b>
T1	24.59	No se midió
T2	49.72	No se midió
T3	51.78	141.81
T4	6.14	38.61
T5	13.97	93.14
t1	2.20	132.5
t2	1.92	111.5
t3	3.84	No se midió
t4	7.12	No se midió
t5	2.58	14.5

**10.3 Resultados generales obtenidos por los fisurómetros del lado norte**

La siguiente tabla nos muestra los resultados obtenidos por los fisurómetros colocados del lado norte (T1, T3, t1 y t2). Como se puede observar, el mayor rango de movimiento que obtuvimos fue de -10 en el T1.

Tabla 3. Registro general de resultados en milímetros arrojados por los fisurómetros colocados en diferentes elementos estructurales del lado norte del museo. El signo negativo significa hundimientos en vertical y movimientos laterales hacia el sur en horizontal, y los valores en 0 significan que no tienen movimiento y los valores positivos son movimientos hacia arriba en vertical y hacia el norte en horizontal. (T1, T3, t1, t2) (mm).

Número y fecha de lectura	día	Fisurómetro1		Fisurómetro3		Fisurómetro1		Fisurómetro2	
		T1		T3		t1		t2	
		6x6cm		6x6cm		1.5x1.5cm		1.5x1.5cm	
		vertical		horizontal		Vertical		vertical	
		X	Y	X	Z	Y	Z	Y	Z
1 - 04/09/22	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2 -18/09/22	14	0	0	0	0	0	0	0	0
3 -09/10/22	35	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -16/10/22	42	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -30/10/22	56	0	0	0	0	0.5	0	0	0
6 -08/11/22	65	1	0	1	0	0.5	0	0	0
7 -24/11/22	81	1	-2	1	1	0.5	0	-0.5	0
8 -01/12/22	88	1	-2	1	1	0.5	0	-0.5	0
9 -15/01/23	133	2	-4	2	2	0.5	0	-0.5	0
10-12/02/23	161	3	-4	2	2	0.5	0	-0.5	0
11-03/03/23	180	5	-5	2	3	0.5	0	-0.5	0
12-02/04/23	210	5	-6	2	4	0.5	0	-0.5	0
13-12/05/23	250	5	-6	2	4	0.5	0	-0.5	0
14-13/06/23	282	5	-8	2	4	0.5	0	-0.5	0
15-13/07/23	313	6	-8	4	5	0.5	0	-0.5	0
16-20/08/23	351	7	-10	6	6.5	0.5	0	-0.5	0

**10.4 Resultados individuales obtenidos por cada fisurómetro del lado norte del museo**

En el siguiente apartado se muestran los resultados individuales por cada fisurómetro representados gráficamente.

10.4.1 Graficas de fisurómetros colocados en piso directamente en los labios de la falla del lado norte del museo

En la siguiente figura tenemos grafica 1 que representa desplazamientos verticales a la traza de la falla es decir hundimientos entre los labios de la falla (eje Y) y grafica 2 que representa movimientos de apertura y deslizamiento a la traza de la falla (eje X y eje Z).

En la gráfica 1 se muestran los resultados del T1 obteniendo desplazamientos perpendiculares máximos del orden de -10 mm en el eje Y y 7 mm en el eje X respectivamente, mientras que en la gráfica 2 se muestran los resultados obtenidos por el T3 registrando movimientos de apertura y deslizamiento máximos del orden de 6mm en eje X y 6.5mm en eje Z.

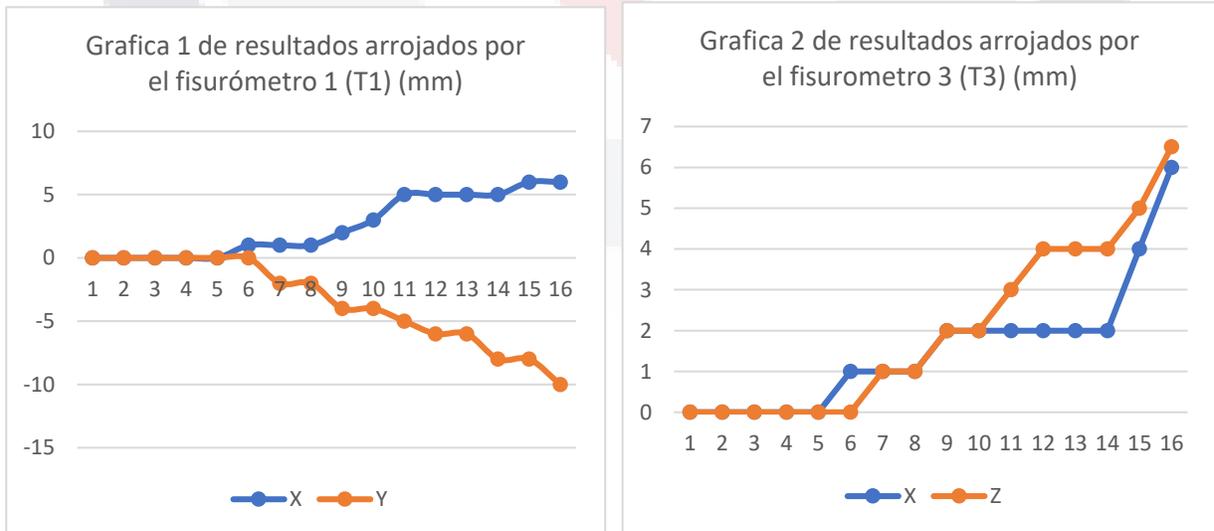


Figura 16. Grafica 1 representa los resultados obtenidos por el T1 y grafica 2 representa resultados obtenidos por el T3 del lado norte del museo.

10.4.2 Graficas de fisurómetros colocados en elementos estructurales (columnas) más cercanos a la traza de la falla

En la siguiente figura tenemos grafica 3 y 4 que representan movimientos en cizalla (eje Z) y verticales (eje Y) en elementos estructurales, columna 1 y 2 respectivamente.

En la gráfica 3 se muestran los desplazamientos obtenidos por el t1 obteniendo un movimiento máximo de 0.5mm en eje Y y en la gráfica 4 que representa resultados obtenidos por el t2 de igual manera obtuvimos un movimiento máximo de 0.5mm en eje Y.

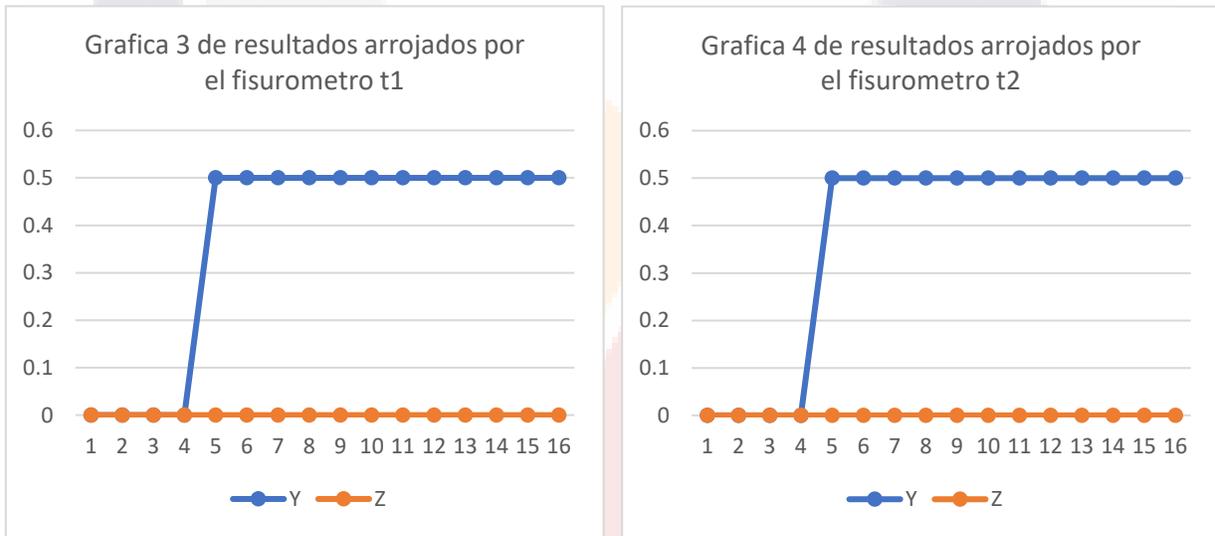


Figura 17. Grafica 4 correspondiente a los resultados obtenidos por el t1 de 1.5 x 1.5mm y grafica 2 representando los resultados obtenidos por el t2 de 1.5 x 1.5mm.

**10.5 Resultados generales obtenidos por cada fisurómetro del lado sur del museo**

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos por los fisurómetros colocados del lado sur del museo (T2, T4, t3, t4 y t5) en la cual se muestra que los movimientos máximos obtenidos fueron en el orden de 5mm en el eje X y 4mm en el eje Z respectivamente registrados por el T2. Los resultados mostrados en la tabla representados con una línea similar al signo negativo (-) significa que los fisurómetros están expuestos a la intemperie y

a partir de esa fecha ya no hubo medición debido a que sufrieron algún daño y las mediciones ya no eran confiables.

Tabla 4. Registro general de resultados en milímetros arrojados por los fisurómetros colocados en diferentes elementos estructurales del lado sur del museo (T2, T4, T5, t1, t2,t3) (mm)

Número y fecha de lectura	día	Fisurómetro2		Fisurómetro4		Fisurómetro5		Fisurómetro3		Fisurómetro4		Fisurómetro5	
		T2 6x6cm		T4 6x6cm		T5 6x6cm		t3 1.5x1.5cm		t4 1.5x1.5cm		t 5 1.5x1.5cm	
		horizontal		vertical		vertical		vertical		vertical		vertical	
		X	Z	X	Y	Y	Z	Y	Z	Y	Z	Y	Z
1-04/09/22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-18/09/22	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-09/10/22	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-16/10/22	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-30/10/22	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-08/11/22	65	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-24/11/22	81	2	2	0	0	2	0	0	0	0.5	0	0	0
8-01/12/22	88	2	2	0	0	2	-1	0	0	0.5	0	0	0
9-15/01/23	133	2	2	0	0	2	-1	0	0	0.5	0	0	0
10-12/02/23	161	2	2	0	0	2	-1	0	0	0.5	0	0	0
11-03/03/23	180	3	2	0	0.5	2	-2	0.5	-0.5	0.5	0	0.5	0
12-02/04/23	210	4	2	0	0.5	2	-2	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	0
13-12/05/23	250	4	2	0	0.5	2	-2	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	0
14-13/06/23	282	4	2	0	0.5	-	-	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	0
15-13/07/23	313	5	4	0	0.5	-	-	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	0
16-20/08/23	351	-	-	1	0.5	-	-	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	0

**10.6 Resultados individuales obtenidos por cada fisurómetro del lado sur del museo**

10.6.1 Graficas de fisurómetros colocados en piso del lado sur del museo

En el siguiente apartado se muestran los resultados individuales por cada fisurómetro colocado del lado sur del museo.

En la figura 18 se presenta la grafica 5 que representa movimientos de apertura y desplazamiento (eje X y eje Y) registrados por el T2 así como la gráfica 6 que representa desplazamientos verticales (eje Y), es decir hundimientos a la traza de la falla registrados por el T4.

En la en la gráfica 5 se muestran los resultados obtenidos por el T2 el cual registro movimientos de apertura y deslizamiento máximos del orden de 5mm en eje X y 4mm en eje Z respectivamente, mientras que, en la gráfica 6 se muestran los resultados del T4 obteniendo desplazamientos perpendiculares máximos del orden de 0.5 mm en el eje Y y 1 mm en el eje X respectivamente.

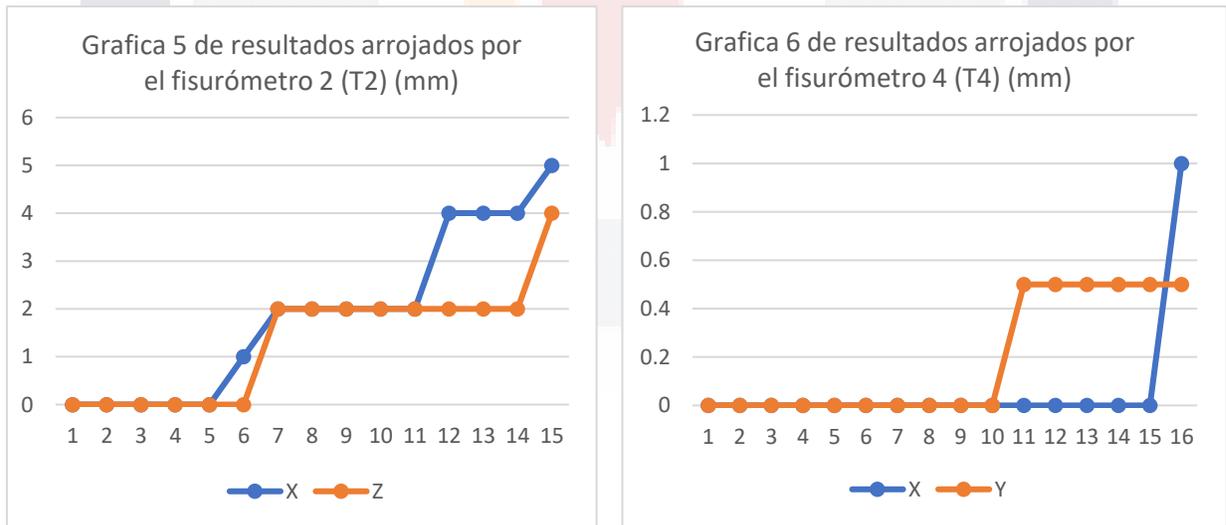


Figura 18. La grafica 5 representa los resultados obtenidos por el fisurómetro T2 y la grafica 6 representa los resultados obtenidos por el T4. El eje Y en los gráficos indica los desplazamientos en milímetros y el eje X representa el número de lecturas.

10.6.2 Gráficas de fisurómetros colocados en elementos estructurales más cercanos a la traza de la falla

En la figura 19 se muestran las graficas 7, 8 y 9 que representan movimientos en cizalla (eje Z) y verticales (eje Y) en elementos estructurales, columna 3, 4 y 5 respectivamente.

En la gráfica 7 se muestran los desplazamientos obtenidos por el t3 obteniendo un movimiento máximo de 0.5mm en eje Y y -0.5mm en eje Z, la gráfica 8 representa resultados obtenidos por el t4 del cual obtuvimos un movimiento máximo de 0.5mm en eje Y y 0.5mm en eje Z, la gráfica 9 nos representa los desplazamientos obtenidos por el t5 obteniendo únicamente movimiento en eje Y de 0.5mm y por ultimo tenemos la gráfica 10 la cual nos representa los desplazamientos obtenidos por el T5 colocado en grieta sobre la guarnición de la jardinera que rodea el árbol del lado sur del museo registrando movimientos de hasta 2mm en eje Y y -2mm en eje Z lo cual nos muestra movimientos posiblemente ocasionados por hundimiento del árbol y/o crecimiento de las raíces del mismo provocando afectaciones directas en el piso y guarnición de la jardinera.

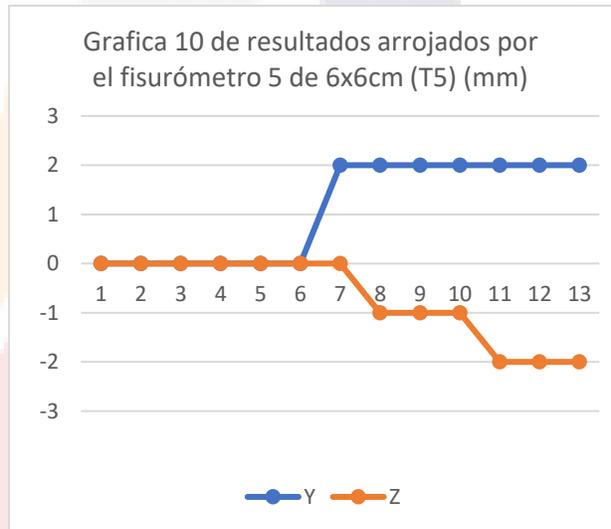
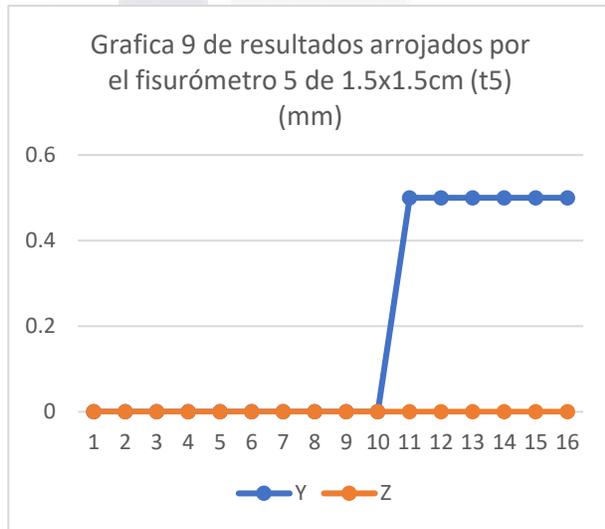
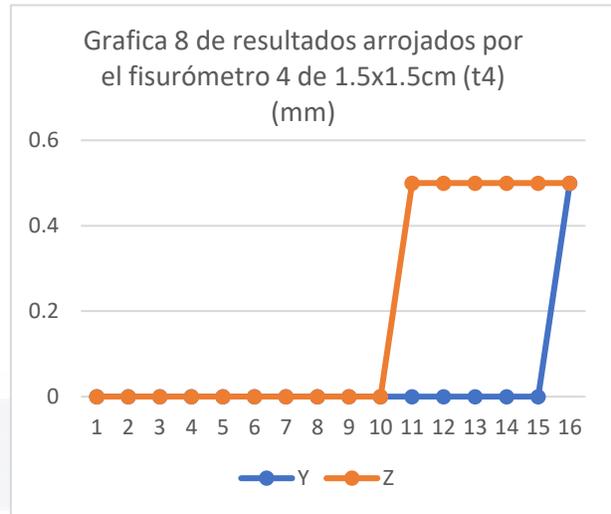
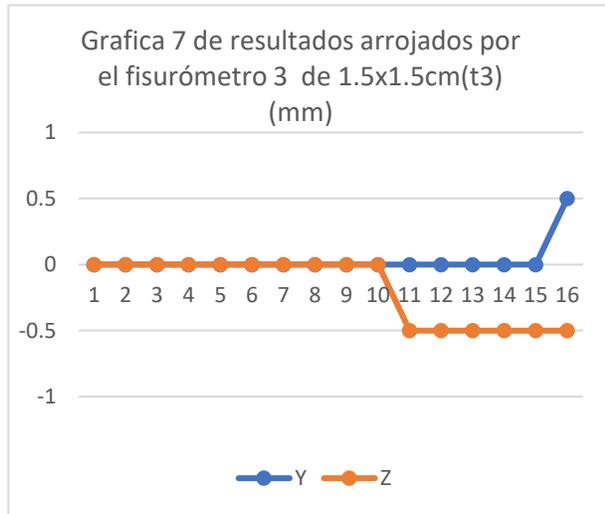


Figura 19. Grafica 7, 8 y 9 representan movimientos en elementos estructurales como columnas de los fisurómetros t3, t4 y t5 de 1.5x1.5cm respectivamente y la gráfica 10 representa los desplazamientos en guarnición de jardinera correspondientes al T5 de 6x6cm. El eje Y en los gráficos indica los desplazamientos en milímetros y el eje Z representa el número de lecturas.

## 11 PRIMER ESCANEO EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA EN PABELLON DE HIDALGO, AGUASCALIENTES

El día 6 de marzo del 2023 se realizó el primer escaneo de 2 programados en el museo de la Insurgencia. El segundo escaneo se llevó a cabo el día 01 de septiembre de 2023, teniendo una diferencia de 6 meses entre los mismos, estos escaneos se realizaron con la estación de escaneo Leica p40 con capacidad de capturar un millón de puntos por segundo. Se realizó esta particular medición con la finalidad de hacer una comparativa entre los dos escaneos para detectar con mayor precisión los posibles movimientos tridimensionales que realice la falla sobre la estructura del edificio colocando la estación de escaneo en 5 diferentes puntos del museo y permitiendo el giro de la estación en 360°, con el apoyo de 8 dianas (ver figura 20b) colocándolas en diferentes puntos estratégicos como puntos de referencia para la estación y así poder capturar con mejor precisión la mayor cantidad de puntos posibles, y a su vez, tener una mejor resolución en las imágenes. Los datos se descargaron y procesaron en el software *Cyclone-navigator*, del laboratorio de cómputo del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) en Guadalajara Jalisco.



Figura 20. a) Estación de escaneo con la que se realizó el estudio, b) dianas de apoyo para la ejecución de este mismo.

Una vez procesados los datos en el software *Cyclone-navigator*, se enviaron posteriormente al software Recap debido a que en el software Cyclone-navigator no cuenta con licencia estudiantil.

Los resultados presentados a continuación son imágenes de la nube de puntos que resultó del procesamiento de datos generado por el escaneo en el museo, en el cual se pueden hacer mediciones y cambiar los contrastes para mayor visibilidad en afectaciones, según convenga la posición de la imagen en el software

### **11.1 Resultados del primer escaneo en el lado sur del museo**

En la figura 21 se observan diferentes ángulos y contrastes del arco más afectado del lado sur del museo, la figura muestra a) una vista completa del museo para una mejor perspectiva del inmueble que se está trabajando; b) y d) la vista frontal de afectación en el arco a mayor detalle; c) la vista de afectación por debajo del arco, observándose directamente como es que se parte la cúpula afectada; y e) la afectación en la cúpula desde una vista aérea observándose como es que la misma esta partida en 2 secciones. Como se puede observar en general en esa figura, algunas características del lado sur del museo muestran una separación tanto vertical como horizontal de centímetros.

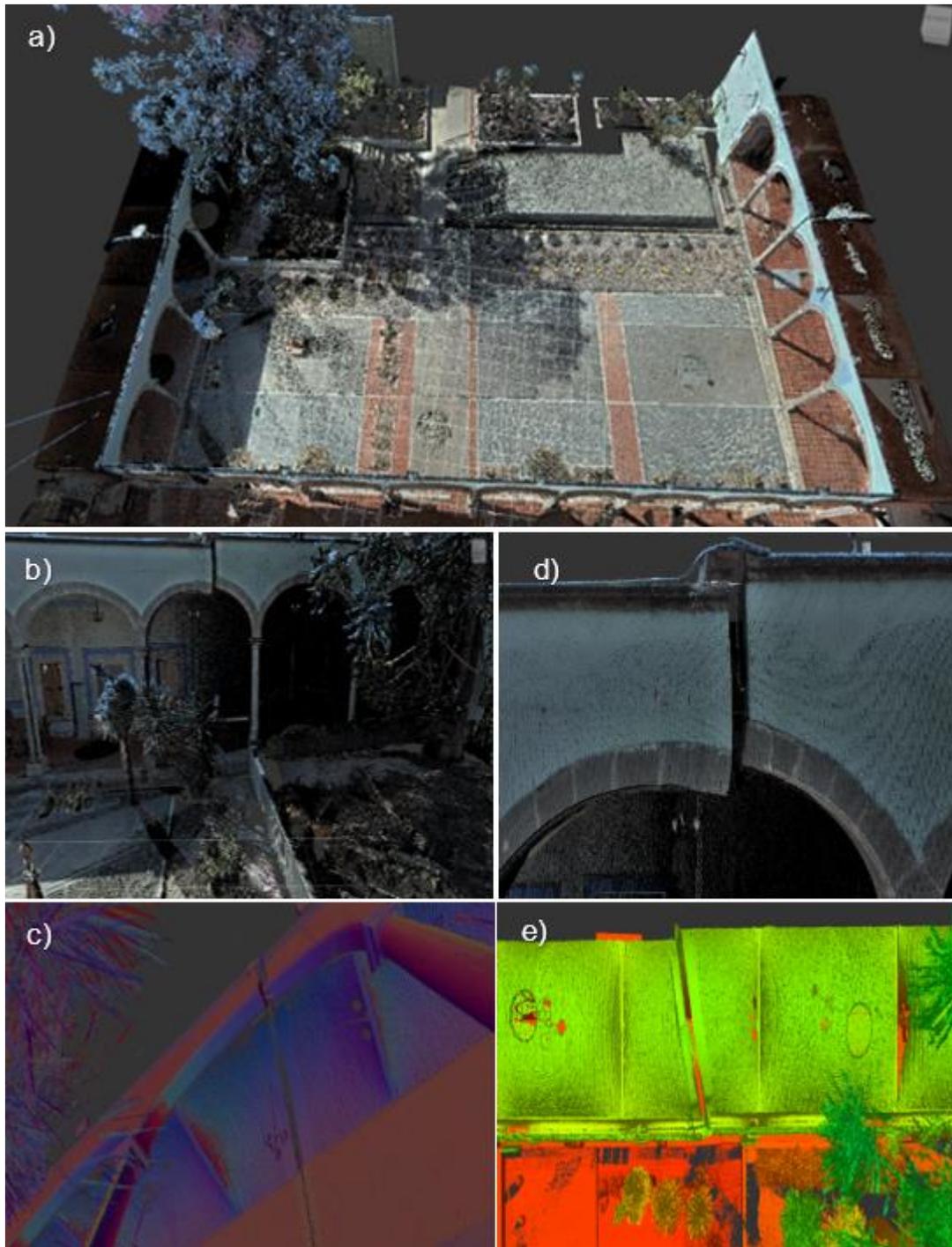


Figura 21. Imágenes de afectaciones en el lado sur del museo creadas con el software Recap

**11.2 Resultados del primer escaneo en el lado norte del museo**

En la figura 22 se muestran también diversas características del arco más afectado del lado norte del museo. La figura muestra: a) y b) la afectación en el arco del lado norte; c) las afectaciones por debajo del arco, observándose directamente la cúpula dañada; d) la afectación en la cúpula desde una vista aérea, observándose como es que la misma esta partida en 2 secciones; y e) y f) la afectación en el suelo, siendo la misma imagen solo con diferente contraste para una mayor resolución en las afectaciones.

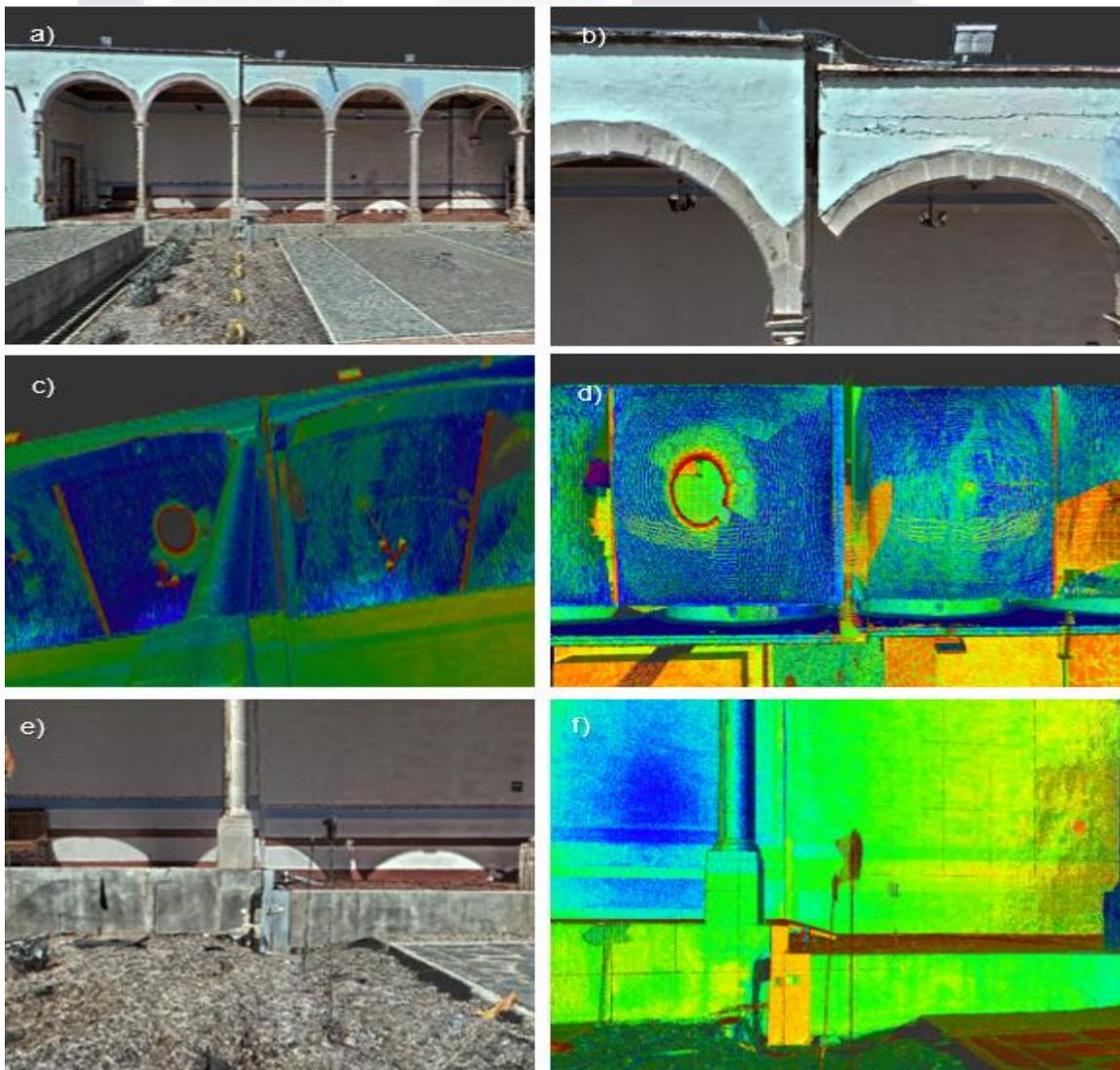


Figura 22. Mosaico de imágenes en el software Recap de afectaciones en el lado norte del museo.

## 12 SEGUNDO ESCANEO EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA EN PABELLON DE HIDALGO, AGUASCALIENTES

A continuación, se muestran los resultados del segundo escaneo tanto en el lado sur como en el lado norte del museo.

### 12.1 Resultados del segundo escaneo en el lado sur del museo

Al igual que la figura 21, en la figura 23 se muestran los resultados del escaneo en un mosaico de imágenes, siendo estas, a) y b) la vista frontal del arco y el detalle de sus afectaciones, c) y d) las afectaciones por debajo del arco se puede observar cómo se parte la cúpula afectada a través de diferentes contrastes en la imagen; y e) y f) la cúpula afectada desde una vista aérea observándose, su partición en 2 secciones con diferente resolución para una mayor visibilidad de la afectación ala estructura.

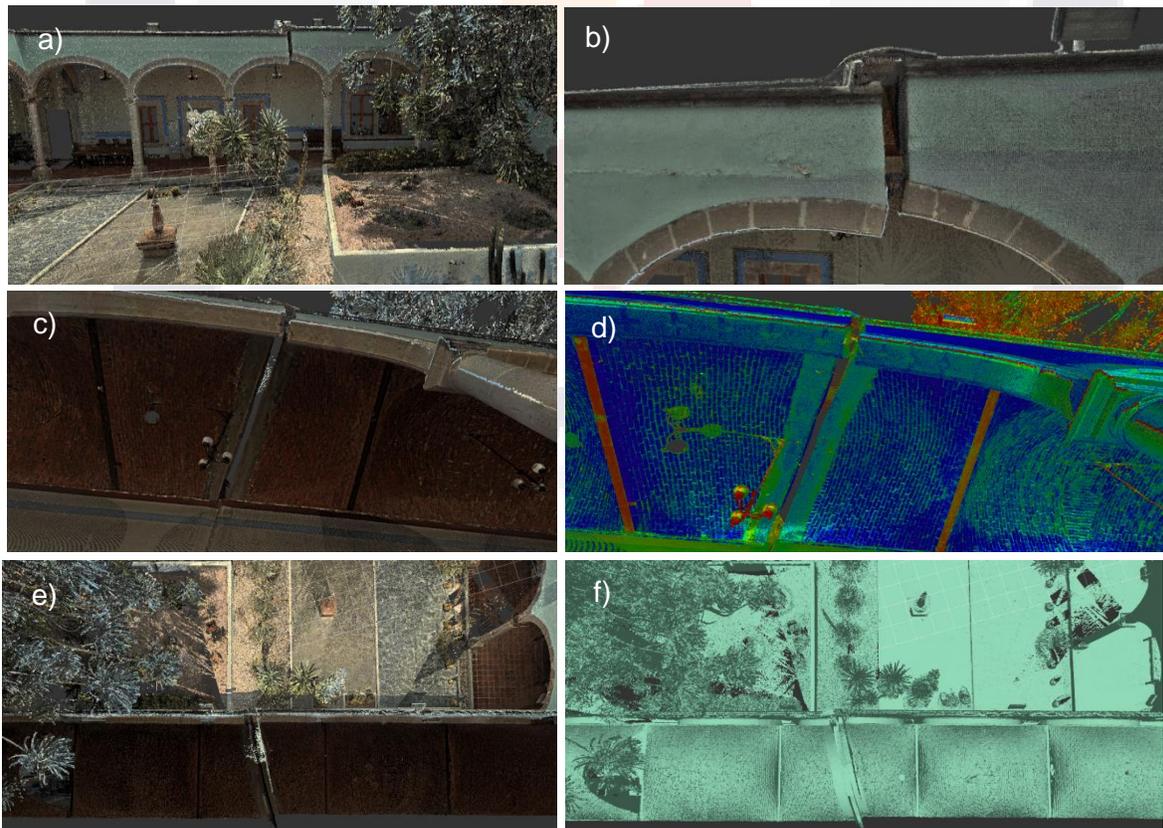


Figura 23. Collage de imágenes capturadas con ayuda del software Recap.

### 12.2 Resultados del segundo escaneo en el lado norte del museo

En la figura 24 se puede apreciar los mismos elementos que en la figura 22, siendo estos: a) y b) el frente del arco, c) y d) las afectaciones al frente y debajo del arco; e) y f) la afectación en la cúpula y su partición en 2 partes.

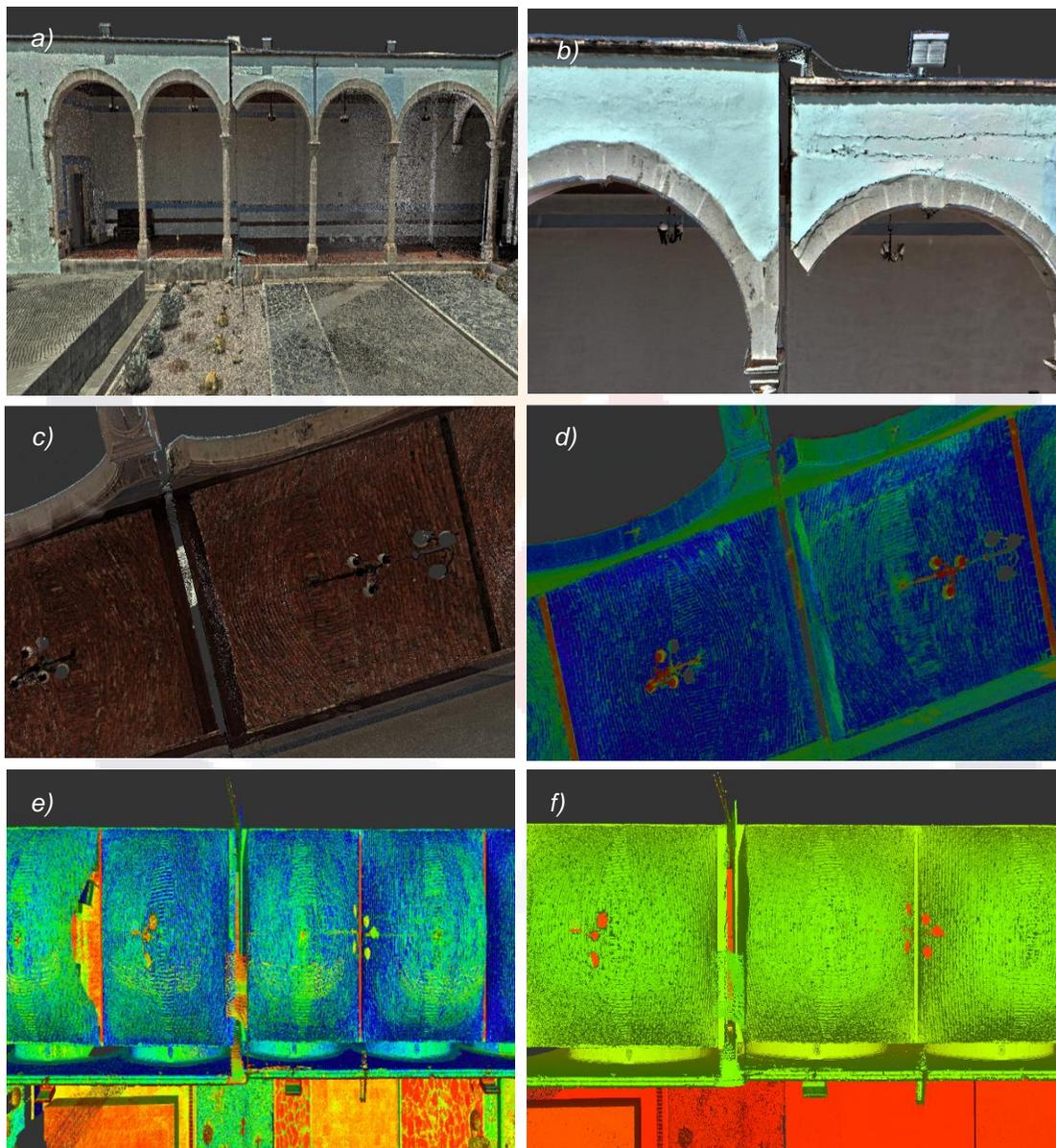


Figura 24. Imágenes capturadas con el ayuda del software Recap del lado norte del museo

### 13 RESULTADOS ENTRE LAS COMPARATIVAS DE LOS ESCANEOS REALIZADOS Y LOS FISUROMETROS COLOCADOS EN EL MUSEO DE LA INSURGENCIA

A continuación, se presentan los resultados de un análisis comparativo de desplazamientos en dos puntos seleccionados de los arcos norte y sur. Es importante mencionar que sería óptimo realizar una tercera medición con al menos otros 6 meses de diferencia con respecto al segundo escaneo, esto para reducir el rango de error el cual es de 1mm por cada punto levantado del proceso comparativo, aunque por falta de tiempo se quedó pendiente el tercer escaneo.

#### 13.1 Comparativa final de escaneos del lado norte

El resultado de la comparativa entre los dos estudios realizados en el museo del lado norte se puede observar en la figura 25, en donde se compararon los desplazamientos en un puntos de la fractura en la base de la estructura, y en la que, a partir de una lectura inicial en el primer escaneo (derivada de los registros en los fisurómetros) de 4 mm en el eje Z, 5 mm en el eje X y -6 mm en el eje Y, se agregan desplazamientos de 2.5 mm (para un acumulado de 6.5 mm) en el eje Z, 1 mm (para un acumulado de 6 mm) en el eje X, y - 4 mm (para un acumulado de -10 mm) en el eje Y.

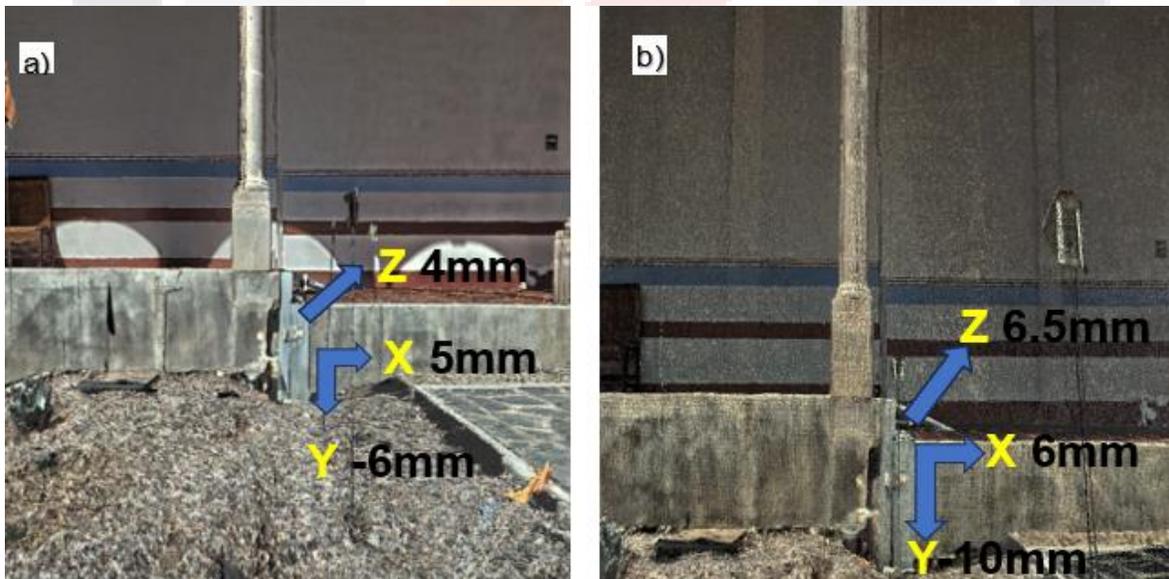


Figura 25. Comparativa de movimientos registrados en el lado norte del museo por el escáner Leica P40 con una diferencia de 6 meses entre los 2 estudios. a) resultados del primer estudio, b) resultados del segundo estudio.

### 13.2 Comparativa final de escaneos en el lado sur

Por su parte, la figura 26 muestra la comparación de desplazamientos en un punto encima de los arcos en el lado sur. Como en el caso anterior, se muestran los desplazamientos iniciales derivados de las mediciones en los fisurómetros, los cuales son 2 mm en el eje Z, 4 mm en el eje X y 0 mm en el eje Y. Ahora derivados de las mediciones del segundo escaneo se agregan: 2 mm (para un acumulado de 4 mm) en el eje Z, 0 mm en el eje X, lo que indica sin movimiento en ese eje, y 1 mm en el eje Y.

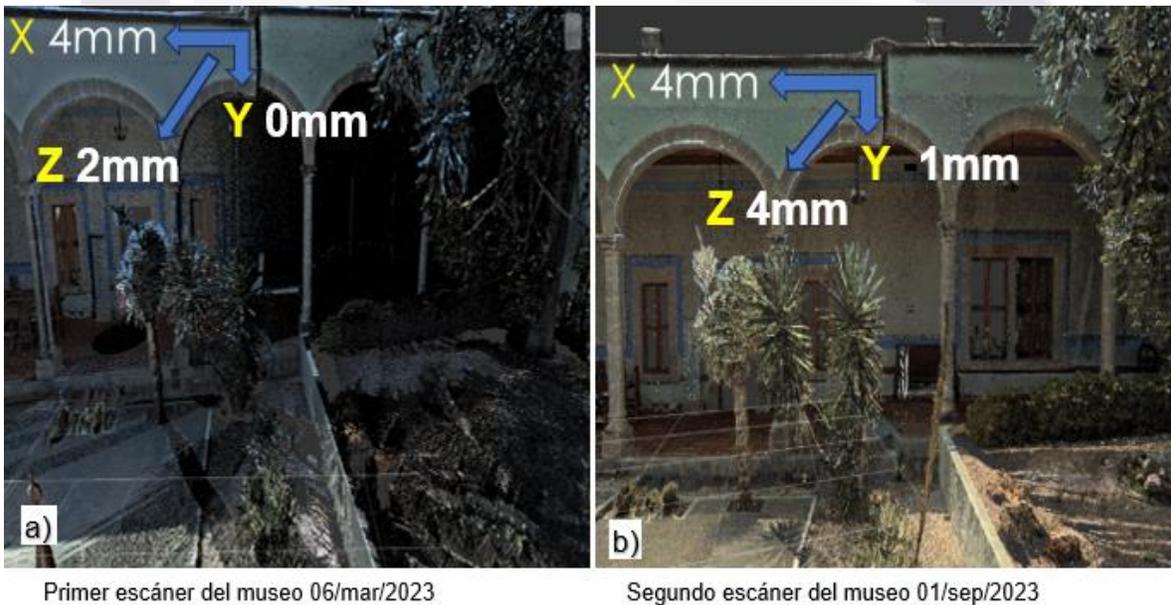


Figura 26. Comparativa de movimientos registrados en el lado sur del museo por el escáner Leica P40 con una diferencia de 6 meses entre los 2 estudios, a) resultados iniciales y b) resultados del segundo escaneo..

## 14 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 14.1 Resultados finales entre escaneos laser y fisurómetros fijos en el museo de la Insurgencia

Como resultados generales de este La falla geológica que atraviesa el museo de la insurgencia divide el inmueble en 3 grandes bloques que trabajan de manera independiente estructuralmente, como se observa en la figura 27, de ellos, el bloque 1 es el más grande, cubriendo las partes norte y sur del museo. Por su parte el bloque 2 se encuentra en el lado sur del museo presentando afectaciones en el suelo y elementos estructurales cercanos a la traza de la falla, mientras que el bloque 3 que se encuentra del lado norte del museo que aún no presenta afectaciones aparentes a causa de la falla. A continuación, se describen las afectaciones presentadas en cada uno de los bloques estructurales.

**Bloque 1:** Resultó en la parte con más desplazamientos y quizás más afectada del inmueble por la falla, en ese bloque el lado norte presentó los siguientes desplazamientos: -10 mm en el eje Y (hundimientos); 6 mm en el eje X, es decir movimientos perpendiculares a la traza de la falla; y 6.5 mm en el eje Z, es decir movimientos paralelos a la traza de la falla del lado norte del bloque. En el lado sur por su parte, se observaron desplazamientos de -1mm en el eje Y (hundimientos), 4 mm en el eje X (perpendiculares a la traza de la falla), y 4 mm en el eje Z (paralelos a la traza de la falla), siendo la parte norte la que presentó una mayor afectación por la dinámica de la falla. Este bloque sigue presentando afectaciones en elementos constructivos como muros y piso.

**Bloque 2:** Las patologías presentadas tanto en el suelo como en elementos estructurales (columnas) de este bloque, están siendo causadas por el probable crecimiento de las raíces del árbol y quizás en menor proporción la falla. En este bloque se observaron elevaciones del suelo y fracturas en guarniciones cercanas al árbol, ya que según los datos arrojados por los fisurómetros los movimientos en la zona de la jardinera donde se encuentra el árbol son contrarios a los movimientos del bloque 1 y que se asumen completamente relacionados a la falla geológica.

**Bloque 3:** No presenta movimiento

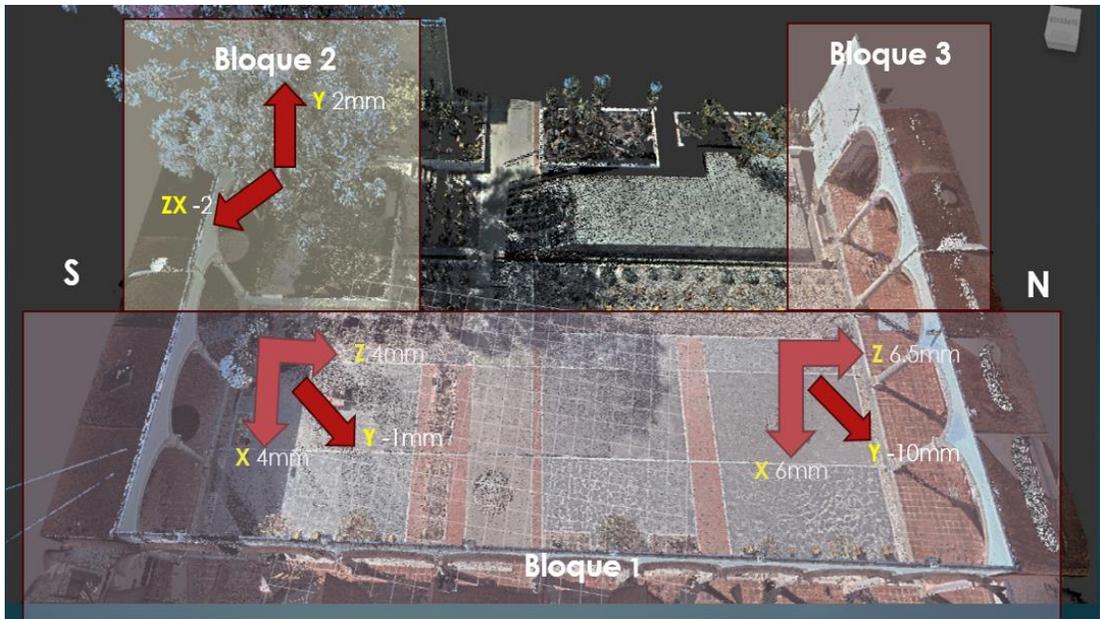


Figura 27. Imagen en la cual se muestran los movimientos en milímetros y la dirección de dichos movimientos después de una monitorización de 351 días.

**14.2 Comparativa de desplazamientos con estudio de hace 10 años por Montalvo (2013)**

Realizando una comparativa entre los resultados de éste trabajo (2023) con el realizado en 2013 por Montalvo (2013), podemos observar que el máximo desplazamiento vertical a la falla en el 2013 a lo largo de 202 días fue de -10 mm (eje Y) y de 2 mm en desplazamientos perpendiculares (eje X). En este trabajo, es decir, entre 2022 y 2023 para un periodo de medición 351 días se obtuvo un desplazamiento máximo vertical a la falla (eje Y) de -10 mm, aunque solo en el lado norte, mientras que en el lado sur se registró un desplazamiento de -1 mm en ese eje. Por su parte, en cuanto a desplazamientos perpendiculares se obtuvo 6 mm en el lado norte y 4mm en el lado sur. Los cuales son menores a los obtenidos en 2013, remarcando que en aquel trabajo el periodo de medición fue menor.

Concluyendo así que del lado norte la falla geológica se sigue comportando de la misma manera que hace 10 años teniendo casi el mismo rango de movimiento y dirección y en cuanto al lado sur casi se comporta de la misma manera refiriéndose a desplazamientos Figura 25. Imagen en la cual se muestran los movimientos perpendiculares a la traza de la falla y en movimientos verticales en este estudio casi fueron nulos los movimientos (eje Y).

## 15 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-Lara, F., Pacheco-Martínez, J., Luna-Villavicencio, H., Hernández-Marín, M., & González-Cervantes, N. (2020). Infiltration of surface water through subsidence failure assessment applying electric prospecting, case Aguascalientes Valley, Mexico. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 5–9. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-5-2020>
- Aranda-Gómez, J. J. (1989). Geología Preliminar del graben de Aguascalientes. In *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* (Vol. 8, Issue 1, pp. 22–33). <http://satori.geociencias.unam.mx/revista.html>
- Arranz-Justel, J. J. (2013). Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial. 499. <https://oa.upm.es/15056/>
- Chanfón Olmos, C. (1974). El castillo palacio de don Hernando cortes en Cuernavaca. Legajo 267. Expediente 14 en el archivo del hospital de Jesús. Pp. 299-319.
- Hernández-Marín, M., & Burbey, T. J. (2010). Controls on initiation and propagation of pumping-induced earth fissures: Insights from numerical simulations. *Hydrogeology Journal*, 18(8), 1773–1785. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0642-9>
- Láriz Medina, M. de J. (2013). Centro De Ciencias Del Diseño Y De La Construcción Departamento De Geotecnia E Hidráulica. In *Análisis de daños estructurales en edificaciones por discontinuidades geológicas superficiales en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes*. Tesis de maestría de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. pp. 214 páginas. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/587>
- López-Doncel, R., Mata-segura, J. L., Cruz-Márquez, J., Arzate-flores, J., y Pacheco-Martínez, J. (2006). Riesgo geológico para el patrimonio histórico. Ejemplos del centro histórico de la ciudad de San Luis Potosí. *Boletín de la sociedad geologica mexicana*. Nom. Especial de geología urbana. Tomo LVIII 1. Num 2, pp. 259-263.

- Merlo Navarrete, A., y Guerrero Vinueza, M. B. (2022). Evaluación y propuestas de soluciones a las patologías presentes en mampostería portante, cubiertas e instalaciones en viviendas patrimoniales de la ciudad de Alausí. pp. 389. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/20198>
- Montalvo Delgado, H. D. (2013). Análisis mediante simulaciones numéricas de daños estructurales asociados al agrietamiento superficial en el “museo de la insurgencia”, Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes. pp. 119.
- Pacheco-Martínez, J., Cabral-Cano, E., Wdowinski, S., Hernández-Marín, M., Ortiz-Lozano, J., y Zermeño-de-León, M. (2015). Application of InSAR and Gravimetry for Land Subsidence Hazard Zoning in Aguascalientes, Mexico. *Remote Sensing*, 7(12), 17035–17050. <https://doi.org/10.3390/rs71215868>
- Pacheco-Martínez, J., Hernández-Marín, M., Burbey, T. J., González-Cervantes, N., Ortiz-Lozano, J. Á., Zermeño-De-Leon, M. E., y Solís-Pinto, A. (2013). Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology*, 164(July), 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.06.015>
- Ramírez Cortés, A. (2015). Evaluación de patologías y desempeño estructural en viviendas afectadas por el fenómeno de subsidencia en la localidad de Jocotepec, Jalisco, México. Tesis de maestría en Universidad Autónoma de Aguascalientes. pp 1–185.
- Serrano, F., Saumell, J., & Berenguer, F. (2014). Análisis de resultados métricos de una nube de puntos y una medición directa en el patrimonio edificado. El Santuario de La Montaña en Cáceres. *Informes de La Construcción*, 66(534), e016. pp 1-7. <https://doi.org/10.3989/ic.12.059>
- Sheng, Z., Helm, D. C., & Li, J. (2003). Mechanisms of earth fissuring caused by groundwater withdrawal. *Environmental and Engineering Geoscience*, 9(4), 351–362. <https://doi.org/10.2113/9.4.351>
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra Una introducción a la geología física. In *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geofísica*. Pearson Educación S. A., Madrid. pp 736.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Terán Bonilla, A. J. (2004). Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. *Conserva*, 101–122.

Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 17.3, 295.  
[www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/199932/267375](http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/199932/267375)

Viviescas, J. C. (2010). Grietas en construcciones ocasionadas por problemas geotécnicos. pp. 177. <https://core.ac.uk/download/pdf/47251294.pdf>

Zermeño de León, M. E., Mendoza Otero, E., y Calvillo Silva, G. (2004). Medición del hundimiento y modelo para estudiar el agrietamiento de la ciudad de Aguascalientes. In *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes: Vol. ISSN-e 166* (Issue 31, pp. 35–40).