



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

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

TESIS

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y EVALUAR
TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA COMO HERRAMIENTAS PARA LA
REALIZACIÓN DEL MAPEO DE PATOLOGÍAS EN ELEMENTOS PATRIMONIALES**

PRESENTA

ARQ. ANAYARI VELIA GUADALUPE SÁNCHEZ LÓPEZ

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

TUTOR

DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA

COMITÉ TUTORIAL

DR. RUBÉN ALFONSO LÓPEZ DONCEL

DR. RAUDEL PADILLA CENICEROS

AGUASCALIENTES, AGS; 27 DE MAYO DE 2021

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

DR. EN C. T. C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente como **TUTOR** designado de la estudiante **ANAYARI VELIA GUADALUPE SÁNCHEZ LÓPEZ** con ID **249350** quien realizó la tesis titulado: **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y EVALUAR TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA COMO HERRAMIENTAS PARA LA REALIZACIÓN DEL MAPEO DE PATOLOGÍAS EN ELEMENTOS PATRIMONIALES**, 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 ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a día 27 de mayo de 2021.

DR. MIGUEL ANGEL SOTO ZAMORA
Tutor de Tesis

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

DR. EN C. T. C. HÉCTOR HOMERO POSADA AVILA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente como **COTUTOR** designado del estudiante **ANAYARI VELIA GUADALUPE SÁNCHEZ LÓPEZ** con ID 249350 quien realizó la tesis titulado: **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y EVALUAR TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA COMO HERRAMIENTAS PARA LA REALIZACIÓN DEL MAPEO DE PATOLOGÍAS EN ELEMENTOS PATRIMONIALES**, 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 ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 27 día de mayo de 2021.


DR. RUBÉN ALFONSO LÓPEZ DONCEL
Cotutor de tesis

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

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

DR. EN C. T. C. HÉCTOR HOMERO POSADA AVILA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **ANAYARI VELIA GUADALUPE SÁNCHEZ LÓPEZ** con ID 249350 quien realizó la tesis titulado: **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y EVALUAR TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA COMO HERRAMIENTAS PARA LA REALIZACIÓN DEL MAPEO DE PATOLOGÍAS EN ELEMENTOS PATRIMONIALES**, 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 ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

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

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 27 día de mayo de 2021.


DR. RAUDEL PADILLA CENICEROS
Asesor de tesis

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



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



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 27/05/2021

NOMBRE: ANAYARI VELIA GUADALUPE SÁNCHEZ LÓPEZ ID 249350

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

TIPO DE TRABAJO: [X] Tesis [] Trabajo Práctico

TÍTULO: PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR Y EVALUAR TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA COMO HERRAMIENTAS PARA LA REALIZACIÓN DEL MAPEO DE PATOLOGÍAS EN ELEMENTOS PATRIMONIALES

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): ESTA TESIS APORTA AL ÁMBITO DE LA CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO AL PERMITIR REALIZAR PROCESOS DE MAPEO LITOLÓGICO Y DE PATOLOGÍAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO NOVEDOSO Y DE BAJO COSTO.

| 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 |
| NO | | | | Generó transferencia del conocimiento o tecnológica |
| SI | | | | Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio) |
| <i>El egresado cumple con lo siguiente:</i> | | | | |
| SI | | | | Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia |
| SI | | | | Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc) |
| SI | | | | Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor |
| N.A. | | | | 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 Nivel 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 DESCRIPCIÓN: DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA
 NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO: DR. ALEJANDRO HERNÁNDEZ MARRÍN
 * En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del IAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano
 Revisó: DR. ALEJANDRO SOSTA COLLADO
 Autorizó: Dr. EN C. T. C. VICTOR HERNÁNDEZ POSADA VIVERA

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 entrega del informe del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, revisar el ingreso de los alumnos.

Agradecimientos

A Dios por ayudarme a que esto fuera posible.

A todas las personas que conforman CONACYT, que hacen posible que estos apoyos lleguen a mexicanos, gustosos y entusiastas por la investigación.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por los recursos, el apoyo y motivación.

A mis maestros y tutores que estuvieron todo este tiempo guiando, impulsando y brindando una asesoría, un consejo y una palabra de aliento a seguir bajo las circunstancias de esta pandemia.

Super agradecida con toda mi familia. Que estuvieron siempre apoyándome y alentándome a seguir. Por comprenderme en mis días de estrés y estar siempre ahí.

A todas las personas que me brindaron su apoyo durante este proceso.

A la pandemia COVID-19 que me enseñó que la vida es tan efímera, que los planes no existen y que lo único que tenemos es el ahora.

Dedicatorias

A mis papás Enrique y Velia. Que han estado a mi lado apoyándome siempre.



Índice general

Índice general 1

Índice de tablas 3

Índice de figuras 4

Acrónimos..... 9

Resumen..... 10

I.- INTRODUCCIÓN..... 13

 1.1 Prólogo 13

 1.2 Objetivo general..... 14

 1.3 Objetivos particulares 14

 1.4 Alcances..... 15

 1.5 Justificación 16

 1.6 Hipótesis..... 16

 1.7 Metodología..... 16

II.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO..... 18

 2.1 Definición de fotogrametría 18

 2.2 Historia de la fotogrametría 18

III.- MARCO TEÓRICO 26

 3.1 Historia de la fotogrametría 26

 3.2 Historia de la fotogrametría en México 26

 3.3 ¿Qué es la fotogrametría? 27

 3.4 Clasificación de la fotogrametría..... 27

 3.5 ¿Qué es un Levantamiento?..... 30

 3.6 Patologías..... 30

 3.7 Clasificación de patologías..... 30

 3.8 ¿En qué consiste el mapeo? 55

 3.9 Fotogrametría, mapeo y patologías en la conservación de edificios históricos 56

IV.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... 60

 4.1 Proceso 62

 4.2 Selección de monumento 62

| | |
|--|------------|
| 4.3 Levantamiento fotográfico | 64 |
| 4.4 Equipo..... | 65 |
| 4.5 Modelado 3D..... | 66 |
| | 80 |
| V.- RESULTADOS..... | 81 |
| 5.1 Mapeo litológico | 81 |
| 5.2 Mapeo de patologías con modelo 3D | 89 |
| 5.3 Mapeo de patologías <i>in situ</i> | 93 |
| 5.4 Mapeo de intensidades..... | 97 |
| 5.6 Comparación de mapeos..... | 101 |
| 5.7 Tiempos y recursos | 105 |
| VI.- CONCLUSIONES..... | 107 |
| 6.1 Conclusión general | 107 |
| 6.2 Conclusiones particulares..... | 107 |
| 6.3 Nichos de investigación..... | 108 |
| Referencias bibliográficas..... | 109 |
| VII.- ANEXOS | 113 |

Índice de tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la fotogrametría de corto rango. Elaboración propia 29

Tabla 2 Resumen de rocas que conforman la cara poniente. Elaboración propia..... 85

Tabla 3 Resumen de rocas que conforman la cara sur. Elaboración propia 86

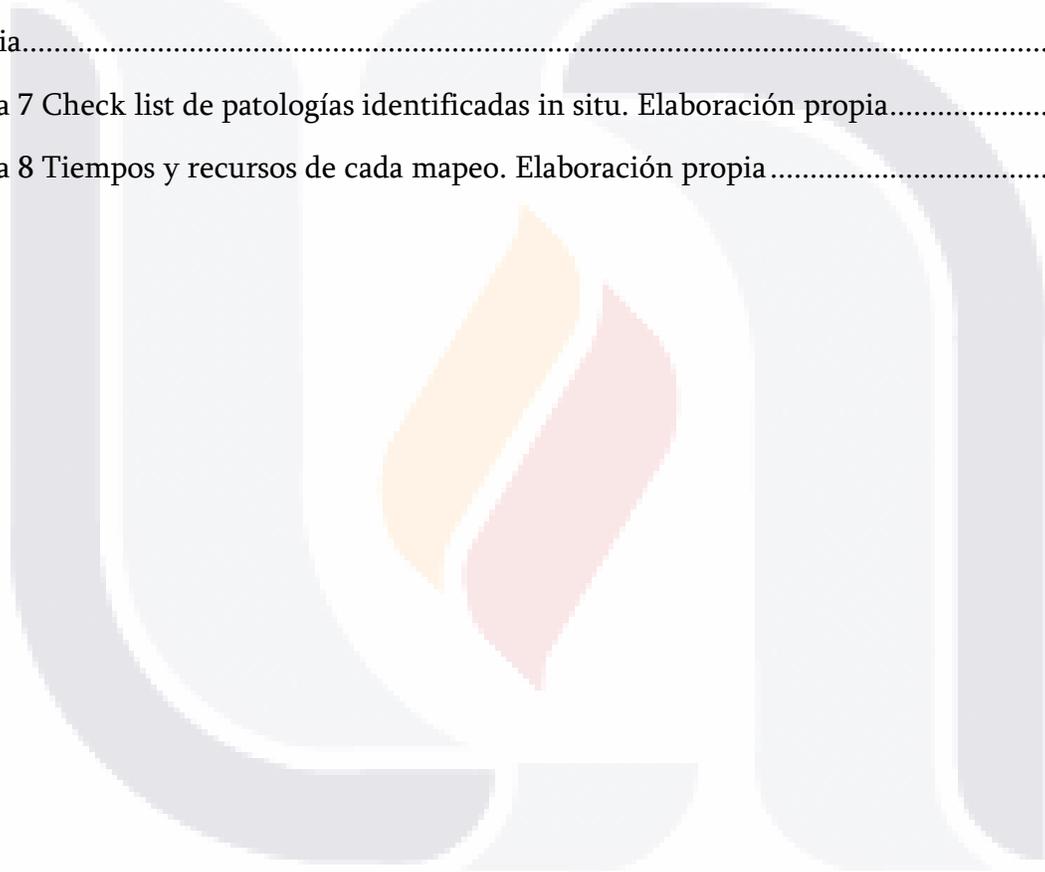
Tabla 4 Resumen de rocas que conforman la cara oriente. Elaboración propia 87

Tabla 5 Resumen de rocas que conforman la cara norte. Elaboración propia 88

Tabla 6 Check list de patologías identificadas por medio del modelo 3D. Elaboración propia..... 91

Tabla 7 Check list de patologías identificadas in situ. Elaboración propia..... 95

Tabla 8 Tiempos y recursos de cada mapeo. Elaboración propia 105



Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 Modelado fotogramétrico de una sección del sitio arqueológico Ingenio Lastenia, Argentina. Obtenida de (Villar, 2018)..... | 19 |
| Ilustración 2 Proceso de modelo Hermann-Hesse Birth House, Alemania. Obtenida de (Dieter & Klein, 2017)..... | 20 |
| Ilustración 3 Modelado 3D del castillo Haut-Andlau. Alsaccia, Francia. Obtenido de (Grussenmeyer, Landes, Voegtle, & Ringle, 2008)..... | 21 |
| Ilustración 4 Palacio Palmieri, Monopoli, Italia. Obtenida de (Galantucci & Fatiguso, 2018)..... | 22 |
| Ilustración 5 Alzados del palacio Casa del Bosque, Madrid, España. Obtenida de (Calvo García & Lasheras Merino, 2017) | 24 |
| Ilustración 6 Clasificación de la fotogrametría. Imagen obtenida de internet..... | 27 |
| Ilustración 7 Descripción por tipo de fotografía. Obtenida de (Centro de Geociencia Aplicadas, s.f.)..... | 28 |
| Ilustración 8 Descripción por tipo de método. Obtenida de: (Centro de Geociencia Aplicadas, s.f.)..... | 28 |
| Ilustración 9 Categorías de patologías. Obtenida de (ICOMOS, 2011) | 31 |
| Ilustración 10 France, Angoulême, Saint-Pierre cathedra: Western facade central tympanum. Obtenida de (ICOMOS, 2011) | 31 |
| Ilustración 11 Old Calton Cemetery, Edimburgo, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011) | 32 |
| Ilustración 12 Escultura de mármol Castle Park, Versalles, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... | 32 |
| Ilustración 13 Iglesia de André le Bas. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... | 33 |
| Ilustración 14 De lado derecho se observa una deformación cóncava y del lado izquierdo una deformación convexa. Francia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)..... | 33 |

Ilustración 15 Cara de roca caliza, Notre Dame, Laón Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 34

Ilustración 16 Old Calton Cemetery, Edimburgo, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 34

Ilustración 17 Cementerio de la catedral de Brechin, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 35

Ilustración 18 Catedral de Zwits, Alemania. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 35

Ilustración 19 Castillo de Pernstejn, Republica Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011) .. 36

Ilustración 20 Saint Benoit, Loire Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 36

Ilustración 21 Malta Valletta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 37

Ilustración 22 Iglesia Saint André le Bas, Vienne, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 37

Ilustración 23 Edificio de la liberación, Dieuze, Francia. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 38

Ilustración 24 Ciudadela Gozo, Isla Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 38

Ilustración 25 Petra, Jordan. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 39

Ilustración 26 Catedral de la Nouvelle Major, Marsella, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 39

Ilustración 27 Cantera de Baalbek en el Líbano. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 40

Ilustración 28 Castillo de Dtirling, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 40

Ilustración 29 Toril del sur, Tschars, Italia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 41

Ilustración 30 Escultura caliza, Turquía. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 41

Ilustración 31 Terraza Carlton, Escocia Edimburgo. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 42

Ilustración 32 Kom el Dikka, Egipto. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 42

Ilustración 33 Escultura de mármol, Múnich, Alemania. obtenida de (ICOMOS, 2011) 43

Ilustración 34 Escultura en caliza, Alemania. Obtenido de (ICOMOS, 2011)..... 43

Ilustración 35 Mezquita en Egipto. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 44

Ilustración 36 Escultura de la catedral de Porto, Portugal. Obtenida de (ICOMOS, 2011)
 44

Ilustración 37 Mármol de la Cantuja de Pavía, Italia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 45

Ilustración 38 Pedestal de caliza, Budapest, Hungría. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 46

Ilustración 39 Monk 's Bar, York, Inglaterra. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 46

Ilustración 40 Notre Dame, Paris, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 47

Ilustración 41 Acueducto, Lisboa, Portugal. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 47

Ilustración 42 Sillar de caliza en La Valeta, Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 48

Ilustración 43 Pavimento de roca en La Valeta, Malta. Obtenido de (ICOMOS, 2011).. 48

Ilustración 44 Acueducto en Lisboa, Portugal. Obtenido de (ICOMOS, 2011) 49

Ilustración 45 Catedral de Praga, Republica Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 49

Ilustración 46 Escultura del puente de Carlos, Praga, Republica Checa, Obtenido de
 (ICOMOS, 2011) 50

Ilustración 47 Sitio arqueológico, Marruecos. Obtenida de (ICOMOS, 2011)..... 50

Ilustración 48 Escultura de mármol, Versalles, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 51

Ilustración 49 Edición de Newark Drive, Glasgow, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)
 51

Ilustración 50 Puerta de la antigua capital, Mdina, Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)
 52

Ilustración 51 Castillo Pernstejn, Republica Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 52

Ilustración 52 Cementerio de Pontresina, Suiza. Obtenida de (ICOMOS, 2011) 53

Ilustración 53 San Nicolas Kirk, Aberdeen, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 1964) 53

Ilustración 54 Ejemplo de identificación de patologías. Iglesia Do Carmo, Brasil. Obtenido
 de (Rocha, Macedo, Correia, & Monteiro, 2018)..... 54

Ilustración 55 Ejemplo de mapeo patológico. Iglesia Do Carmo, Brasil. Obtenido de
 (Rocha, Macedo, Correia, & Monteiro, 2018)..... 55

Ilustración 56 Iglesia de Santa Mónica en Córdoba, España. Obtenida de (Meroño, Perea, Aguilera, & Laguna, 2015) 57

Ilustración 57 Localización del monumento. Obtenida de Google maps..... 62

Ilustración 58 Fotografía del monumento a Benito Juárez. Aguascalientes. Fotografía del autor 63

Ilustración 59 Proceso de levantamiento fotográfico. Elaboración propia..... 64

Ilustración 60 Fotografías del monumento. Izquierda: se observa la salida del sol. Derecha: la incidencia solar a diferente altura provocando gran cantidad de sombras. Fotografía del autor 65

Ilustración 61 Añadir fotografías. Elaboración propia 66

Ilustración 62 Fotografías cargadas al software. Elaboración propia 67

Ilustración 63 Recuadro de advertencia en la orientación de las fotografías. Elaboración propia..... 68

Ilustración 64 Orientar fotos. Elaboración propia 69

Ilustración 65 Nube de puntos dispersos. Elaboración propia 70

Ilustración 66 Vista de cámaras. Elaboración propia..... 71

Ilustración 67 Estimación de calidad de imágenes. Elaboración propia..... 72

Ilustración 68 Tabla de datos con la estimación de calidad de las imágenes añadidas. Elaboración propia..... 73

Ilustración 69 Nube de puntos densa. Elaboración propia 74

Ilustración 70 Limpieza del entorno del monumento. Elaboración propia 75

Ilustración 71 Creación de malla. Elaboración propia..... 76

Ilustración 72 Creación de los diferentes tipos de malla. Elaboración propia 77

Ilustración 73 Modelo 3D del monumento. Elaboración propia 78

Ilustración 74 Modelo 3D: parte superior, intermedia e inferior. Elaboración propia.... 79

Ilustración 75 Mapeo litológico en cara poniente y sur. Elaboración propia..... 81

Ilustración 76 Mapeo litológico en cara oriente y norte. Elaboración propia..... 82

Ilustración 77 Localización de bancos de extracción en Aguascalientes. Obtenido de (Servicio Geológico Mexicano , 2018) 83

Ilustración 78 Banco de extracción de Clavellinas, Asientos, Ags. Fotografía del autor . 84

Ilustración 79 Cuantificación de rocas, cara poniente. Elaboración propia 85

Ilustración 80 Cuantificación de rocas cara sur. Elaboración propia..... 86

Ilustración 81 Cuantificación de rocas cara oriente. Elaboración propia..... 87

Ilustración 82 Cuantificación de rocas cara norte. Elaboración propia 88

Ilustración 83 Mapeo de patologías -modelo 3D- caras oriente y norte. Elaboración propia 89

Ilustración 84 Mapeo de patologías -modelo 3D- caras poniente y sur. Elaboración propia 90

Ilustración 85 Mapeo de patologías -in situ- de las caras oriente y norte. Elaboración propia..... 93

Ilustración 86 Mapeo de patologías -in situ- de las caras poniente y sur. Elaboración propia 94

Ilustración 87 Identificación de intensidades de daños por bloque. Elaboración propia 97

Ilustración 88 Caras del monumento del modelo 3D. Elaboración propia..... 98

Ilustración 89 Mapeo de daños por intensidades en las caras sur y poniente. Elaboración propia..... 99

Ilustración 90 Mapeo de daños por intensidades en las caras oriente y norte. Elaboración propia..... 100

Ilustración 91 Comparación de mapeos cara norte. Elaboración propia 101

Ilustración 92 Comparación de mapeos cara oriente. Elaboración propia 102

Ilustración 93 Comparación de mapeos cara poniente. Elaboración propia 103

Ilustración 94 Comparación de mapeos cara sur. Elaboración propia 104

Acrónimos

| | |
|---------|--|
| SFM | Structure From Motion |
| ICOMOS | International Council on Monuments and Sites |
| FDCR | Fotogrametría digital de corto rango |
| ASPRS | American Society for Photogrammetry and Remote Sensing |
| 3D | Tercera dimensión |
| DETENAL | Dirección General de Estudios del Territorio Nacional |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| UNESCO | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |

Resumen

La conservación de cada uno de los edificios que rodea el entorno en el que se desarrolla la humanidad, habla sobre la historia de cada etapa que ha transcurrido. Es evidente que a través de los años las rocas con las que fueron construidos sufren deterioros naturales y antropogénicos, es por eso, que se considera importante conocer, detectar y tratar cada afectación. Para enfrentar esta problemática se ha trabajado con mapeos convencionales, representando las patologías del elemento, por medio de dibujos a escala, observando los materiales y su meteorización. Este método involucra gran cantidad de recursos humanos y tiempo, los cuales incrementan los costos de la operación.

Desde hace varios años, se han utilizado procesos analógicos para el respaldo fotográfico en trabajos de conservación, hoy en día se apuesta por procedimientos digitales. Es por eso que, se ha planteado la utilización de una técnica de fotogrametría digital a corto rango (FDRC) que permita hacer un levantamiento fotográfico *-in situ-* y luego hacer el mapeo en laboratorio.

Buscando optimizar recursos y una evolución en los métodos, se propone evaluar una técnica que permita realizar mapeos patológicos con la utilización de cámaras convencionales desde un teléfono celular o hasta una cámara semiprofesional. Determinando su grado de efectividad, para así establecer el potencial de la técnica para el mapeo masivo de elementos patrimoniales construidos principalmente con rocas.

El mapeo en laboratorio se hará en un software que permite realizar modelos 3D a partir de las fotografías, dando la oportunidad de construirlo a través de diferentes procesos, terminando con una textura real sobre las rocas, que permitirá determinar el grado de efectividad en el resultado de la identificación de patologías. El desarrollo de esta técnica permitirá tener una alternativa en este tipo de procesos para la obtención de datos, además que a largo plazo pueda ser funcional para crear un monitoreo de las patologías en edificios históricos.

Palabras claves: mapeo, patologías, fotogrametría, rocas naturales de construcción

Abstract

The preservation of each of the buildings that surrounds the environment in which humanity develops, talk about each stage that has passed. It is evident that, over the years, the stones with which they were built suffer natural and anthropogenic damage, which is why it is considered important to know, detect and treat each condition.

To deal with this problem, we have worked with conventional mapping, representing the pathologies of the element, through scale drawings, observing the materials and their weathering. This method involves a large amount of human resources and time, which increases operating costs.

For Several years, analog processes have been used for photographic back up in conservation work, today we are committed to digital procedures. That is why the use of short-range digital photogrammetry technique allows a photographic survey *-in situ-* and then does the laboratory mapping.

Seeking to optimize resources and the evolution of the methods, it is proposed to evaluate a technique that allows pathological mapping with the use of conventional cameras from a cell phone or to a semiprofessional camera. determining its effectiveness, in order to establish the potential of the technique for the massive mapping of heritage elements built mainly with rocks.

Lab mapping will be done in a software that allows to make 3D models from the photographs, allowing building it through different processes, ending with a real texture on the stones, which will allow to determine the degree of effectiveness in the outcome.

The development of this technique will allow having an alternative in this type of processes for obtaining data, in addition to that in the long term can be functional to create monitoring of pathologies in historical buildings.

Keywords: mapping, pathologies, photogrammetry, natural construction rocks



CAPÍTULO

I

INTRODUCCIÓN

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

I.- INTRODUCCIÓN

1.1 Prólogo

La identidad cultural de cualquier lugar va de la mano con la identificación, gestión, difusión, pero sobre todo protección, de los monumentos patrimonio cultural edificado que conforman ese lugar. Ya que éstos, fueron y seguirán siendo, los testigos de cada una de las épocas por las que ha pasado la humanidad. Es por eso, que con la creación de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO) en el año 1946, a nivel internacional se buscó que dichos monumentos fuesen protegidos por cada nación, haciendo normativas particulares para cada una de ellas, con respecto de las normas internacionales ya existentes.

Como parte de la protección y conservación de estos bienes, se llegó a la necesidad de intervenir, de manera que, al hacerlo, exista una investigación de por medio, que vaya de acuerdo con un proyecto coherente, tanto con el entorno, como en el estilo propio del elemento patrimonial. Así mismo es importante considerar lo que menciona el Dr. Terán Bonilla (Bonilla, 2004), la probable mano de obra que lo realizó, el tipo de herramientas, los materiales y las técnicas constructivas empleados y la procedencia geográfica de dichos materiales.

La intervención de elementos arquitectónicos ha ido evolucionando a lo largo de los años, tanto en los métodos como en las herramientas empleadas, los avances tecnológicos permiten tener una base de datos acerca de los daños que se presentan. Estos daños pueden ser causados por diferentes eventos, como sismos, degradación y pérdida de materiales, errores de ejecución en la construcción y en la estructura, afectaciones provocadas por el clima, intemperismo, etc. Siendo los errores de ejecución y proyecto, las principales causas por las que se presentan las patologías en los edificios. (López, Rodríguez, Cruz, Torreño, & Ubeda, 2004).

1.2 Objetivo general

Evaluar técnicas de fotogrametría digital de corto rango (FDCR) como herramientas para la realización del mapeo de patologías contrastando los resultados de estas con los de mapeos convencionales, con la finalidad de determinar la capacidad de detección de datos y su comparativa en relación con su costo beneficio, evaluando el potencial de estas técnicas para el mapeo masivo de elementos patrimoniales, realizando el levantamiento en campo y el mapeo en laboratorio.

1.3 Objetivos particulares

- Realizar una metodología que permita hacer mapeos de patologías utilizando la fotogrametría en edificios patrimoniales.
- Aplicar la metodología planteada al estudio de un caso práctico.
- Demostrar con pruebas realizadas en laboratorio la técnica de la metodología desarrollada con la finalidad de calibrarla.
- Contrastar resultados obtenidos de la metodología planteada con los de un levantamiento convencional.
- Aplicar la técnica de fotogrametría digital de corto rango a un elemento patrimonial y evaluar la capacidad que tiene de proporcionar datos verídicos si se comparara con los datos de campo.

1.4 Alcances

La fotogrametría ha tenido una gran evolución en los últimos años. Desde procesos analógicos, a digitales, mejorado ampliamente la calidad de los resultados, pero encareciendo los trabajos. Es por eso que, en esta investigación se busca obtener calidad, pero a bajo costo, para lograrlo se utilizará la FDCR que no utiliza instrumentos fotográficos digitales especializados, sino que trabaja a base de equipos convencionales como cámaras de teléfonos celulares o cámaras de semi a profesionales. Se deberán realizar diferentes estudios explorativos, ya que es necesario recabar información acerca de esta técnica y ver en qué contexto de estudio se utiliza y descriptivo porque permitirá medir y recoger información acerca de las variables.

La técnica de FDCR se aplicará haciendo trabajo de gabinete, con una prueba piloto, permitiendo –junto con algunos softwares (Agisoft Photoscan)- visualizar, medir y definir características, esperando determinar si es posible utilizarla en el mapeo masivo de elementos patrimoniales, haciendo el levantamiento –*in situ*- y el mapeo en laboratorio.

El aplicar esta técnica en edificios históricos, permitirá detectar las patologías que lo afectan y determinar cuáles son los tipos de alteraciones que se pueden observar a través del modelo. En las rocas, dichas alteraciones se agruparán en tres bloques principales, el primero es la pérdida del material, el segundo son los cambios en la coloración de las rocas y por último, las fracturas que pueden ser visibles o no. Para hacer un registro del edificio con cada una de sus alteraciones se hará un tipo check list de las patologías que muestra el glosario de ICOMOS, ampliando la información y señalizando cuales fueron las que si se pudieron detectar con el modelo 3D y así poder hacer una comparativa de la información obtenida del trabajo en gabinete con la del sitio.

1.5 Justificación

El desarrollo tecnológico ha contribuido en nuevos métodos de obtención de datos, mejorando las herramientas y por lo tanto, las técnicas donde se emplean. Es así como la fotogrametría se ve inmersa en las nuevas tecnologías y entra al campo de los drones y cámaras multiespectrales, para la inspección de edificios y monumentos patrimoniales.

Estos procesos especializados tienden a ser caros y no siempre se cuenta con los recursos suficientes para llevarlos a cabo. De ahí, surge la necesidad de buscar otras alternativas que permitan obtener resultados similares en cuanto a calidad, con equipos convencionales, no tan costosos y con los que se interactúa día con día.

Con el trabajo previo, que se hizo del conocimiento actual, se pudo apreciar que este campo de la FDCR se ha utilizado poco, permitiendo la creación de nuevas investigaciones y buscando hacer un aporte en el estudio de los elementos patrimoniales.

1.6 Hipótesis

Por medio de la realización del modelo 3D, utilizando la técnica de fotogrametría, se analizarán las afectaciones que presenta el edificio histórico, determinando si los datos obtenidos son similares a los datos que se pudieran obtener a través de un mapeo *in situ* y así mismo precisar si con la calidad de los modelos es posible realizar la identificación de las principales patologías del objeto de estudio.

1.7 Metodología

El desarrollo de la técnica propuesta plantea los siguientes pasos:

- levantamiento fotogramétrico del monumento histórico
- modelado 3D en software
- realización del mapeo con el modelo 3D obtenido
- realización del mapeo *in situ*
- comparación de datos para determinar la efectividad del mapeo a través del modelo 3D y así determinar la confiabilidad de los datos



CAPÍTULO

II

ESTADO ACTUAL
DEL CONOCIMIENTO

II.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 Definición de fotogrametría

La asociación estadounidense de fotogrametría y percepción remota, por sus siglas en inglés “ASPRS” (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) define la fotogrametría como un proceso confiable para adquirir información sobre cualquier cuerpo a través de un registro, mediciones e interpretación de imágenes con equipos mecánicos. (Sensing, s.f.).

2.2 Historia de la fotogrametría

La fotogrametría ha sido parte de estudios en diversas áreas, una de ellas es la arqueología. En el sitio arqueológico Ingenio Lastenia ubicado en la ciudad de San Miguel de Tucumán en Argentina se aplicó una metodología a partir de la utilización de la fotogrametría digital, haciendo notar 3 características, la primera sobre la información precisa que se obtiene, la segunda sobre las posibilidades de documentar superficies en campo con una simple cámara fotográfica para después trabajarlas con algún procedimiento virtual y la tercera es el resultado tridimensional que se obtiene con base a las dos anteriores logrando un “análisis estratégico muy sofisticado” (Villar, 2018). En la ilustración 1, se pueden observar tres de los procesos que desarrolla el software photoScan de arriba abajo, se observa la vista en sombras, luego la malla de puntos y, por último, la textura en cuanto a los acabados del sitio.

Un caso más donde se utiliza la fotogrametría, es en el Templo ancestral de la familia Chua ubicado en Taiwán. Fue empleada para hacer una comparación entre el método que habitualmente se utiliza en ese país llamado escaneo láser 3D, siendo un proceso con altos costos. Los autores hicieron una estimación de costos determinando que, para obtener un grado de precisión y calidad altas es necesario invertir en las herramientas y equipos a utilizar, haciendo una correlación entre precio-calidad. La fotogrametría digital de corto rango es viable para objetos de pequeños a medianos representado así un

bajo costo en su proceso, ya que no demanda la utilización de equipos fotográficos de alta calidad (Yang, Wang, & Yen, 2016).



Ilustración 1 Modelado fotogramétrico de una sección del sitio arqueológico Ingenio Lastenia, Argentina.
Obtenida de (Villar, 2018)

La ciudad medieval de Calw en Alemania, se suma como un ejemplo más de las ciudades que buscan preservar sus edificios y rescatar lo que existió. Basados en las primeras fotografías de vidrio pertenecientes a las décadas de 1850 y 1860, se pudo construir modelos 3D de edificios que fueron destruidos por los franceses en el año de 1692, esto a través de la utilización de nubes de puntos obtenidos del escaneo láser apoyado con imágenes Structure from Motion (SfM) que consiste en una técnica de fotogrametría automatizada de bajo costo pero de alta resolución (Tomás, Riquelmer, Cano, Abellan, & Jordan, 2016), además de imágenes áreas georreferenciadas que

permitieron hacer la reconstrucción de edificios de esta ciudad histórica. (Dieter & Klein, 2017).

Uno de los edificios de los que se obtuvo el modelo: Hermann-Hesse Birth House, en la cual se aprecia a) el modelo resultado del escaneo láser y la fotogrametría, b) el modelo se obtuvo tras renderizar la fotografía c) que fue tomada en el año de 1952.

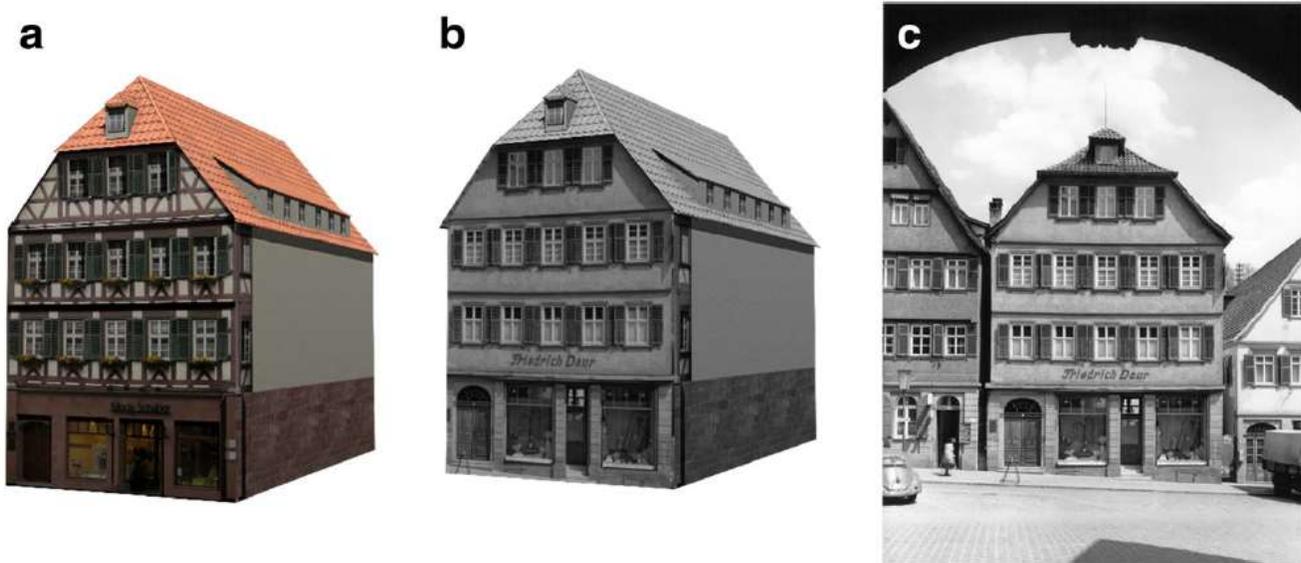


Ilustración 2 Proceso de modelo Hermann-Hesse Birth House, Alemania. Obtenida de (Dieter & Klein, 2017)

Un caso más de estudio, es el castillo medieval de Haut-Andlau localizado en Alsacia, Francia, el cual fue reconstruido a través de tres métodos, con el propósito de identificar si con la utilización de los tres, la cantidad de la información es mayor o bien cuál de ellos es el más apto para este tipo de construcciones complejas en cuanto a sus formas irregulares y curvaturas en sus fachadas.

Los métodos que se utilizaron fueron la fotogrametría, escaneo láser y topografías.

Considerando la fotogrametría como el método más adecuado basado en imágenes, sin embargo, para este caso la falta de equipo automatizado y la complejidad del edificio hace que limite la obtención de datos para el modelado 3D. El método de escaneo láser proporciona la información sobre levantamientos de la superficie en 3D, pero no es la mejor para la obtención de elementos lineales, generando una gran cantidad de datos,

provocando un trabajo extra para su depuración (Grussenmeyer, Landes, Voegtle, & Ringle, 2008).

Aun utilizando los tres métodos, se vio limitado el campo de vista a causa de la vegetación ubicada alrededor del castillo, generando un modelo 3D incompleto (ilustración 3). Así los autores concluyeron que los métodos no son “unívocos” para el registro de edificios patrimoniales.



Ilustración 3 Modelado 3D del castillo Haut-Andlau. Alsaccia, Francia. Obtenido de (Grussenmeyer, Landes, Voegtle, & Ringle, 2008)

Construir un modelo 3D de un edificio o monumento histórico tiene diferentes propósitos, desde preservarlos, para que futuras generaciones conozcan las bases de lo que se tiene en la actualidad, hasta detectar patologías que atentan con la estabilidad y permanencia de ellos.

Los autores Galantucci y Fatiguso (2018) tomaron como caso de estudio el palacio de Palmieri Monopolo en Italia, que a través de un modelo 3D obtenido con fotogrametría e imágenes del programa Taly Map 3D™ que crea mapas de colores falsos, permitieron

observar tres daños sobre un área pequeña de uno de los muros del palacio. En la ilustración 4 se observan tres imágenes, la a) es la sección del muro obtenido del modelo fotogramétrico, en la b) se puede observar manchas en color amarillo que estaría simulando pérdida de material y la c) representa las grietas, entendiéndose que posiblemente donde se intensifica el color la profundidad aumenta.

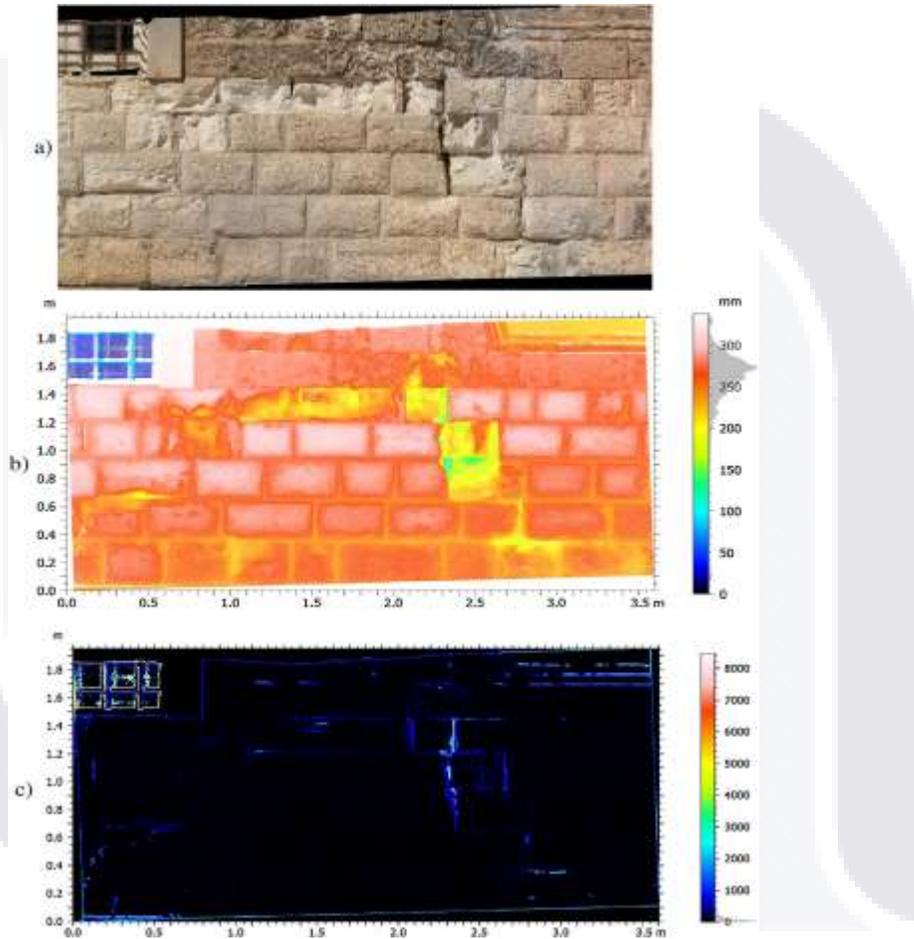


Ilustración 4 Palacio Palmieri, Monopoli, Italia. Obtenida de (*Galantucci & Fatiguso, 2018*)

Los autores del artículo, resaltan la importancia de transmitir el patrimonio cultural con ayuda de la fotogrametría, a partir del caso estudiado en Konya, Turquía, dicen que:

“En la arquitectura realizar una definición de un edificio, comienza con estudios de dibujos medidos y documentación fotográfica” (Yilmaz, Yakar, Gulec, & Dulgerler, 2007).

Entendiendo que, como parte de ese estudio analítico, debe de existir una continuidad de un proceso de documentación a través de los años, pero encontrando la manera de no solo documentar el antes y después, sino hacer un trabajo de restauración, detectando y analizando las posibles debilidades del edificio y poder garantizar una existencia estable.

Para lograrlo, es necesario clasificar esos daños, un ejemplo es el autor Poves (2015) que hace una clasificación de lesiones en edificios según su “causa”, que pueden ser directas o indirectas. En la causa directa se encuentran las mecánicas, físicas o químicas, mientras que en las indirectas son “errores” ya sea en el proyecto, en la ejecución, en los materiales o en general, en su uso y mantenimiento.

Con la intención de seguir conservando, en este caso, las ruinas del palacio Casa del Bosque ubicado en Madrid, España, se realizó un estudio patológico basado en planimetrías y ortofotos tomadas mediante fotogrametría, creando una nube de puntos con un escáner láser, obteniendo como resultado los siguientes alzados (ilustración 5). (Calvo García & Lasheras Merino, 2017)

De esta manera se pudieron identificar de forma general lesiones físicas, mecánicas, químicas y biológicas.

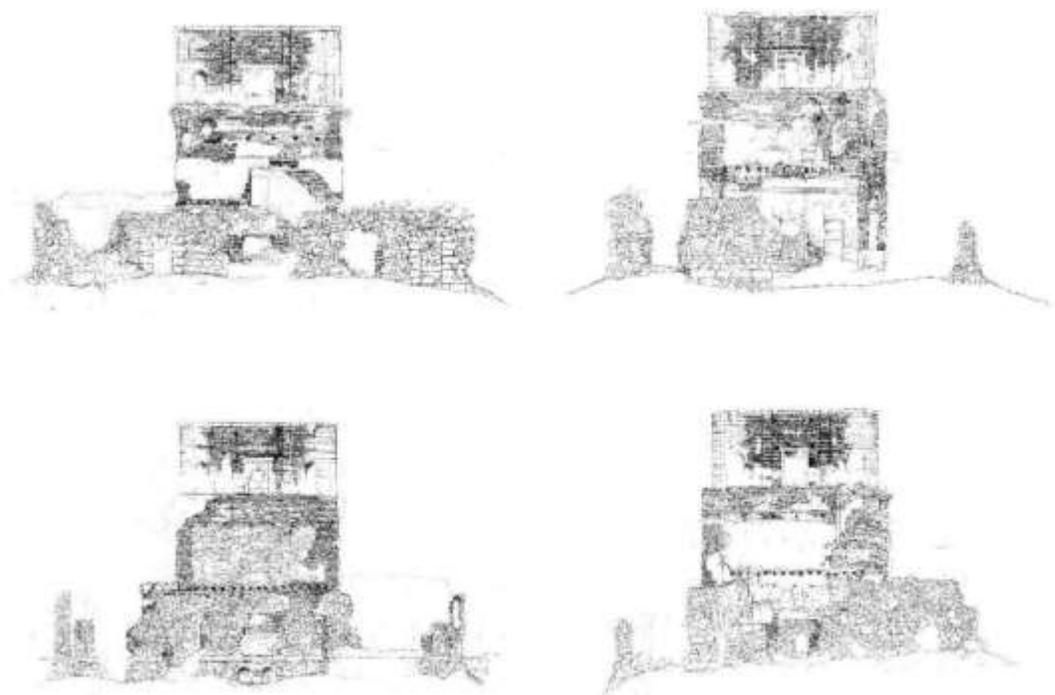


Ilustración 5 Alzados del palacio Casa del Bosque, Madrid, España. Obtenida de *(Calvo García & Lasheras Merino, 2017)*





CAPÍTULO

III

MARCO TEÓRICO

III.- MARCO TEÓRICO

3.1 Historia de la fotogrametría

El desarrollo y evolución histórica de la fotogrametría pueden apreciarse en cuatro etapas (Konecny 1981, 1985):

- I. Metrofotografía (1850-1900): en el año 1839, Niépce y Daguerre fueron los iniciadores de la fotografía en Francia. La metrofotografía fue utilizado en 1851 por el francés Aimé Laussedat, considerado el fundador de la fotogrametría.
- II. Fotogrametría Analógica (1900-1960): el comienzo de la técnica de estereoscopia, capaz de obtener imágenes en visualizaciones tridimensionales y la introducción de plataformas para la ubicación de sensores (Zeppelin en 1900 y aeroplanos de motor en 1903).
- III. Fotogrametría Analítica (1960-1980): la aparición de las computadoras en 1941, que llegaron para apoyar en 1899, la aplicación de las teorías de Finsterwalder en Alemania.
- IV. Fotogrametría Digital (desde 1980): con el lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik por la U.R.S.S., y por el satélite Landsat de EE. UU., se permitió determinar coordenadas de las áreas estudiadas.

3.2 Historia de la fotogrametría en México

En México, la fotogrametría se comenzó a utilizar entre los años de 1917 y 1918 por la SEMAR para el levantamiento de datos en el estado de Guanajuato y obtener la Carta de cuencas de México, en 1942 la comisión cambia de nombre a “Servicio Geográfico del Ejército” y obtienen la carta geográfica a escala 1:100000 a través de fotografías aéreas que fueron tomadas por tripulaciones México – norteamericanas durante la segunda guerra mundial (Hernández, 2015).

En el periodo de 1950 a 1960, se crea una institución civil, que contaba con los recursos y medios necesarios para la elaboración de la cartografía de México, en la que aplicaron métodos fotogramétricos.

Para el año de 1968, fue creado el departamento de estudios del territorio nacional (DETENAL) lo que hoy se conoce como INEGI (Morales & Peña, 2010), que en 1983 se

haría de manera oficial por decreto presidencial, utilizaban imágenes de fotografías aéreas del territorio nacional, obtenidas mediante el escaneo fotogramétrico de negativos de películas aéreas.

Aunque el uso de la fotogrametría se hizo exclusivo de la cartografía el siglo pasado, gracias a la evolución de su técnica, se comenzó a utilizar en el procedimiento para la reproducción de fotografías de planos, fachadas de edificios, entre otras cosas.

3.3 ¿Qué es la fotogrametría?

Según H. Bonneval (1972):

“la fotogrametría es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”.

3.4 Clasificación de la fotogrametría

Se puede identificar según el tipo de fotografía y según el método. A continuación, en la ilustración 6, se describe en que consiste cada una. (Centro de Geociencia Aplicadas, s.f.)

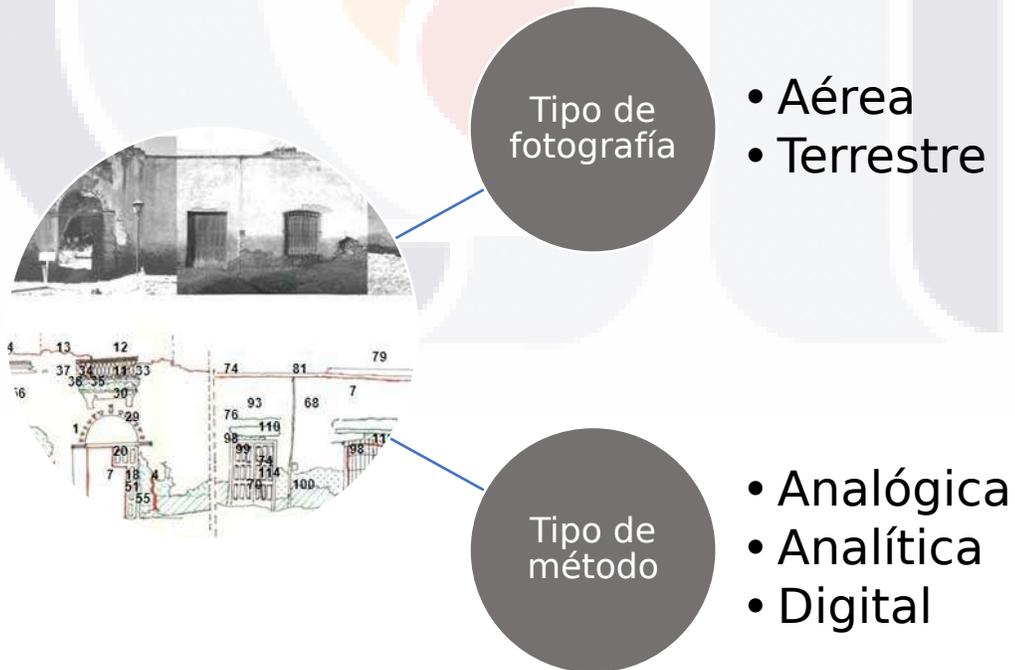


Ilustración 6 Clasificación de la fotogrametría. Imagen obtenida de internet.

Por tipo de fotografía:

Aérea

Su base son las fotografías aéreas, desde una plataforma especial (avión o dron).

Terrestre

Tiene su principal aplicación en la arquitectura y arqueología, son fotografías tomadas desde la tierra como comúnmente se hace.

Ilustración 7 Descripción por tipo de fotografía. Obtenida de (*Centro de Geociencia Aplicadas, s.f.*)

Analógica

Parte de la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico, nivelado y escalado. La realización de mapas, se hacía con información planialtimétrica, utilizando el principio de la marca flotante o graficadoras.

Analítica

Con los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD.

Digital

El uso de las computadoras y software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, edificios, monumentos, etc.

Ilustración 8 Descripción por tipo de método. Obtenida de: (*Centro de Geociencia Aplicadas, s.f.*)

A partir de la fotografía terrestre y/o aérea, y el método digital, se integra la técnica de fotogrametría digital de corto rango, creando procesos fotogramétricos en alta precisión con cualquier dispositivo tecnológico de bajo costo, con una cámara convencional, capaz de capturar una imagen digital. Para que un objeto pueda catalogarse dentro de esta técnica, también conocida como *Close Range Photogrammetry* no debe superar los 300 m de distancia de disparo. (Cortés, Pérez, & Nogales, 2000).

Este método no solo respalda la noción de la captura de imágenes y el resultado simple de un modelo 3D, sino que es un procedimiento matemático y sistemático de formas tridimensionales sobre cualquier objeto, capaz de realizar mediciones y brindar datos precisos (Luhmann, Robson, & Kyle, 2006).

Como todo proceso tiene ventajas y desventajas, en la tabla siguiente se enlistan algunas de las que menciona Vozmediano (2006):

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la fotogrametría de corto rango. Elaboración propia

| Close Range Photogrammetry | |
|---|---|
| Ventajas | Desventajas |
| No es imprescindible mantener contacto con el objeto en el levantamiento fotográfico | Es imprescindible que el objeto pueda ser fotografiado |
| Se puede llevar un registro de formas y/o movimientos anormales. | El procesamiento depende de equipo específico y caro |
| La obtención de datos es rápida, | La obtención de datos no es inmediata, ya que el proceso de ellos se hace en un software. |
| Es posible ubicar elementos en zonas inaccesibles o que representen algún tipo de riesgo. | |

Nota: adaptada de (Vozmediano Montoya, 2006)

3.5 ¿Qué es un Levantamiento?

El proceso de conocimiento de todo edificio o monumento comienza con un levantamiento, pero en el ámbito de la arquitectura ¿A qué se le llama “levantamiento”? Para el autor Antonio Almagro es la descripción del conjunto de elementos que conforman un contexto arquitectónico o de una edificación en específico, desde formas, dimensiones (alto, largo, ancho), características de materiales, estructurales y constructivas, además de afectaciones que se puedan identificar (Almagro Gorbea, 2004).

3.6 Patologías

Es importante determinar qué son y qué tipo de afectaciones son las que se encuentran en los edificios, para determinar en qué estado se encuentra.

Patología según el diccionario de la real academia (2014) viene del griego “*pathos*”, que quiere decir enfermedad o afección y “*logos*” que significa estudio o tratamiento, esto en el contexto de la medicina. Pero dentro del vocablo de la construcción hace referencia al conjunto de procesos degenerativos, representados en alteraciones de materiales y elementos constructivos (López, et. al, 2004).

3.7 Clasificación de patologías

El ICOMOS por sus siglas en ingles Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, que es una institución que está ligada a la ONU a través de la UNESCO, creo un glosario ilustrado de formas de deterioro de rocas, formado por cinco categorías enlistadas en la ilustración 9, que a su vez se subdividen, conformando una base de datos para conocer e identificar dichos daños, construyendo un lenguaje común, que permita un mayor entendimiento entre los investigadores y disminuya las confusiones entre terminologías (ICOMOS, 2011).



Ilustración 9 Categorías de patologías. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

Enseguida se hace una breve descripción de las patologías pertenecientes a cada categoría.

Categoría de grietas y deformaciones.

Las grietas pueden deberse a varios factores

I. Las grietas se subdividen en:

→ Fractura: grieta que traspasa totalmente la pieza de roca (Ilustración 10).



Ilustración 10 France, Angoulême, Saint-Pierre cathedra: Western facade central tympanum. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Fisuración radial: se presenta a partir de un centro. Puede tener su origen en elementos oxidados de hierro o en impactos (Ilustración 11).



Ilustración 11 Old Calton Cemetery, Edimburgo, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

→ Fisura: grieta pequeña de 0.1 mm de apertura.
→ Craquelado: es la formación un tipo de retícula de pequeñas grietas (Ilustración 12).



Ilustración 12 Escultura de mármol Castle Park, Versalles, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Disminución en lajas: fracturación de la roca a lo largo de planos de debilidades como microfisuras o capas arcillosas (Ilustración 13).



Ilustración 13 Iglesia de André le Bas. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

II. Demorfaciones

Consiste en un cambio de forma sin pérdida de su integridad. Principalmente afecta a las placas de mármol y se pueden en la ilustración 14 se puede identificar deformaciones convexas (hacia afuera) o cóncavas (hacia adentro).



Ilustración 14 De lado derecho se observa una deformación cóncava y del lado izquierdo una deformación convexa. Francia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

Categoría de desprendimiento

Esta categoría se subdivide en 7 patologías:

- I. Ampollas: son elevaciones rellenas de aire en la superficie de la roca, se forman debido al desprendimiento de la lámina exterior de la roca (Ilustración 15).



Ilustración 15 Cara de roca caliza, Notre Dame, Laón Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- II. Estallido: es la pérdida en la superficie de la roca debido a tensiones internas que presentan comúnmente por el desprendimiento en forma de cráter con bordes irregulares (Ilustración 16).



Ilustración 16 Old Calton Cemetery, Edimburgo, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- III. Delaminación: consiste en una separación física en una o varias capas siguiendo la laminación, principalmente se observa en rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas (Ilustración 17).



Ilustración 17 Cementerio de la catedral de Brechin, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- Expoliación: separación en diversas capas muy finas que se pueden encontrar bandeadas o retorcidas (Ilustración 18).



Ilustración 18 Catedral de Zwits, Alemania. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

IV. Disgregación: separación de granos individuales o agregados de éstos.

→ Desmenuzamiento: separación de granos de sustratos, son pequeños, menores a 2 cm. (Ilustración 19).



Ilustración 19 Castillo de Pernstejn, Republica Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Disgregación granular: si la superficie de la roca forma un cráter, el desprendimiento de material se puede acumular, por gravedad, en la parte inferior de la misma. El tamaño del grano de la roca determina el tamaño del material desprendido.

V. Fragmentación: fractura parcial o total de la roca partes de tamaños diferentes, con formas, volúmenes y tamaños irregulares (Ilustración 20



Ilustración 20 Saint Benoit, Loire Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- Fragmentación en esquirlas: separación de piezas finas, esbeltas y agudas de rocas desgajadas del cuerpo principal.
- Desconchadura: fracturas de pequeños pedazos de las aristas de un bloque (Ilustración 21).



Ilustración 21 Malta Valletta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- VI. Disminución de películas: capa fina superficial con apariencia de película o recubrimiento que ha sido aplicado en la superficie de la roca (Ilustración 22).



Ilustración 22 Iglesia Saint André le Bas, Vienne, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

VII. Descamación: separación de escamas o pilas de escamas, que no sigue la estructura de la roca.

→ Microdescamación; pérdida milimétrica de forma curva o plana (Ilustración 23).



Ilustración 23 Edificio de la liberación, Dieuze, Francia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

Categoría de rasgos inducidos por pérdida de material

También se subdivide por 7 categorías:

I. Alveolización: creación de cavidades en la superficie de la roca, pueden estar interconectadas y pueden tener tamaño y aspecto variable. (Ilustración 24)



Ilustración 24 Ciudadela Gozo, Isla Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Craterización: es un solo tipo de alveolo que se desarrolla en la arista de un bloque de roca.

II. Erosión: pérdida de la superficie original.

→ Erosión diferencial: este tipo de erosión sucede cuando no avanza con la misma velocidad en las distintas áreas de la roca (Ilustración 25).

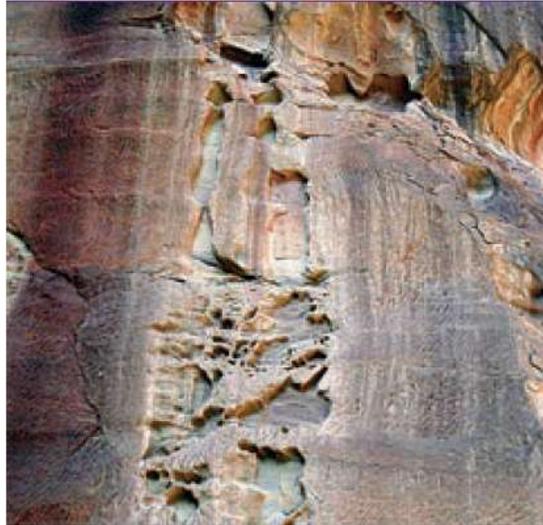


Ilustración 25 Petra, Jordan. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Redondeamiento: esta erosión se presenta en las rocas que su deterioro es mediante la disgregación granular. (Ilustración 26).



Ilustración 26 Catedral de la Nouvelle Major, Marsella, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Incremento de rugosidad: pérdida de pequeñas partículas de la roca cuando su superficie original es suave

III. Daños mecánicos: pérdida de material debida a acciones mecánicas.

→ Daños por impacto: se presenta a causa de un impacto o algún instrumento duro (Ilustración 27).



Ilustración 27 Cantera de Baalbek en el Líbano. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Incisiones: se produce por la utilización de alguna herramienta cortante, capaz de generar alguna cortadura o incisión.

→ Excoriaciones: son rayas provocadas por algún objeto punzocortante (Ilustración 28).

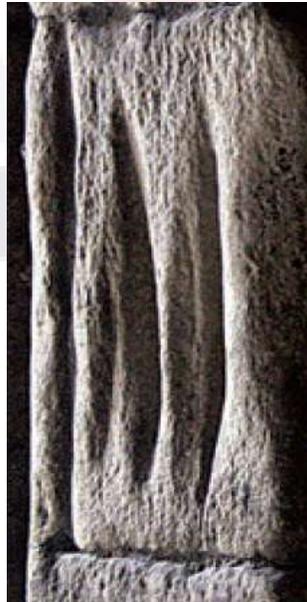


Ilustración 28 Castillo de Dirling, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

→ Abrasión: se provoca por el rozamiento, frotamiento o impacto de partículas. La ilustración 29, es escalón desgastado provocado por los pies de las personas.



Ilustración 29 Toril del sur, Tschars, Italia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Repicado: daño producido por golpes con una herramienta punzante.

IV. Microkarstificación: es la disolución parcial y/o selectiva de la superficie de la roca calcárea o alabastro expuesta a escorrecias (Ilustración 30).



Ilustración 30 Escultura caliza, Turquía. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- V. Faltante: espacio vacío donde anteriormente se encontraba una parte de roca (Ilustración 31).



Ilustración 31 Terraza Carlton, Escocia Edimburgo. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- VI. Perforación: por lo regular son de tamaño milimétrico producidos por una herramienta punzante o creadas por animales. Son perforaciones que penetran dentro de la roca son más profundas que anchas (Ilustración 32).



Ilustración 32 Kom el Dikka, Egipto. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- VII. Pitting: consiste en un punteo submilimétrico de cavidades superficiales, su forma puede ser cilíndrica o cónica sin tener alguna interconexión, aunque puede llegar a suceder (Ilustración 33).



Ilustración 33 Escultura de mármol, Múnich, Alemania. obtenida de (ICOMOS, 2011)

Categoría de alteración cromática y depósito

Esta categoría se integra por 11 afectaciones

- I. Costra: almacenamiento de material en la superficie, que incluye depósitos minerales en combinación con materia de la propia roca. Pueden tener un espesor homogéneo, siguiendo la superficie de la roca.
 - Costra negra: son partículas atmosféricas atrapadas en una matriz de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). (Ilustración 34).

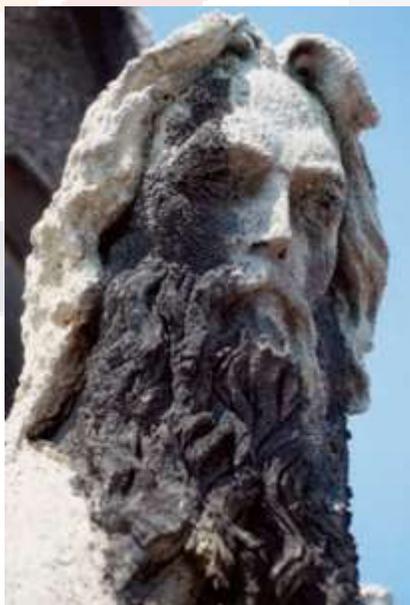


Ilustración 34 Escultura en caliza, Alemania. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

→ Costra salina: brota cuando existe alto contenido salinos, como se observa en la siguiente roca blanquecina (Ilustración 35).



Ilustración 35 Mezquita en Egipto. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

II. Depósito: es el almacenamiento de material exógeno del cual puede variar su espesor. Por ejemplo, heces de pájaros como se ve en la ilustración 36.



Ilustración 36 Escultura de la catedral de Porto, Portugal. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

III. Alteración cromática: son modificaciones de tono, luminosidad y saturación que sufre la roca.

→ Coloración: variación en tono, saturación y/o luminosidad (Ilustración 37).



Ilustración 37 Mármol de la Cantuja de Pavía, Italia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- Decoloración: blanqueamiento de la roca, por ejemplo, los mármoles de tonos oscuros cuando están expuestos a la intemperie a menudo sufren una decoloración blanquecina.
- Manchas de humedad: opacamiento de la roca provocado por la presencia de polvo, mugre o biocolonias por la presencia de humedad.
- Tinción: teñido o manchado provocando una apariencia poco atractiva (Ilustración 38).



Ilustración 38 Pedestal de caliza, Budapest, Hungría. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

- IV. Eflorescencia: sales solubles que se presentan en forma cristalina, pulverulenta y generalmente blanca sobre la superficie (Ilustración 39).



Ilustración 39 Monk 's Bar, York, Inglaterra. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

- V. Incrustación: es una capa superficial firmemente adherida al sustrato (Ilustración 40).



Ilustración 40 Notre Dame, Paris, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- Concreción: es un encostramiento normalmente en forma de estalactitas como se muestra en la ilustración 41.

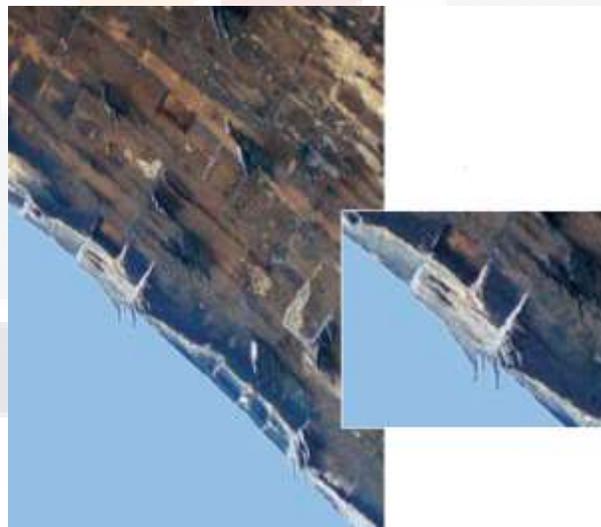


Ilustración 41 Acueducto, Lisboa, Portugal. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

- VI. Película: capa de materia orgánica, que se puede presentar en tonos opacos o traslúcidos (Ilustración 42).



Ilustración 42 Sillar de caliza en La Valeta, Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- VII. Brillo superficial: la superficie de la roca adopta un aspecto como de espejo como se observa en la ilustración 43.



Ilustración 43 Pavimento de roca en La Valeta, Malta. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

- VIII. Graffiti: pintas en la superficie de la roca de tinta o productos químicos (Ilustración 44).



Ilustración 44 Acueducto en Lisboa, Portugal. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

- I. Pátina: daño cromático en la roca, no superficialmente visible, generalmente lo provocan agentes naturales o artificiales (Ilustración 45).



Ilustración 45 Catedral de Praga, República Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

→ Pátina ferruginosa: capa delgada oscura formada por hierro, se forma uniformemente en la superficie de la roca (Ilustración 46).



Ilustración 46 Escultura del puente de Carlos, Praga, Republica Checa, Obtenido de (ICOMOS, 2011)

→ Pátina de oxalato: se puede presentar en mármoles o calizas, en tonos naranjas a marrones (Ilustración 47).



Ilustración 47 Sitio arqueológico, Marruecos. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- II. Enmugrecimiento: es la deposición superficial de polvo y partículas de combustión generadas por la contaminación atmosférica (Ilustración 48).



Ilustración 48 Escultura de mármol, Versalles, Francia. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- III. Subflorescencia: son sales solubles que se presentan debajo de la superficie de la roca (Ilustración 49).



Ilustración 49 Edición de Newark Drive, Glasgow, Escocia. Obtenido de (ICOMOS, 2011)

Categoría colonización biológica

Esta última se subdivide en solo 6 patologías

- I. Colonización biológica: yacimientos de plantas, microorganismos, nidos de animales que se presentan sobre y dentro de la roca, como en la ilustración 50.



Ilustración 50 Puerta de la antigua capital, Mdina, Malta. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- I. Algas: revestimiento de color verde o rojizo conformado por organismos vegetales microscópicos sin tallos ni hojas (Ilustración 51).



Ilustración 51 Castillo Pernstejn, Republica Checa. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- II. Liquen: por lo regular se puede observar en los exteriores de los edificios, son organismos vegetales con apariencia corchosa y se pueden identificar en colores amarillo, gris, naranja, verde o negro (Ilustración 52).



Ilustración 52 Cementerio de Pontresina, Suiza. Obtenida de (ICOMOS, 2011)

- III. Musgo: se aprecia como una masa de organismos y frecuentemente se puede encontrar en sitios donde existe humedad (Ilustración 53).

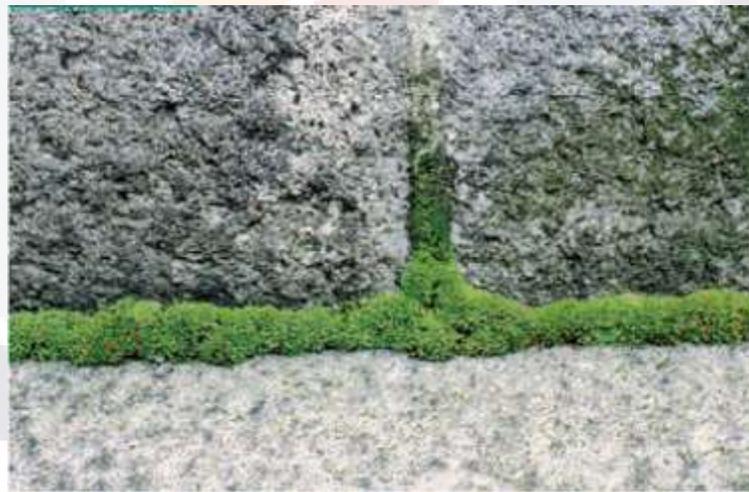


Ilustración 53 San Nicolas Kirk, Aberdeen, Escocia. Obtenida de (ICOMOS, 1964)

- IV. Hongos: son masas con aspecto plumoso o filamentoso en colores blanco, grises o negras.
- V. Plantas: raíces, troncos y hojas que crecen entre y sobre las rocas.

Para los autores como Higuera y Oyarzun, las patologías que se presentan en las rocas de las edificaciones, -más rápido o lento-, son por causa de tres factores: el clima, la composición de la atmósfera y la naturaleza de las rocas, estas acciones bajo la acción del intemperismo (Higuera & Oyarzun, s.f.).

En la ilustración 10 (Rocha, Macedo, Correia, & Monteiro, 2018) se presenta un ejemplo de un levantamiento a la fachada norte de la iglesia do Carmo en Brasil, donde se enlistan las posibles patologías, se marcan las que se presentan y se les da una simbología a utilizarse en el mapeo.

FACHADA NORTE

| DANOS ÀS PAREDES (ALVENARIA) | OCCORRÊNCIA | SIMBOLOGIA |
|---|-------------|------------|
| 1. DESPLACAMENTO DO REBOCO | X | |
| 2. DESPLACAMENTO DO REBOCO C/ ALVENARIA EXPOSTA | | |
| 3. MANCHAS DE AÇÃO DO FOGO | | |
| 4. MANCHAS DE UMIDADE | X | |
| 5. BIODGRADAÇÃO (FUNGOS E MICROALGAS) | X | |
| 6. VEGETAÇÃO | X | |
| 7. DEPÓSITOS ESCUROS (SUJIDADES) | X | |
| 8. EFLORESCÊNCIA (SALINIZAÇÃO) | X | |
| 9. FISSURAS SUPERFICIAIS (NÃO ESTRUTURAIS) | X | |
| 10. FISSURAS ESTRUTURAIS (FENDAS E TRINCAS) | | |
| 11. INTERVENÇÃO COM CIMENTO/ARGAMASSA | | |
| 12. VANDALISMO (GRAFITAGEM/ PICHACÃO) | | |
| DANOS ÀS CANTARIAS | | |
| 1. ALVEOLIZAÇÃO | | |
| 2. DESAGREGAÇÃO GRANULAR | X | |
| 3. PITTING | | |
| 4. PERDA DE SEÇÃO/ LACUNAS | | |
| 5. ESFOLIAÇÃO | | |
| 6. CROSTA NEGRA | | |
| DANOS ÀS ESQUADRIAS | | |
| 1. ATAQUE DE TÉRMITAS | | |
| 2. MOFO/ BOLOR | | |
| 3. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA | X | |

Ilustración 54 Ejemplo de identificación de patologías. Igreja Do Carmo, Brasil. Obtenido de (Rocha, Macedo, Correia, & Monteiro, 2018)

3.8 ¿En qué consiste el mapeo?

Según Tinaco (2009) el mapa de daños es la representación gráfico-fotográfica, donde son ilustradas rigurosa y minuciosamente todas las afectaciones de deterioro de la edificación. Menciona también que es importante no confundir el término mapa de daños con mapeo cartográfico de daños, el primero lo explica como el conjunto de documentos que ilustran el estado de conservación de una edificación y el segundo es una fase de inspección del entorno donde se hace el levantamiento para la elaboración del mapa de daños.

Lucena (2009) da recomendaciones para la realización de un mapa de daños, dice que es importante diferenciar mapa de daño de mapeamiento de daños. El primero lo explica como uno o varios documentos con gráficos y fotografías que muestran la realidad (tiempo actual) de algún elemento y el mapeamiento se refiere al proceso de investigar, de hacer los levantamientos y originar los datos para la realización de un mapa.



Ilustración 55 Ejemplo de mapeo patológico. Igreja Do Carmo, Brasil. Obtenido de (Rocha, Macedo, Correia, & Monteiro, 2018)

Los dos autores mencionados coinciden en sus conceptos, aunque utilizan diferentes términos. La ilustración 56, es un ejemplo del mapeo de patologías de la misma fachada antes mencionada, donde cada color de simbología representa una afectación.

Conociendo parte de las diferentes técnicas de fotogrametría utilizadas en la obtención de datos y teniendo identificadas las principales fuentes que catalogan los tipos de patologías que afectan la infraestructura de los elementos patrimoniales, es necesario ordenar, sintetizar y representar la información.

3.9 Fotogrametría, mapeo y patologías en la conservación de edificios históricos

La fotogrametría arquitectónica se ha practicado durante más de un siglo en la documentación del patrimonio cultural como su principal objetivo. Desde la introducción de la computadora, y más tarde la cámara digital, la investigación en fotogrametría apunta a su automatización (Van Den Heuvel, 2003), ya que ha aumentado la demanda de modelos tridimensionales y la creación de aplicaciones generadoras de éstos.

Además, parte de los trabajos que se pueden hacer, permite analizar si se encuentran en algún estado de intervención para asegurar su funcionamiento o si se encuentra en riesgo alguna parte de su estructura.

Según autores de la Universidad Politécnica de Valencia se pueden clasificar tres tipos de levantamientos para un mapeo (Lerma, Cabrelles, Seguí, & Navarro , 2011):

- *“Clásico: planos a diferentes escalas de planta y alzados; secciones horizontales y verticales; planos topográficos con curvas de nivel.*
- *Digitales: rectificaciones de objetos planos y ortofotos (ortoimágenes) de superficies no planas, tanto a nivel de planta como de alzado. Las imágenes rectificadas u ortorrectificadas servían de base de las representaciones vectoriales obtenidas en el primer nivel, proporcionando información adicional de textura y color.*

→ *Actuales: nubes de puntos en 3D (a color o con niveles de intensidad), modelos digitales sin texturizar (y asignación de color o textura) y modelos fotorrealísticos 3D fieles (asignando la textura verdadera proveniente de las imágenes fotográficas)”.*

Ante cualquier restauración en edificios históricos el conocimiento previo de las degradaciones es muy importante, ya que de ahí se parte para poder realizar un proyecto integrador. El artículo “Reconocimiento de materiales y daños en edificios históricos mediante clasificación de imágenes digitales” dice que se busca que la técnica a utilizar no sea invasiva, esto quiere decir que no debe dañar, ni causar ningún tipo de alteración al elemento (Meroño, Perea, Aguilera, & Laguna, 2015).

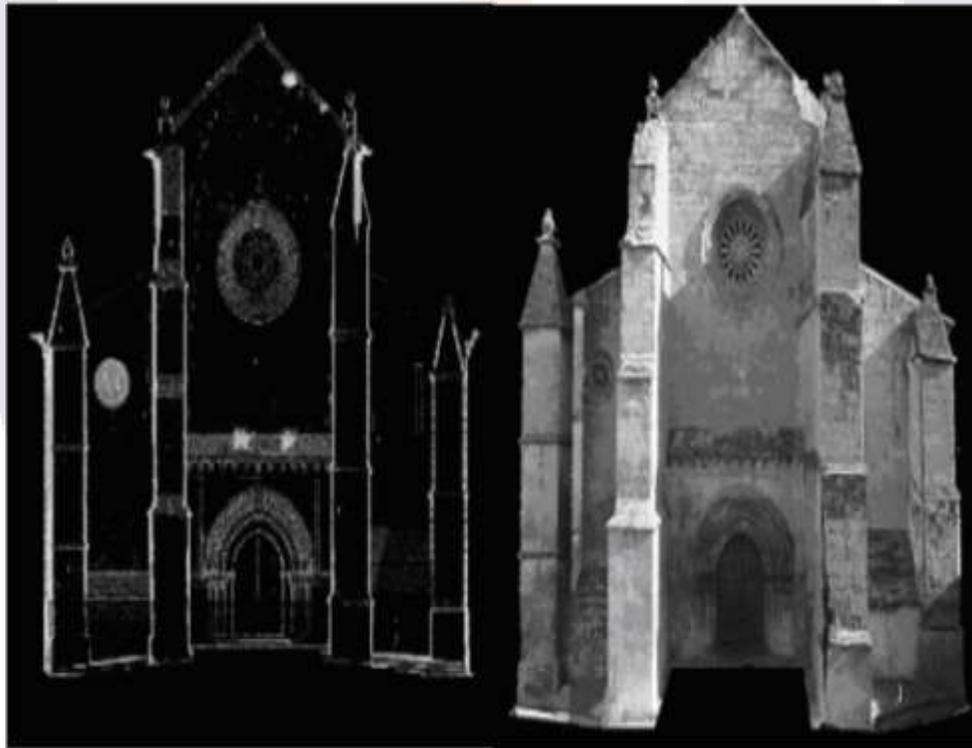


Ilustración 56 Iglesia de Santa Mónica en Córdoba, España. Obtenida de (Meroño, Perea, Aguilera, & Laguna, 2015)

Se describe una metodología con el uso de imágenes multiespectrales para hacer el diagnóstico, utilizando diferentes cámaras sensibles a los espectros visibles e infrarrojos, logrando obtener modelos 3D que les permite resultados –como los autores lo catalogan– exitosos, obteniendo un 92% de precisión para la detección de alteraciones en el material, disminuyendo costos y tiempos (Meroño, Perea, Aguilera, & Laguna, 2015). El caso de estudio de esta metodología fue la iglesia de Santa Mónica en Córdoba, España (ilustración 56).





CAPÍTULO
IV
METODOLOGÍA

IV.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Por el enfoque de esta investigación la metodología por seguir es de índole cualitativo. Teniendo en consideración:

→ El tipo de patología que presente el monumento y que tan detectable es mediante el modelo fotogramétrico.

La propuesta de ésta consiste en desarrollar y evaluar criterios confiables que permitan lograr modelos 3D que brinden información certera con herramientas digitales de corto rango.

- a) Selección de monumento histórico que presente daños en su composición y estructura.
- b) Se inicia el proceso con el levantamiento fotográfico, con un mínimo ideal de 100 fotos. Para la correcta captura de las fotografías se debe formar una circunferencia consecutiva alrededor del monumento.
- c) Se hace una evaluación de las fotografías que cumplan como mínimo un 0.7 de calidad, las que estén por debajo deberán ser eliminadas. El rango de evaluación es de 1 a 0, considerando 1 como la mayor calidad y 0 la menor. El valor de calidad es obtenido por el propio software.
- d) Las fotografías obtenidas se procesarán en el software Metashape Agisoft para iniciar el modelado 3D del monumento. Se crea una nube de puntos, una malla y una textura final.
- e) El siguiente paso será la realización del primer mapeo de patologías a partir del 3D, logrando apreciar algún tipo de las patologías descritas en el glosario de ICOMOS.

El mapeo *in situ* consiste en observar, identificar y plasmar con dibujos, los daños que presente el monumento, estos pueden ser a mano alzada o sobre algún boceto previamente trabajado en un software de diseño asistido. Para llevarlo a cabo se deben considerar los siguientes aspectos:

- f) Detectar la composición geológica del elemento. Identificando tipo de rocas y características físicas, como su color.
- g) Por sección localizar las rocas que presenten algún tipo de daño.
- h) Una vez identificadas las rocas con daño, definir las patologías que presentan basándose en el glosario de ICOMOS.
- i) Cada daño deberá ser precisado con algún color o con alguna técnica de achurado.
- j) Delimitar las zonas que presenten mayores afectaciones. Categorizando por bajo, medio o alto.

Los resultados de la identificación en ambos mapeos de las patologías, se vaciará a la tabla mostrada en el anexo A de acuerdo con los criterios de ICOMOS, esto con el propósito de hacer un tipo check list.

Al final se podrán comparar los dos mapeos patológicos –el realizada *in situ* y el hecho en gabinete- para poder determinar la efectividad obtenida a través de la fotogrametría.

4.1 Proceso

4.2 Selección de monumento

Se eligió la estatua a Benito Juárez ubicada en el barrio de la Purísima sobre avenida Alameda en la ciudad de Aguascalientes (ilustración 57).

Fue seleccionada por el alto nivel de deterioro que presenta en todo el pedestal, desde la base hasta la parte superior antes de llegar a la escultura de metal, detectando a simple vista afectaciones en las rocas desde manchas hasta pérdida de ellas. Además, por el sitio donde se encuentra, sobre vía pública, la programación de visitas no tendría ningún tipo de contratiempo, teniendo un fácil acceso.



Ilustración 57 Localización del monumento. Obtenida de Google Maps

El monumento ubicado actualmente a un costado de templo de la Purísima (ilustración 58), originalmente se encontraba entre palacio de gobierno y la catedral de Aguascalientes desde el 16 de septiembre del año 1902 construida por Federico Homdedeu.



Ilustración 58 Fotografía del monumento a Benito Juárez. Aguascalientes. Fotografía del autor

4.3 Levantamiento fotográfico

El procedimiento para realizar el levantamiento consiste en formar una circunferencia alrededor el monumento, tomando fotografías continuas en diferentes alturas para tratar de capturar todos los ángulos como lo muestra la ilustración 59. Entre las tomas debe existir una intersección para que se forme una secuencia y obtener mejores resultados en el modelo.

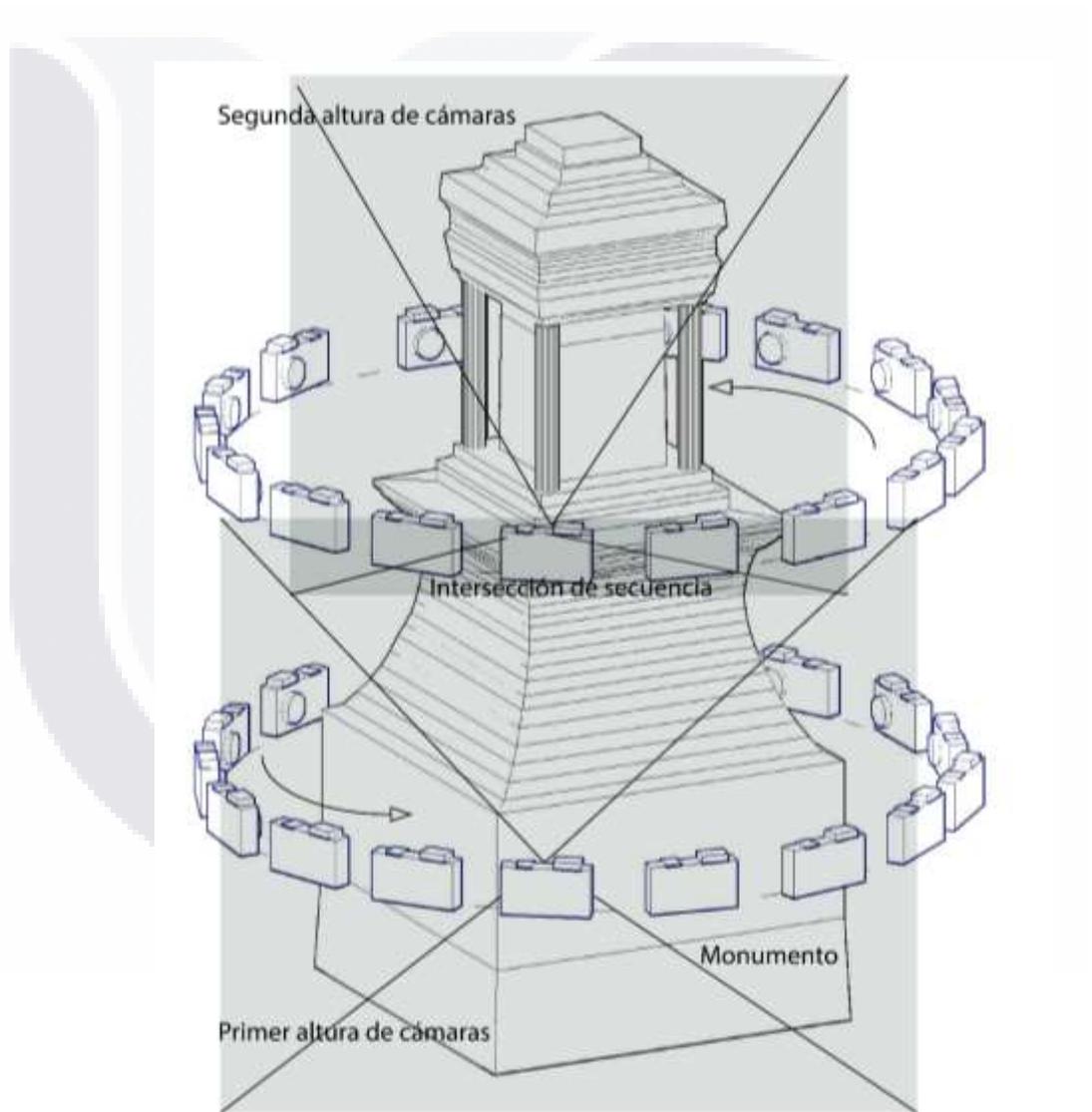


Ilustración 59 Proceso de levantamiento fotográfico. Elaboración propia

En este caso se realizaron dos levantamientos, ya que en el primero que fue a las 8:00 am, la incidencia solar estaba solo sobre una cara del monumento ocasionando sombras sobre el lado oriente, norte y sur, las cuales impidieron que el modelo no fuera de buena calidad.

Las ilustraciones 60 corresponden a ese primer levantamiento donde se aprecia la iluminación desigual proyectándose sobre el monumento.



Ilustración 60 Fotografías del monumento. Izquierda: se observa la salida del sol. Derecha: la incidencia solar a diferente altura provocando gran cantidad de sombras. Fotografía del autor

4.4 Equipo

Como característica de la técnica de fotogrametría digital de corto rango (FDCR) permite el uso de cámaras convencionales como la de un celular, para esta prueba se ha utilizado la cámara del Samsung S9 plus con una resolución de 12 MP y una apertura dual (F1.5/F2.4).

4.5 Modelado 3D

Teniendo el levantamiento realizado con aproximadamente 280 fotografías, se procedió a vaciarlas en el software Metashape Agisoft versión para estudiantes donde se elaboró el modelo 3D.

Haciendo un procesamiento de imagen para determinar el mapa de profundidad, detección de puntos de interés, correspondencia de puntos y reconstrucción de puntos. Esta secuencia se repite entre todas las fotografías del conjunto. Luego se creó una malla, formando el 3D, se modela y se le agrega una textura para obtener una visualización más realista el monumento (Grandón, Aracena, & Luls, 2007).

Dentro del espacio de trabajo ubicado en la parte izquierda de la pantalla aparece la pestaña de “añadir fotos”, la cual abre una ventana donde se puede ubicar la carpeta de la computadora y se eligen las fotos con las que se va a trabajar (Ilustración 61).

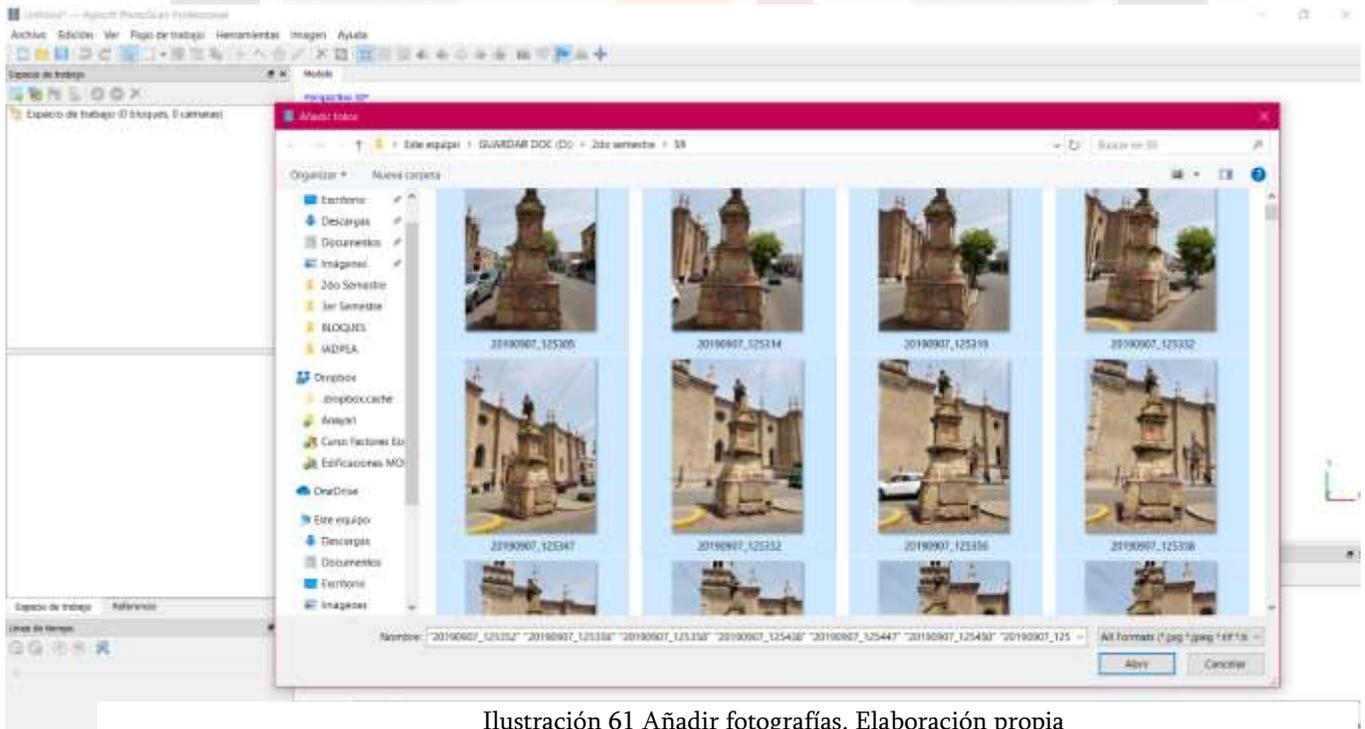


Ilustración 61 Añadir fotografías. Elaboración propia

Una vez hecha la selección se importan desde el ordenador al software y se colocan como lo muestra la ilustración 62.

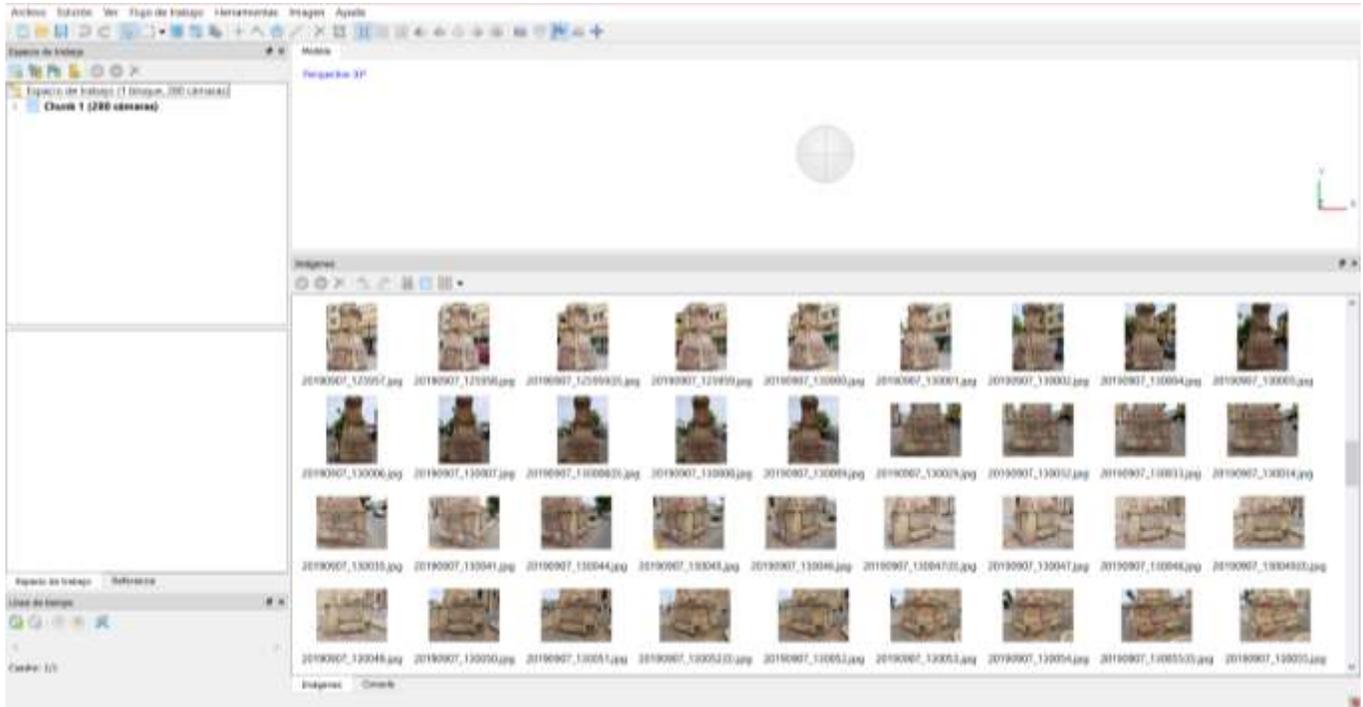


Ilustración 62 Fotografías cargadas al software. Elaboración propia

Si alguna de ellas se encuentra orientada horizontalmente, el software hace una advertencia sobre posibles problemas en cuanto a los resultados óptimos de calidad (Ilustración 63).

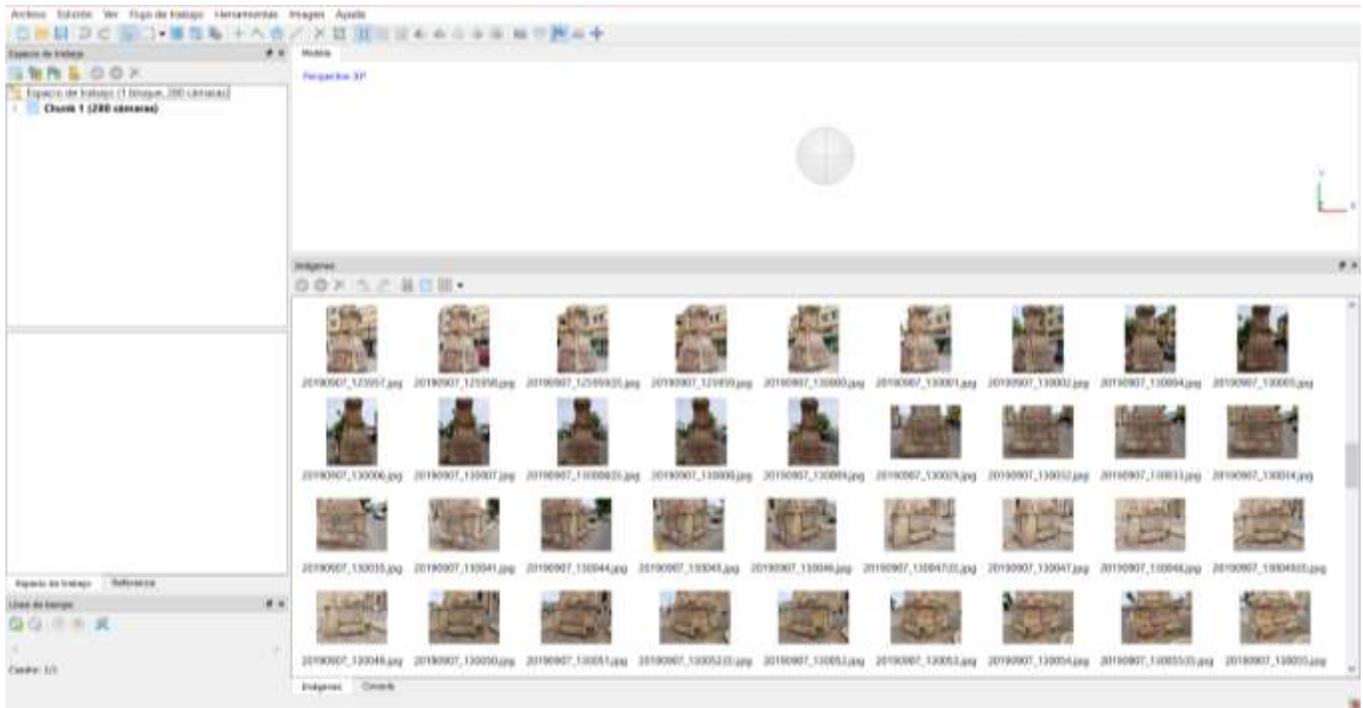


Ilustración 63 Recuadro de advertencia en la orientación de las fotografías. Elaboración propia

Luego de añadir las fotos, dentro de la pestaña de flujo de trabajo, se aplica “orientar fotos” (Ilustración 64). Esta función lo que permite es alinear la secuencia de fotografías para encontrar puntos en común entre ellas.

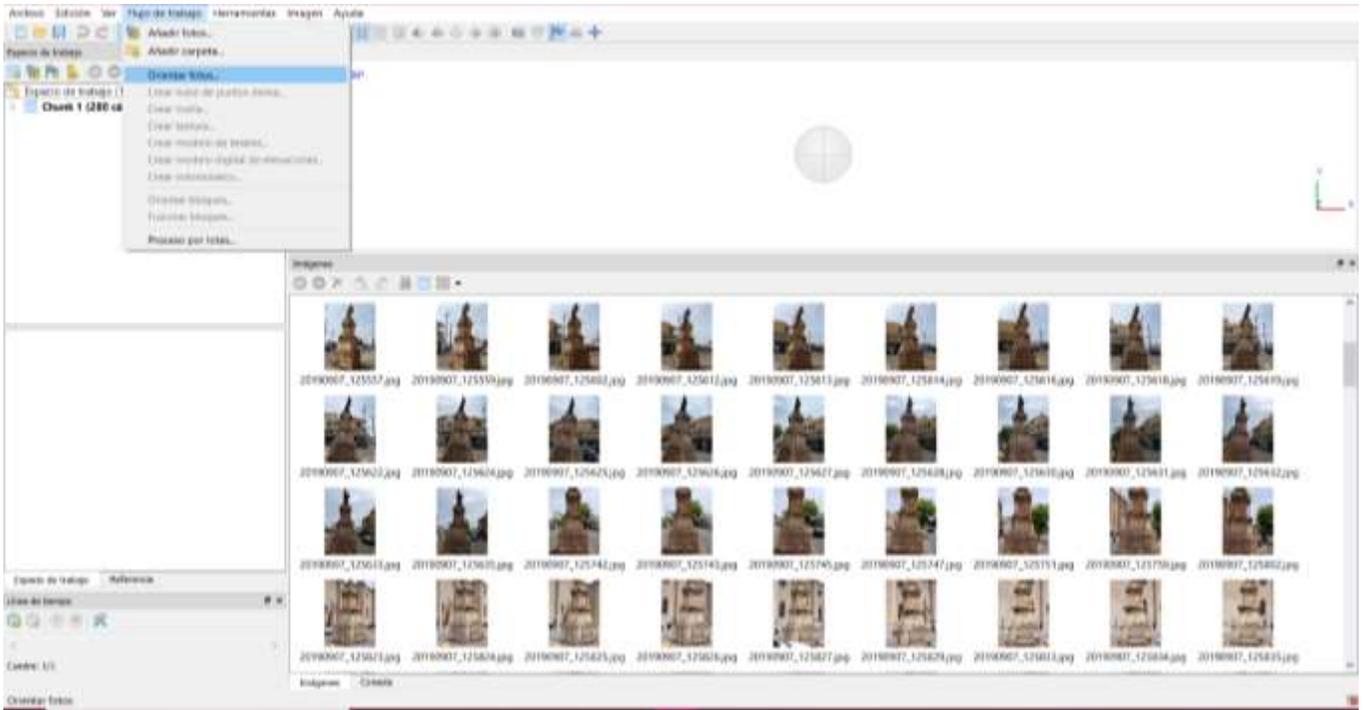


Ilustración 64 Orientar fotos. Elaboración propia

Como resultado de “orientar fotos” se obtiene una nube de 456,338 puntos dispersos, encontrando puntos en común entre las fotos, logrando que se puedan apreciar las fotografías alineadas, formando una esfera de capturas (Ilustración 65).

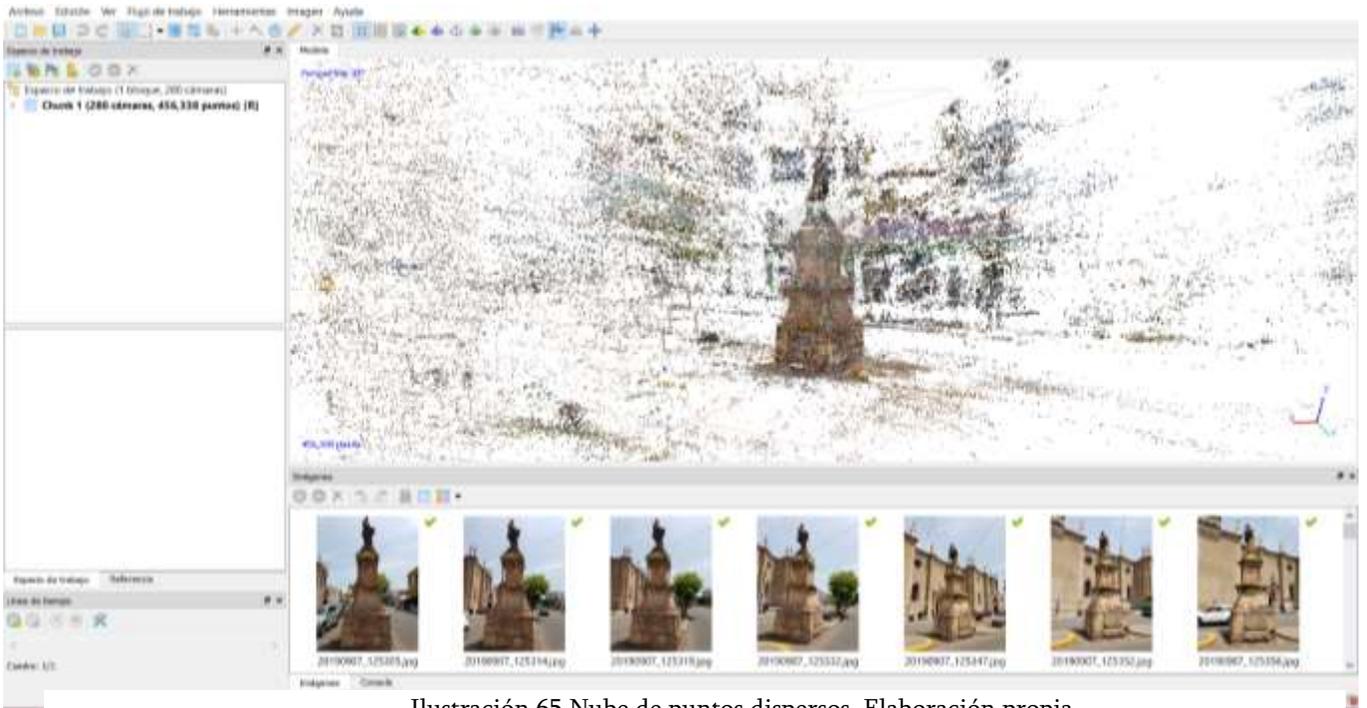


Ilustración 65 Nube de puntos dispersos. Elaboración propia

Para formar este modelo, las capturas se hicieron a diferentes distancias de disparo, formando tres circunferencias. La primera fue tomada a una separación de aproximada 0.80 m de la base, donde la toma fue cerrada tratando de que las fotos capturaran un óptimo nivel de detalle para que el software pudiera identificar la mayoría de las patologías de la cantera hermosa. La segunda y tercera fueron tomadas en una periferia de 2.00 a 5.00 m para poder apreciar el volumen total y obtener la forma completa, así como vértices y aristas.

Como se puede apreciar en la ilustración 66, la circunferencia es formada por “cámaras”, como el software llama a las fotografías que fueron añadidas al inicio del proceso.

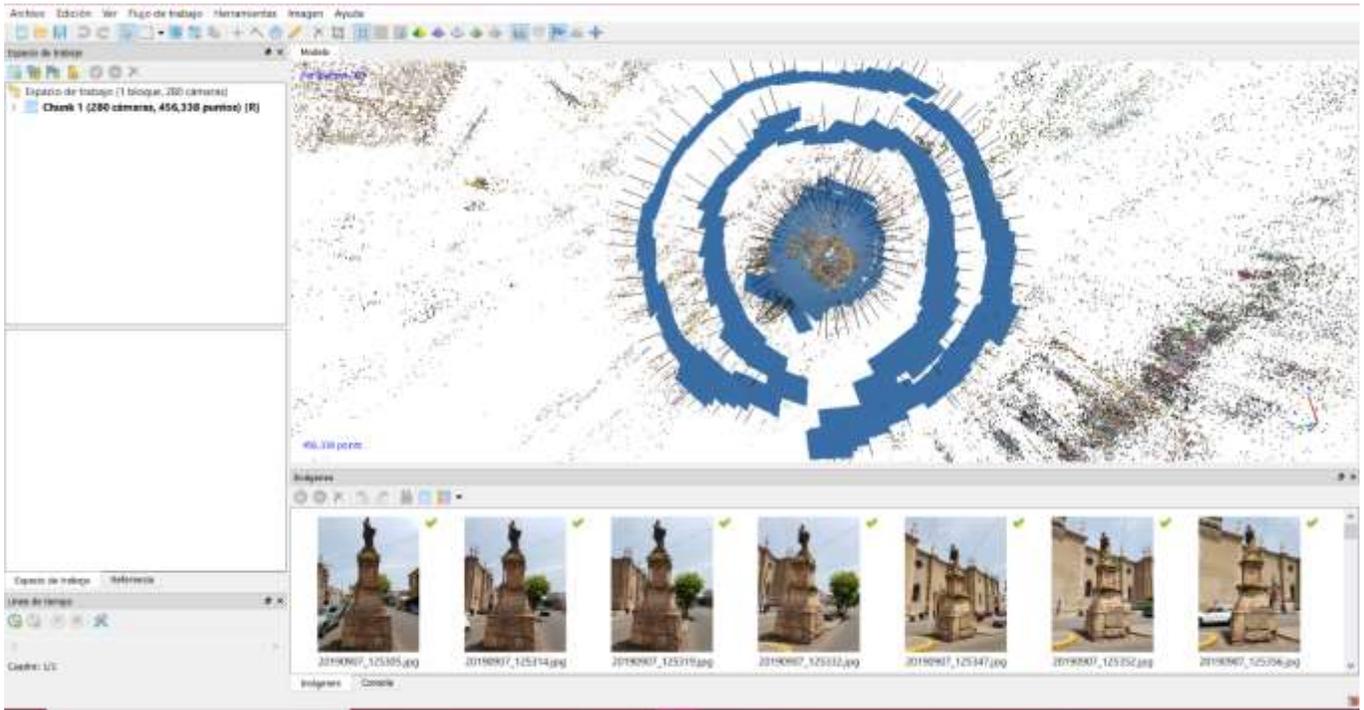


Ilustración 66 Vista de cámaras. Elaboración propia

El software permite estimar la calidad de las fotografías con las que se obtuvo la nube de puntos, permitiendo eliminar las que manejen un estándar bajo y dejar las que están correctamente tomadas. Dando clic derecho sobre alguna imagen se despliega la ventana de opciones (Ilustración 67).

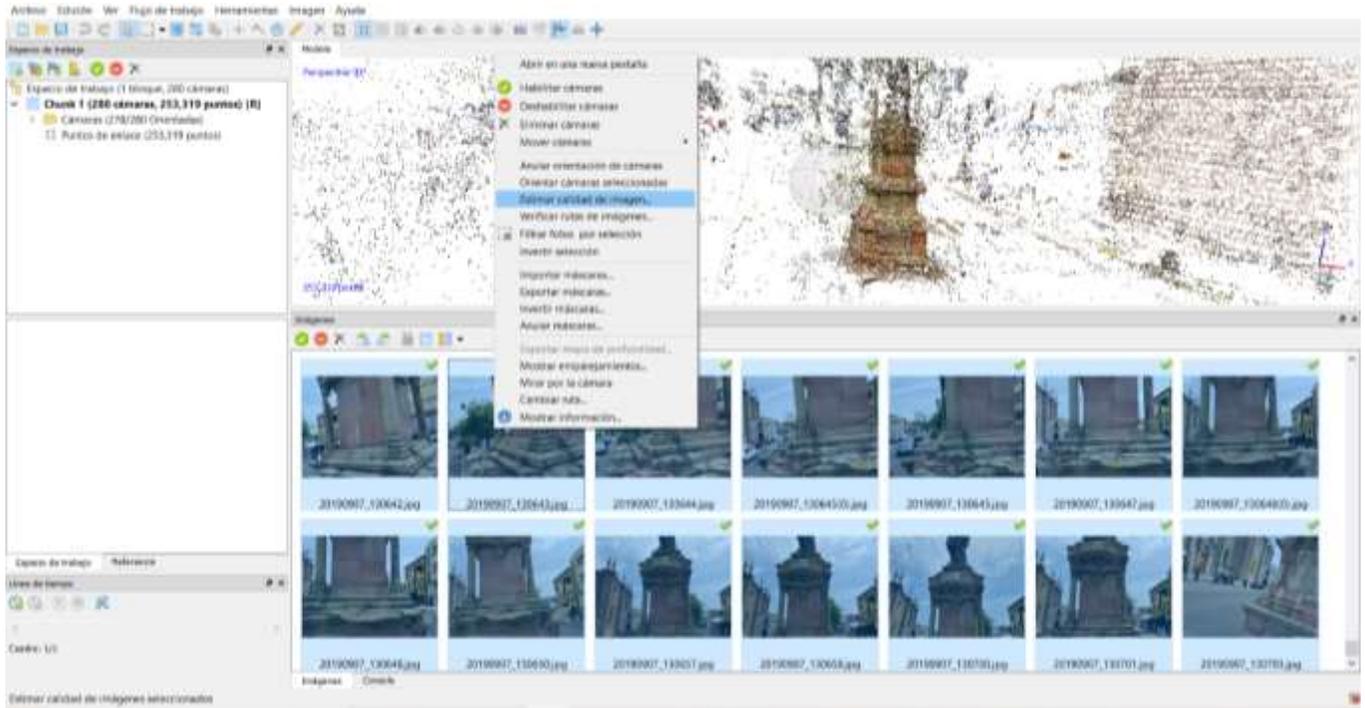


Ilustración 67 Estimación de calidad de imágenes. Elaboración propia

Una vez realizada la estimación, se puede observar información precisa de cada una de las 280 fotografías agregadas (Ilustración 68), como tamaño, fecha y hora, fabricante y modelo de la cámara con la que fueron tomadas las fotos y la calidad que, en este caso, se obtuvo un rango de un mínimo de 0.7 y un máximo de 1.4, teniendo un promedio superior de 1.0, esto quiere decir que las fotografías utilizadas son aptas para obtener un buen modelo 3D.

| Etiqueta | Tamaño | Orientada | Calidad | Fecha y hora | Fabricante | Modelo | Distancia focal | F-stop | ISO | Velocidad de obt. | Focal equivale |
|---------------|-----------|-----------|----------|---------------------|------------|----------|-----------------|--------|-----|-------------------|----------------|
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.04393 | 2019-09-07 12:54:25 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2820 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.04326 | 2019-09-07 12:54:24 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2295 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.04229 | 2019-09-07 12:54:18 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2450 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.03721 | 2019-09-07 12:54:22 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2285 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.01777 | 2019-09-07 12:54:26 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2773 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 1.01558 | 2019-09-07 12:54:19 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2151 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.979466 | 2019-09-07 12:54:27 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2517 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.959968 | 2019-09-07 12:54:33 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1967 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.954429 | 2019-09-07 13:06:58 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1994 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.954481 | 2019-09-07 12:54:30 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2342 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.953284 | 2019-09-07 13:06:34 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1813 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.952858 | 2019-09-07 12:54:16 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1780 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.951618 | 2019-09-07 12:54:35 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1967 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.948137 | 2019-09-07 12:54:31 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2655 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.943347 | 2019-09-07 12:54:12 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1595 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.941526 | 2019-09-07 13:06:57 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1838 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.938369 | 2019-09-07 12:54:28 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/2068 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.938073 | 2019-09-07 12:54:39 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/636 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.807303 | 2019-09-07 13:00:04 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/471 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.806782 | 2019-09-07 12:59:39 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/174 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.805267 | 2019-09-07 13:06:30 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/986 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.80445 | 2019-09-07 13:06:28 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/976 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.803509 | 2019-09-07 12:59:59 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/174 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.803478 | 2019-09-07 13:06:35 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/919 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.801708 | 2019-09-07 13:06:21 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/756 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.800762 | 2019-09-07 13:06:20 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/756 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.799968 | 2019-09-07 13:06:22 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1084 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.794261 | 2019-09-07 13:05:57 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1339 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.792014 | 2019-09-07 13:06:36 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/441 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.791079 | 2019-09-07 12:57:47 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/472 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.789525 | 2019-09-07 13:00:02 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/467 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.783626 | 2019-09-07 13:00:01 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/190 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.772973 | 2019-09-07 12:59:57 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/158 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.771374 | 2019-09-07 12:59:51 | samsung | SM-G9650 | 6 | f/2.4 | 32 | 1/154 | 52 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.749554 | 2019-09-07 13:06:42 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/1206 | 26 |
| 20190907_1... | 4032x3024 | ✓ | 0.704219 | 2019-09-07 13:07:03 | samsung | SM-G9650 | 4.3 | f/2.4 | 50 | 1/854 | 26 |

Ilustración 68 Tabla de datos con la estimación de calidad de las imágenes añadidas. Elaboración propia

Nuevamente en la pestaña de flujo de trabajo, se debe “crear nube de puntos densa” manejando una calidad “alta” la cual implica tener miles y miles de puntos, buscando la máxima calidad para una buena definición de las esquinas y bordes (Ilustración 69). Por eso, la importancia de que las aristas queden perfectamente cubiertas por las fotos, o sea que exista la intersección en la secuencia en las que aparezcan con ángulo similar las dos tomas. Generar esta nube de puntos densa se llevó un tiempo aproximado de 10 horas.

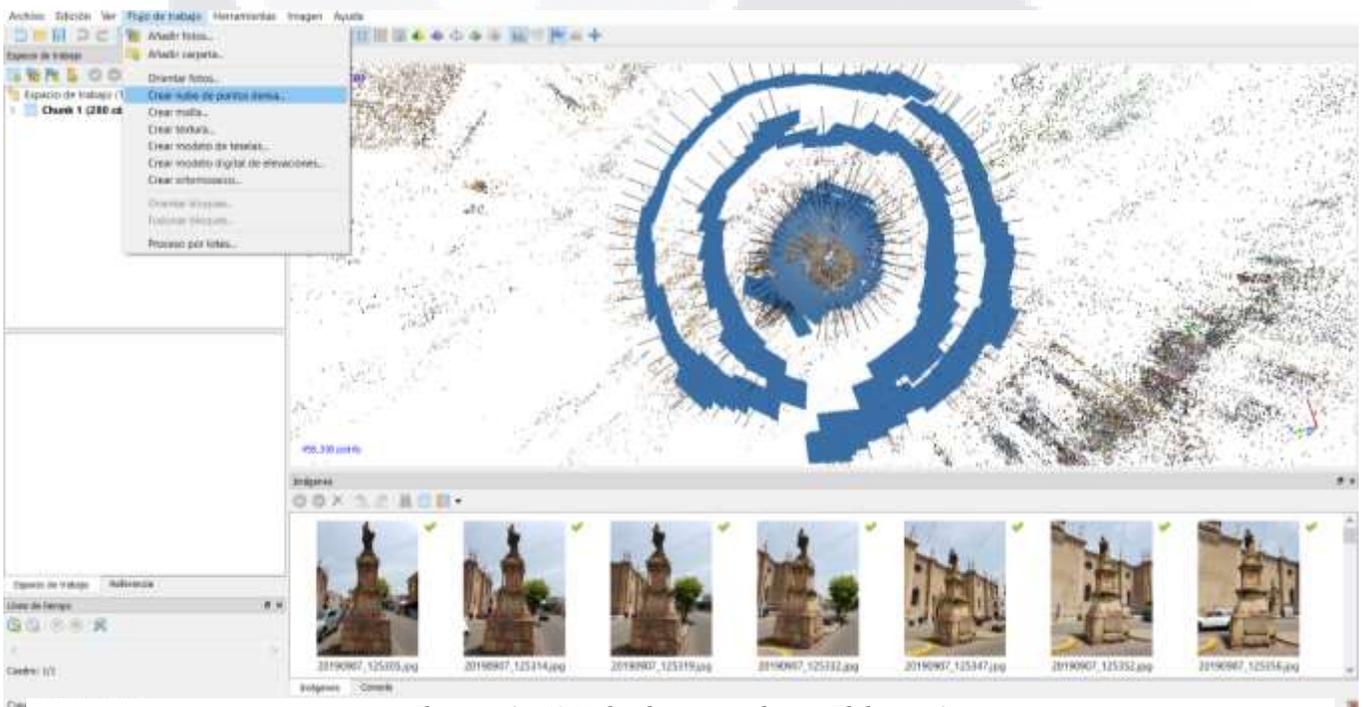


Ilustración 69 Nube de puntos densa. Elaboración propia

Terminado este proceso, se hace una primera limpieza de puntos, que consiste en seleccionar los que están alrededor del volumen del monumento, los cuales forman el entorno que lo rodea, permitiendo generar una malla con menos errores, definiendo las formas solo del monumento, como aristas, elementos como columnas y algunas pérdidas de material que presente. La limpieza funciona básicamente para que los siguientes procesos sean más rápidos, pues lo que interesa es solo el volumen del monumento (Ilustración 70).

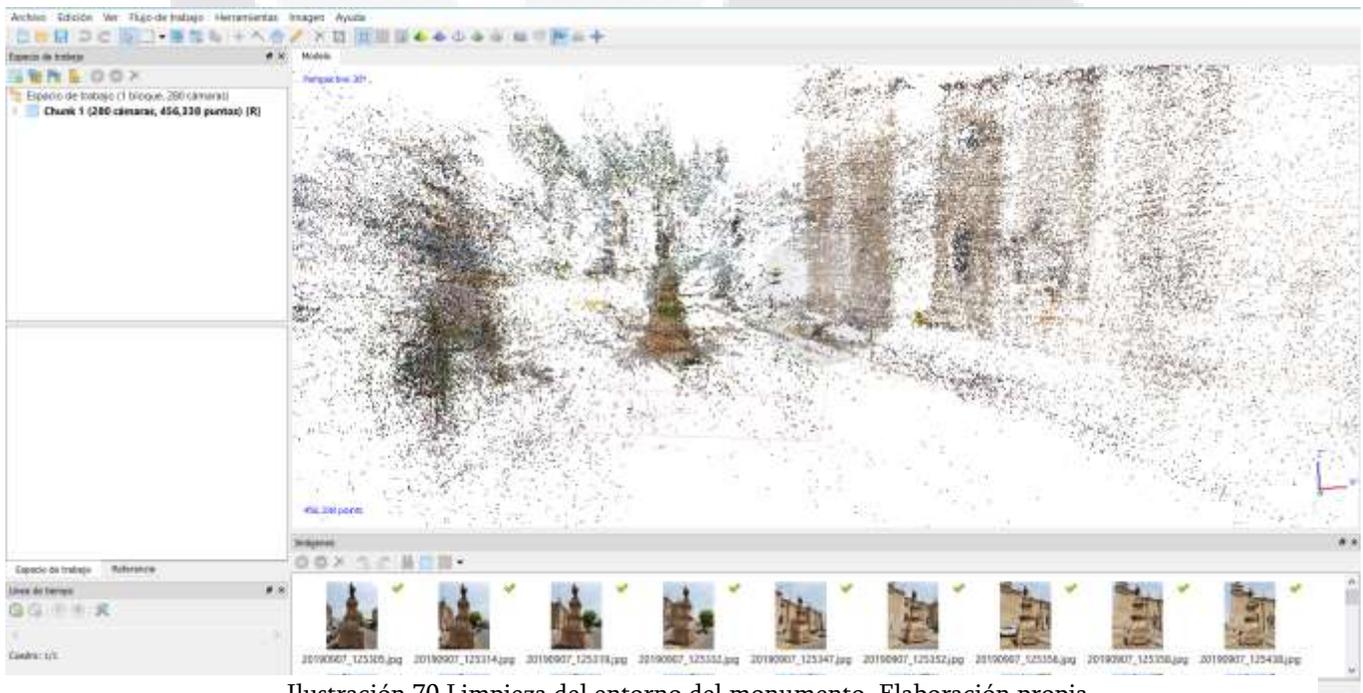


Ilustración 70 Limpieza del entorno del monumento. Elaboración propia

Aun con la limpieza de selección punto por punto, pueden quedar algunos esparcidos en su alrededor y para ello, se puede hacer una acotación de la nube de puntos mediante un ortoedro que se puede ajustar según sea la necesidad del volumen de trabajo y esos puntos que llegasen a quedar fuera, no intervendrían en los siguientes procesos para la obtención del modelo 3D.

Se continua en las herramientas de flujo de trabajo, y ahora en “crear malla”. Ya en el espacio de trabajo que fue acotado mediante la limpieza de puntos y la redimensión del volumen de trabajo con el ortoedro o “caja de zapatos” que se aprecia en la ilustración 71.

En este punto del modelo, se pueden apreciar algunos huecos en la malla que no fueron identificados por los miles de puntos que se crearon en la nube de puntos densa.

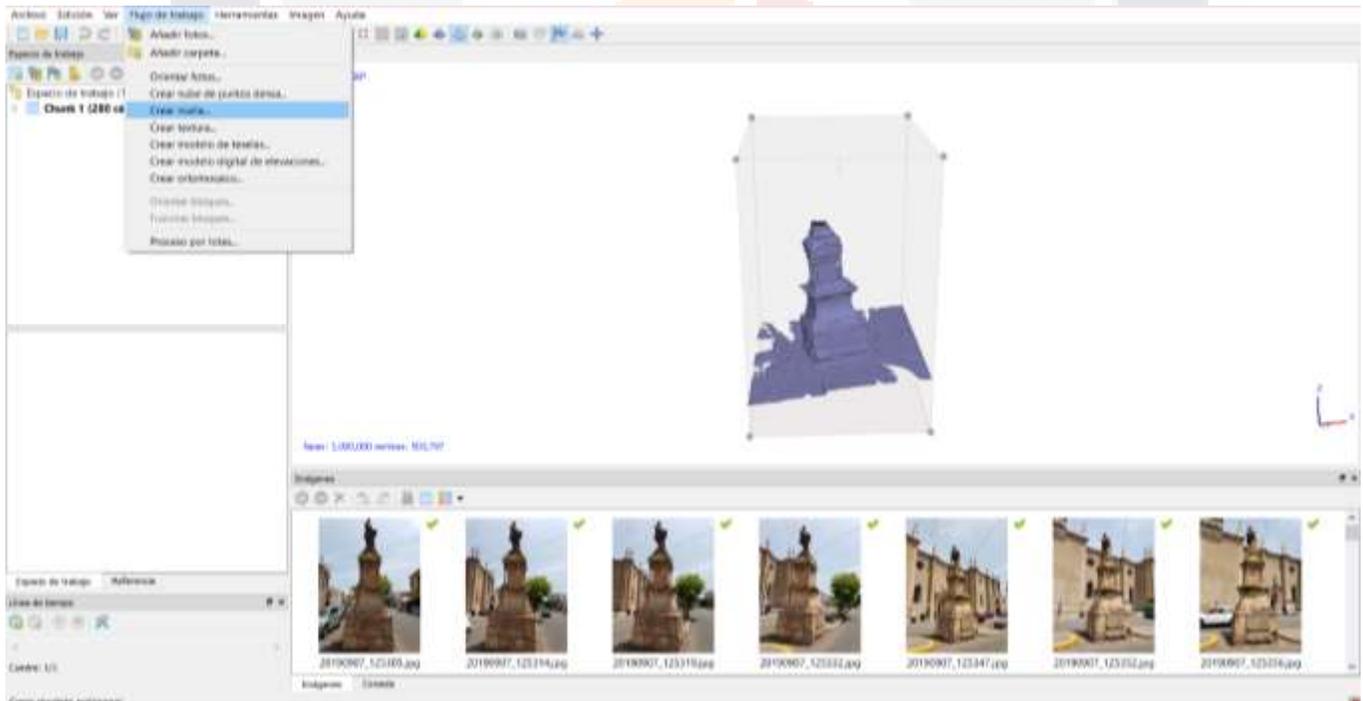


Ilustración 71 Creación de malla. Elaboración propia

Aun cuando el modelo presenta tales huecos, la malla se logra formar de cuatro maneras: malla sombreada, malla alambre, malla con color y malla con textura, estas dos últimas, representan el acabado real del monumento, el cual ayudara a determinar las patologías que sufre la cantera hermosa (Ilustración 72).



Ilustración 72 Creación de los diferentes tipos de malla. Elaboración propia

El resultado obtenido del modelo 3D se puede considerar aproximadamente un 90% del monumento total, consiguiendo una calidad alta en su resolución, dejando incompleta solamente la zona de la escultura que se encuentra en la parte superior, la cual está hecha de un material diferente a la cantera por lo que fue más complicado que el software lo conformara.

Las ilustraciones que se presentan a continuación fueron obtenidas directamente del modelo 3D del software Agisoft, la ilustración 73, muestra una cara del modelado 3D y la ilustración 74, muestra los tres sectores en los que se dividió la conformación del monumento, parte inferior, parte central y parte superior.



Ilustración 73 Modelo 3D del monumento. Elaboración propia



Ilustración 74 Modelo 3D: parte superior, intermedia e inferior. Elaboración propia



CAPÍTULO
V
RESULTADOS

V.- RESULTADOS

5.1 Mapeo litológico

Finalizado el proceso del modelado 3D del monumento, el siguiente paso es hacer el mapeo de patologías, a partir de él, para posteriormente, compararlo con el mapeo realizado *in situ*.

Se comenzó identificando el tipo de roca por las que está compuesto el monumento, teniendo como resultado del mapeo litológico sobre cada una de sus caras (Ilustraciones 75 y 76). Pudiendo determinar que, está construido por cantera hermosa en dos tonalidades: rosa y amarilla; teniendo piezas con combinaciones de ambos colores.

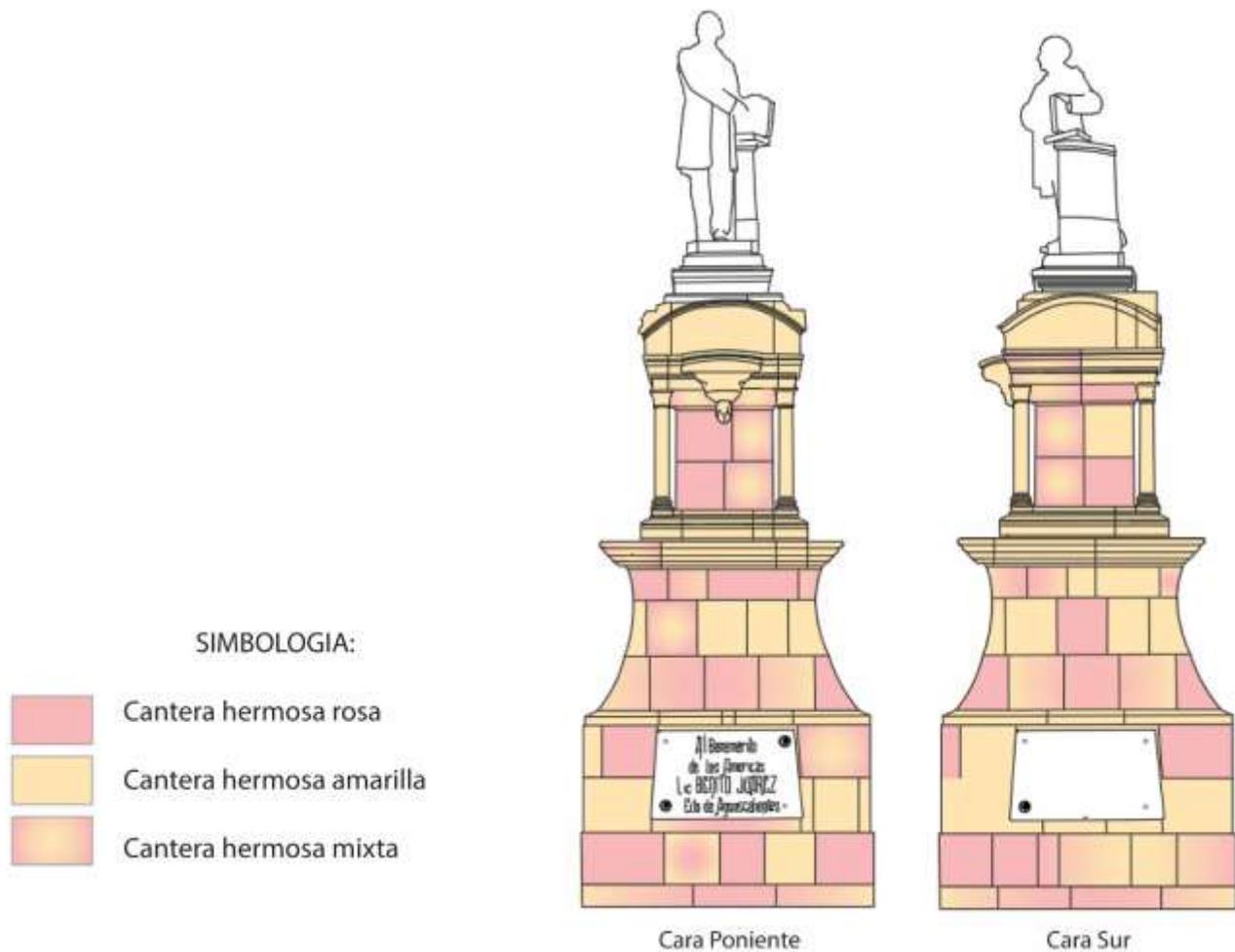


Ilustración 75 Mapeo litológico en cara poniente y sur. Elaboración propia

Hay una presencia proporcional en las piezas de ambos colores en las cuatro caras del monumento, encontrando una minoría en las piezas que tienen ambos colores.

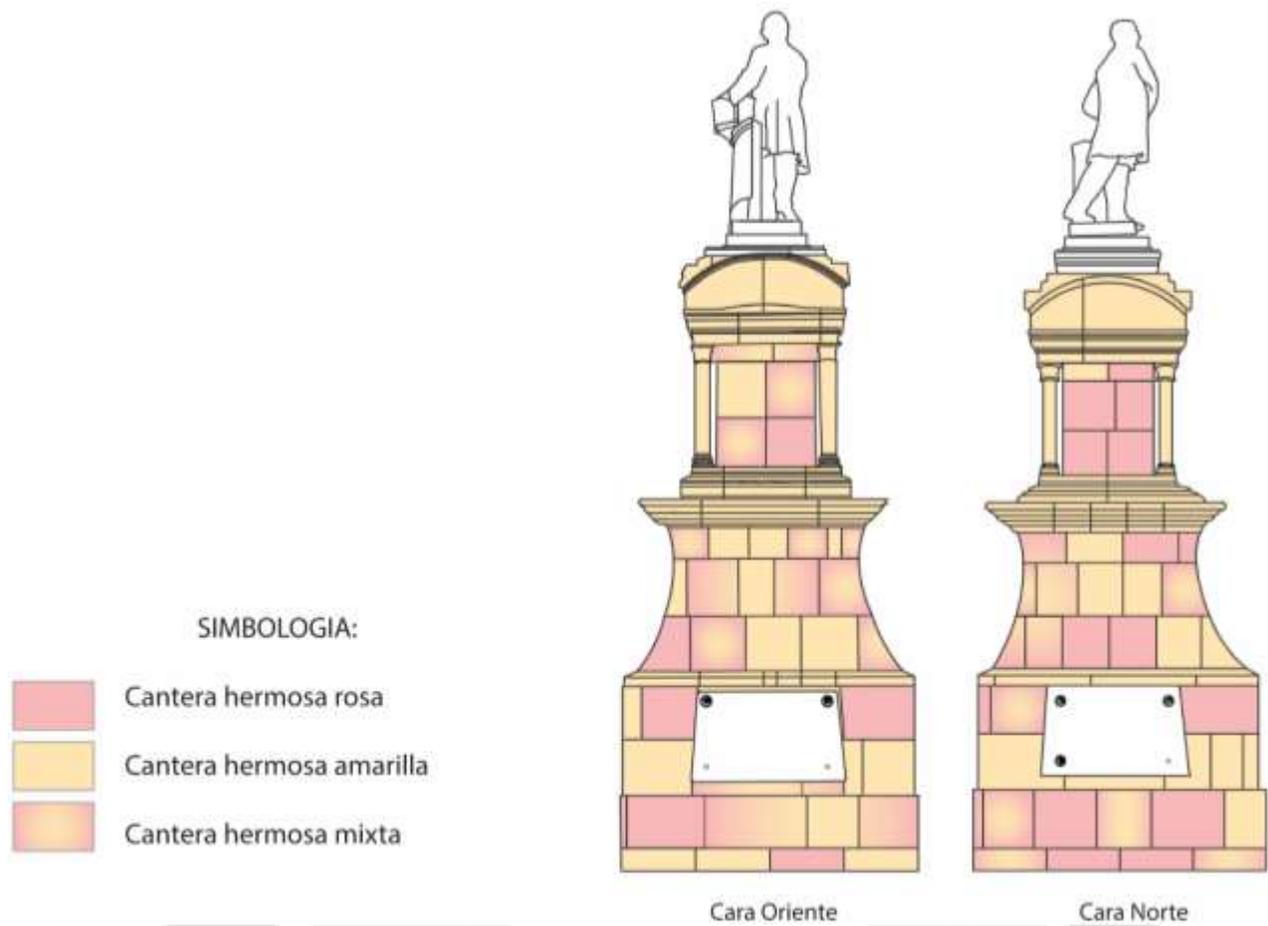


Ilustración 76 Mapeo litológico en cara oriente y norte. Elaboración propia

La cantera es una de las principales rocas que a través de los años se ha utilizado en la construcción de edificios y monumentos, logrando tener las propiedades necesarias para continuar con el paso de los años.

Dentro del estado de Aguascalientes, existen importantes bancos de materiales, según el informe del Servicio Geológico Mexicano (2018) entre los años 2017 y 2018, existían siete bancos de donde se extraía cantera, grava y arena (Ilustración 77).

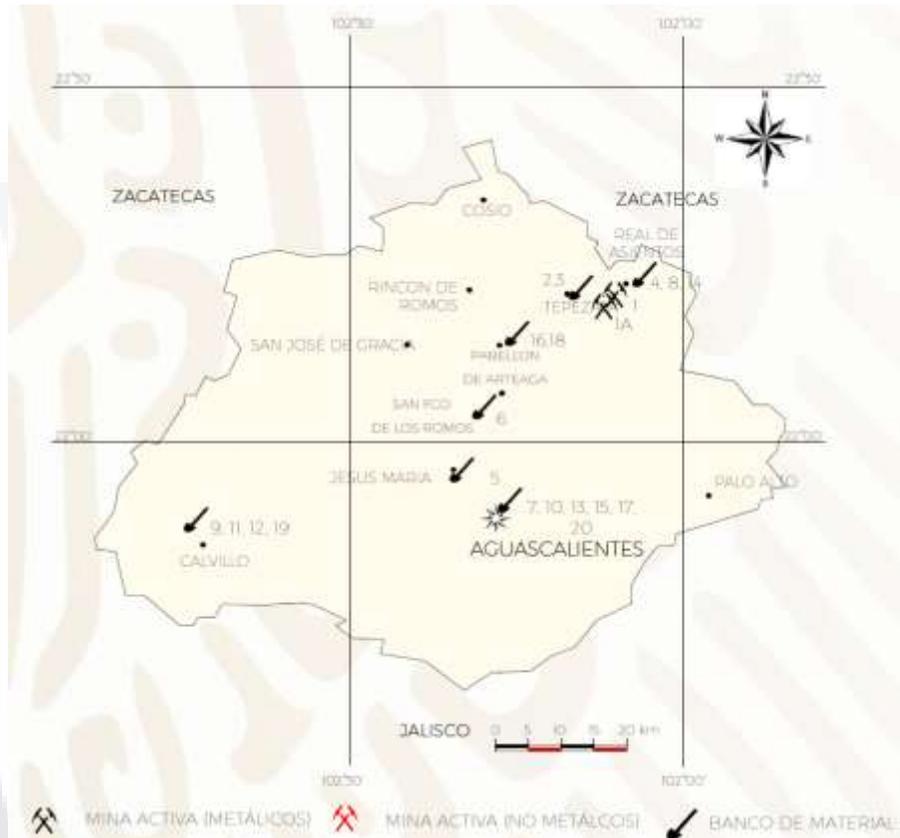


Ilustración 77 Localización de bancos de extracción en Aguascalientes. Obtenido de (*Servicio Geológico Mexicano , 2018*)

El tipo de roca que incumbe a esta investigación, por sus características, se presupone que fue extraída de la comunidad de Clavellinas, en el municipio de Asientos, Aguascalientes, pues la combinación de los dos tonos de color es común en esta zona del estado. Actualmente se sigue llevando a cabo el laminado y labrado de la cantera en esa región (Ilustración 78).



Ilustración 78 Banco de extracción de Clavellinas, Asientos, Ags. Fotografía del autor

Se realizó un análisis de las rocas por las que se conforma el monumento, identificando la cantidad total de elementos por cada cara y cuantificando las piezas que corresponden al color amarillo, rosa y mixto.

Obteniendo como resultado que las cuatro caras, tienen de las tres tonalidades antes mencionadas, pero su conformación es mayoritariamente por piezas amarillas.

La cara poniente está conformada por un total de 56 piezas de cantera, de las cuales 29 son de color amarillo, 9 rosas y 18 mixtas (Ilustración 79).

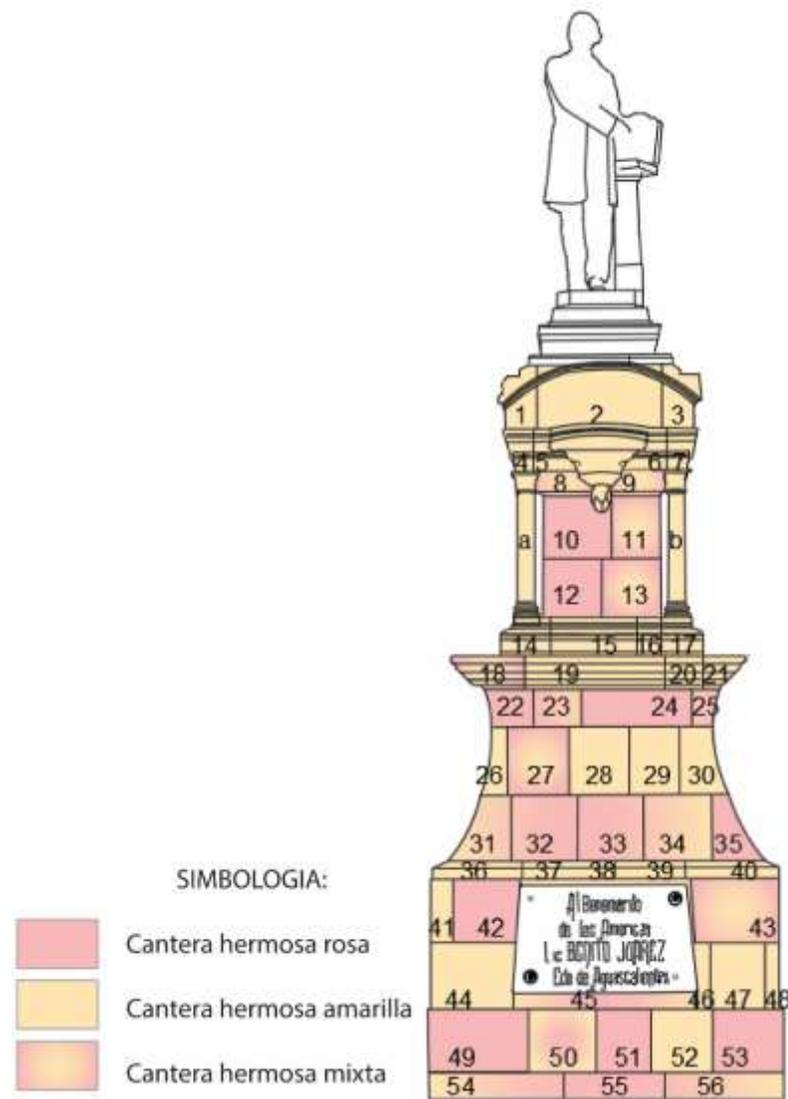


Ilustración 79 Cuantificación de rocas, cara poniente. Elaboración propia

Tabla 2 Resumen de rocas que conforman la cara poniente. Elaboración propia

| CARA PONIENTE | Cantidad | Porcentaje |
|--------------------------|----------|------------|
| Rocas por cara: | 56 | 100% |
| Rocas color amarillo: | 29 | 52% |
| Rocas color rosa: | 9 | 16% |
| Rocas color mixto (a-r): | 18 | 32% |

La cara sur está integrada por un total de 51 piezas de cantera, de las cuales 24 son de color amarillo, 18 rosas y 9 mixtas (Ilustración 80).

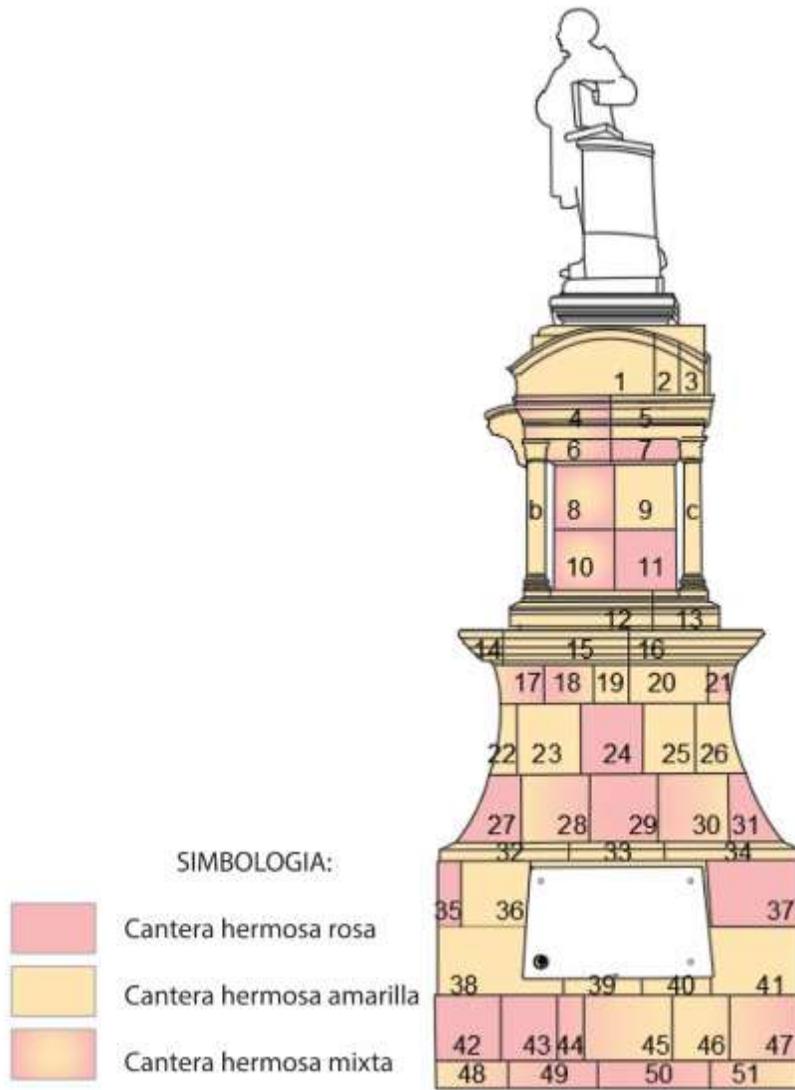


Ilustración 80 Cuantificación de rocas cara sur. Elaboración propia

Tabla 3 Resumen de rocas que conforman la cara sur. Elaboración propia

| CARA SUR | Cantidad | Porcentaje |
|--------------------------|----------|------------|
| Rocas por cara: | 51 | 100% |
| Rocas color amarillo: | 24 | 47% |
| Rocas color rosa: | 18 | 35% |
| Rocas color mixto (a-r): | 9 | 18% |

Para la cara oriente está formada por un total de 53 piezas de cantera, de las cuales 31 son de color amarillo, solamente 6 rosas y 16 mixtas (Ilustración 81).

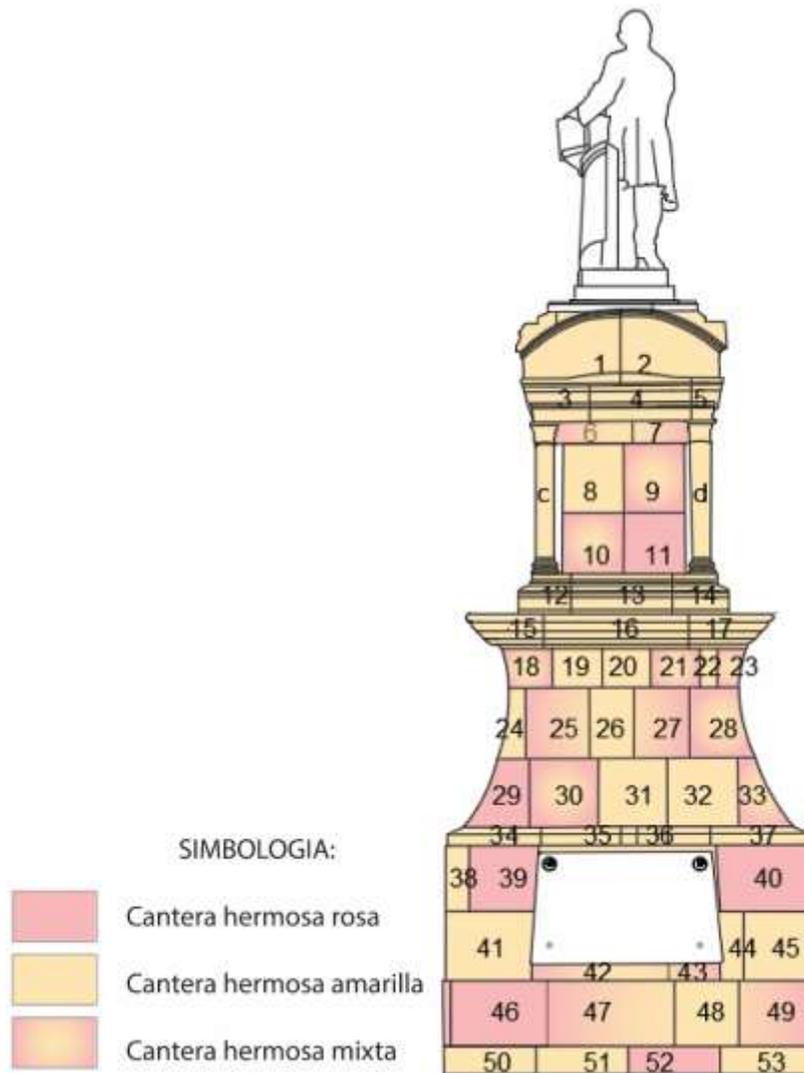


Ilustración 81 Cuantificación de rocas cara oriente. Elaboración propia

Tabla 4 Resumen de rocas que conforman la cara oriente. Elaboración propia

| CARA ORIENTE | Cantidad | Porcentaje |
|--------------------------|----------|------------|
| Rocas por cara: | 53 | 100% |
| Rocas color amarillo: | 31 | 59% |
| Rocas color rosa: | 6 | 11% |
| Rocas color mixto (a-r): | 16 | 30% |

Y finalmente, la cara norte está constituida por un total de 54 piezas de cantera, de las cuales 27 son de color amarillo, 15 rosas y 12 mixtas (Ilustración 82).

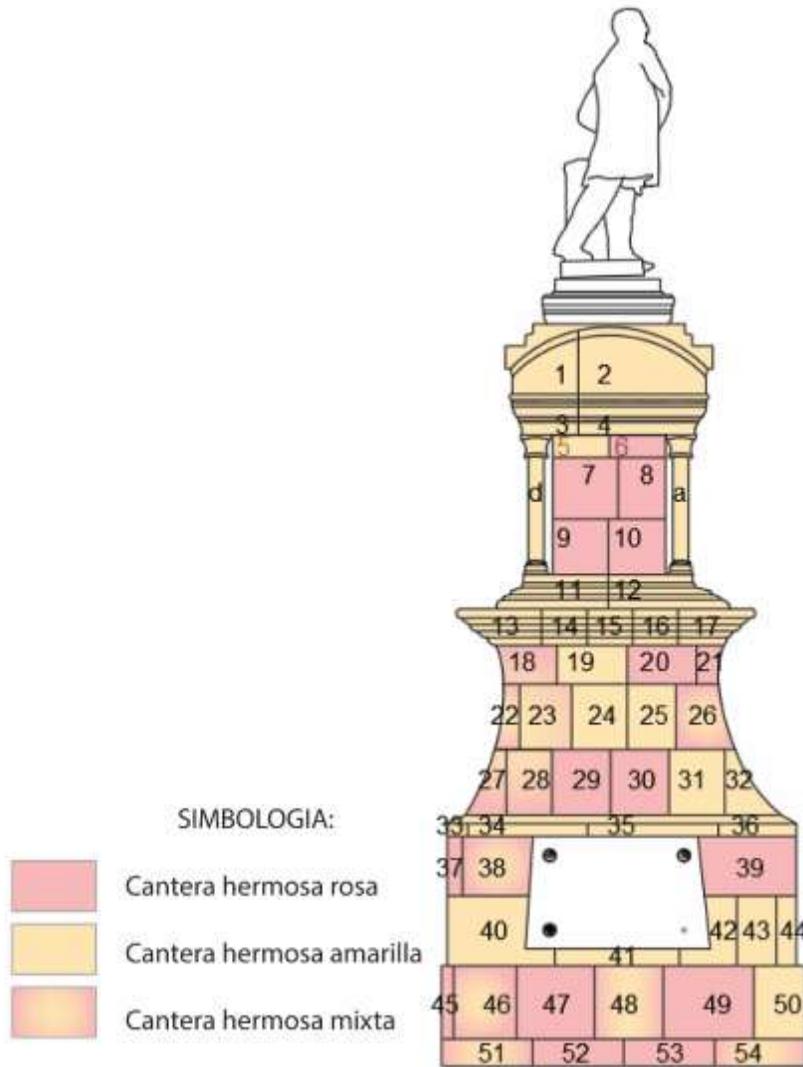


Ilustración 82 Cuantificación de rocas cara norte. Elaboración propia

Tabla 5 Resumen de rocas que conforman la cara norte. Elaboración propia

| CARA NORTE | Cantidad | Porcentaje |
|--------------------------|----------|------------|
| Rocas por cara: | 54 | 100% |
| Rocas color amarillo: | 27 | 50% |
| Rocas color rosa: | 15 | 28% |
| Rocas color mixto (a-r): | 12 | 22% |

5.2 Mapeo de patologías con modelo 3D

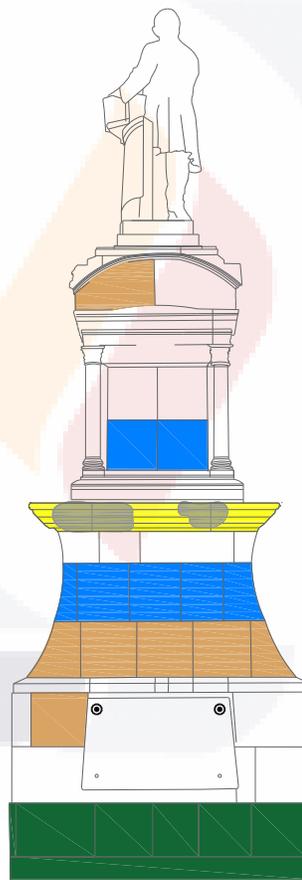
Como procesos separados se realizaron dos mapeos, uno sobre el modelo 3D y el segundo fue *in situ*.

Mostrando en primer lugar el mapeo de patologías obtenidas del modelo 3D.

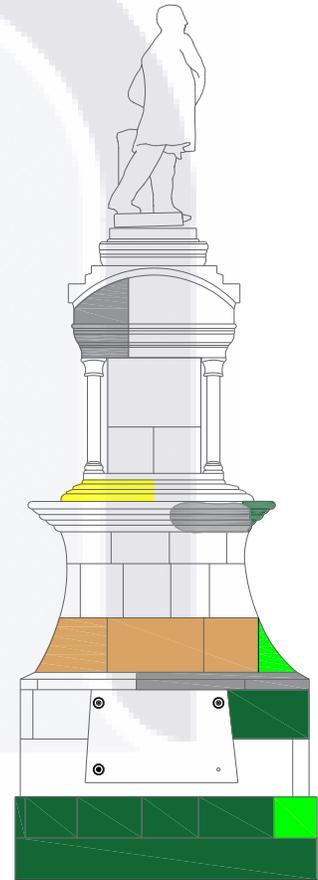
Se distinguieron ocho patologías representadas en los siguientes gráficos (Ilustraciones 83 y 84).

Simbología:

-  **Graffiti**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Deslaminación**
-Desprendimiento-
-  **Descamación**
-Desprendimiento-
-  **Costra**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Fragmentación**
-Desprendimiento-
-  **Fragmentación**
-Desconchadura-
-  **Disyunción de películas**
-Desprendimiento-
-  **Faltante**
-Rasgos inducidos por pérdida de material-



Cara oriente



Cara norte

Ilustración 83 Mapeo de patologías -modelo 3D- caras oriente y norte. Elaboración propia

Simbología:

-  **Graffiti**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Deslaminación**
-Desprendimiento-
-  **Descamación**
-Desprendimiento-
-  **Costra**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Fragmentación**
-Desprendimiento-
-  **Fragmentación**
-Desconchadura-
-  **Disyunción de películas**
-Desprendimiento-
-  **Faltante**
-Rasgos inducidos por pérdida de material-

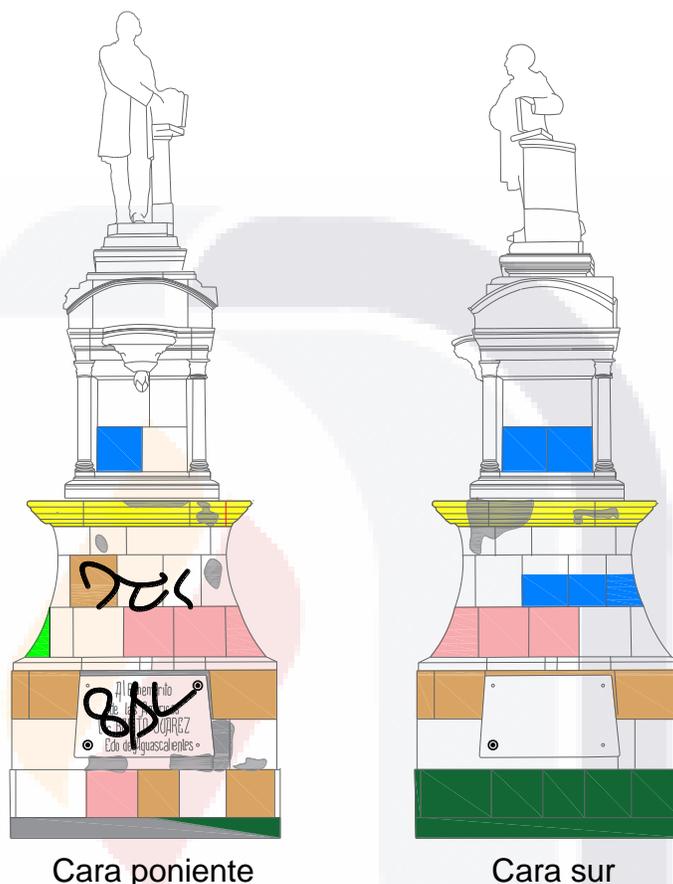


Ilustración 84 Mapeo de patologías -modelo 3D- caras poniente y sur. Elaboración propia

Teniendo los mapeos de las cuatro caras del monumento, se vació la información a una tabla para hacer un tipo check list de las patologías clasificados según el ICOMOS que se pudieron identificar. Teniendo que descamación y deslaminación pertenecientes al ítem de desprendimiento son las patologías que se observaron mayormente, además de la costra que resulta de la interacción que hay de la cantera con los diferentes factores que existen en la atmósfera.

Tabla 6 Check list de patologías identificadas por medio del modelo 3D. Elaboración propia

| No. | Ítem | Se presenta |
|---|---------------------------------------|-------------|
| 1 Grieta y deformación | | |
| 1.1 | Grieta | |
| 1.1.1 | -Fractura | |
| 1.1.2 | -Fisuración radial | |
| 1.1.3 | -Fisura | |
| 1.1.4 | -Craquelado | |
| 1.1.5 | -Disyunción en lajas | |
| 1.2 | Deformación | |
| 2 Desprendimiento | | |
| 2.1 | Ampollas | |
| 2.2 | Estallido | |
| 2.3 | Deslaminación | X |
| 2.3.1 | -Exfoliación | |
| 2.4 | Disgregación | |
| 2.4.1 | -Desmenuzamiento | |
| 2.4.2 | -Disgregación granular | |
| 2.4.3 | -Pulverización, pulverización cretosa | |
| 2.4.4 | -Arenización | |
| 2.4.5 | -Disgregación sacaroidea | |
| 2.5 | Fragmentación | X |
| 2.5.1 | -Fragmentación en esquirlas | |
| 2.5.2 | -Desconchadura | |
| 2.6 | Disminución de películas | X |
| 2.7 | Descamación | X |
| 2.7.1 | -Microdescamación | |
| 2.7.2 | -Descamación perimetral | |
| 3 Rasgos inducidos por pérdida de material | | |
| 3.1 | Alveolización | |
| 3.1.1 | -Craterización | |
| 3.2 | Erosión | |
| 3.2.1 | -Erosión diferencial | |
| 3.2.2 | -Pérdida | |
| 3.2.3 | -Pérdida de componentes | |
| 3.2.4 | -Incremento de rugosidad | |
| 3.3 | Daños de origen mecánico | |
| 3.3.1 | -Daños por impacto | |
| 3.3.2 | -Incisión | |
| 3.3.3 | -Excoriación | |
| 3.3.4 | -Abrasión | |
| 3.3.5 | -Repicado | |
| 3.4 | Microkarstificación | |
| 3.5 | Faltante | X |
| 3.5.1 | -Hueco | |
| 3.6 | Perforación | |
| 3.7 | Pitting | |

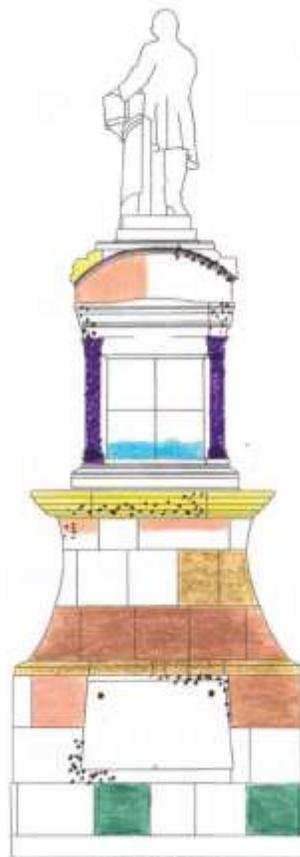
| | | |
|--|------------------------|---|
| 4 Alteración cromática y depósito | | |
| 4.1 | Costras | |
| 4.1.1 | -Costra negra | X |
| 4.1.2 | -Costra salina | |
| 4.2 | Depósito | |
| 4.3 | Alteración cromática | |
| 4.3.1 | -Coloración | |
| 4.3.2 | -Decoloración | |
| 4.3.3 | -Mancha de humedad | |
| 4.3.4 | -Tinción | |
| 4.4 | Eflorescencia | |
| 4.5 | Incrustación | |
| 4.5.1 | -Concreción | |
| 4.6 | Película | |
| 4.7 | Brillo superficial | |
| 4.8 | Graffiti | X |
| 4.9 | Pátina | |
| 4.9.1 | -Pátina ferruginosa | |
| 4.9.2 | -Pátina de oxalato | |
| 4.1 | Enmugrecimiento | |
| 4.11 | Subflorescencia | |
| 5 Colonización biológica | | |
| 5.1 | Colonización biológica | |
| 5.2 | Algas | |
| 5.3 | Liquen | |
| 5.4 | Musgo | |
| 5.5 | Hongos | |
| 5.6 | Plantas | |

Dentro de las categorías de grietas y colonización biológica, no se tuvieron resultados, en este último sencillamente fue porque no se presentaron asentamientos de microorganismos. En el caso de grietas, a través del modelo no se detectaron fisuras, sin embargo, no se descarta que las tenga.

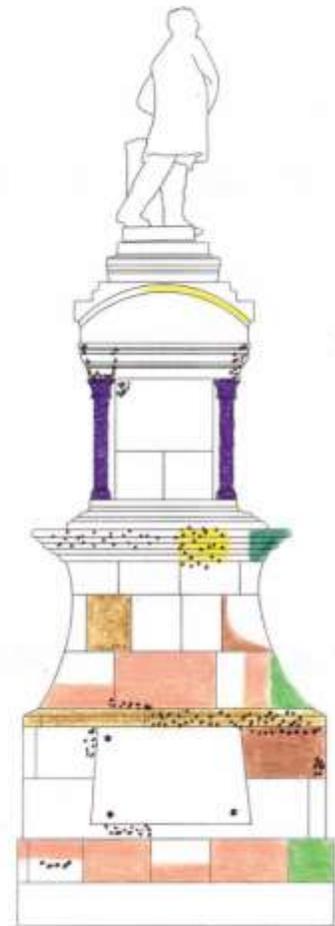
5.3 Mapeo de patologías *in situ*

El mapeo que a continuación se presenta, fue realizado *in situ*. En su elaboración fueron detectadas diez patologías, que de la misma manera, se presenta con los siguientes gráficos (Ilustraciones 85 y 86).

- SIMBOLOGÍA**
- Disyunción en lajas
- Grietas -
 - Disyunción de películas
- Desprendimiento -
 - Desconchadura
- Fragmentación -
 - Faltante
- Riesgos inducidos por pérdida de material -
 - Costra
- Alteración cromática -
 - Tinción
- Discoloration
- alteración cromática -
 - Fragmentación
- Desprendimiento -
 - Deslaminaación
- Desprendimiento -
 - Descamación
- Desprendimiento -
 - 88 Graffiti
- Alteración cromática -



Cara Oriente



Cara Norte

Ilustración 85 Mapeo de patologías *-in situ-* de las caras oriente y norte. Elaboración propia

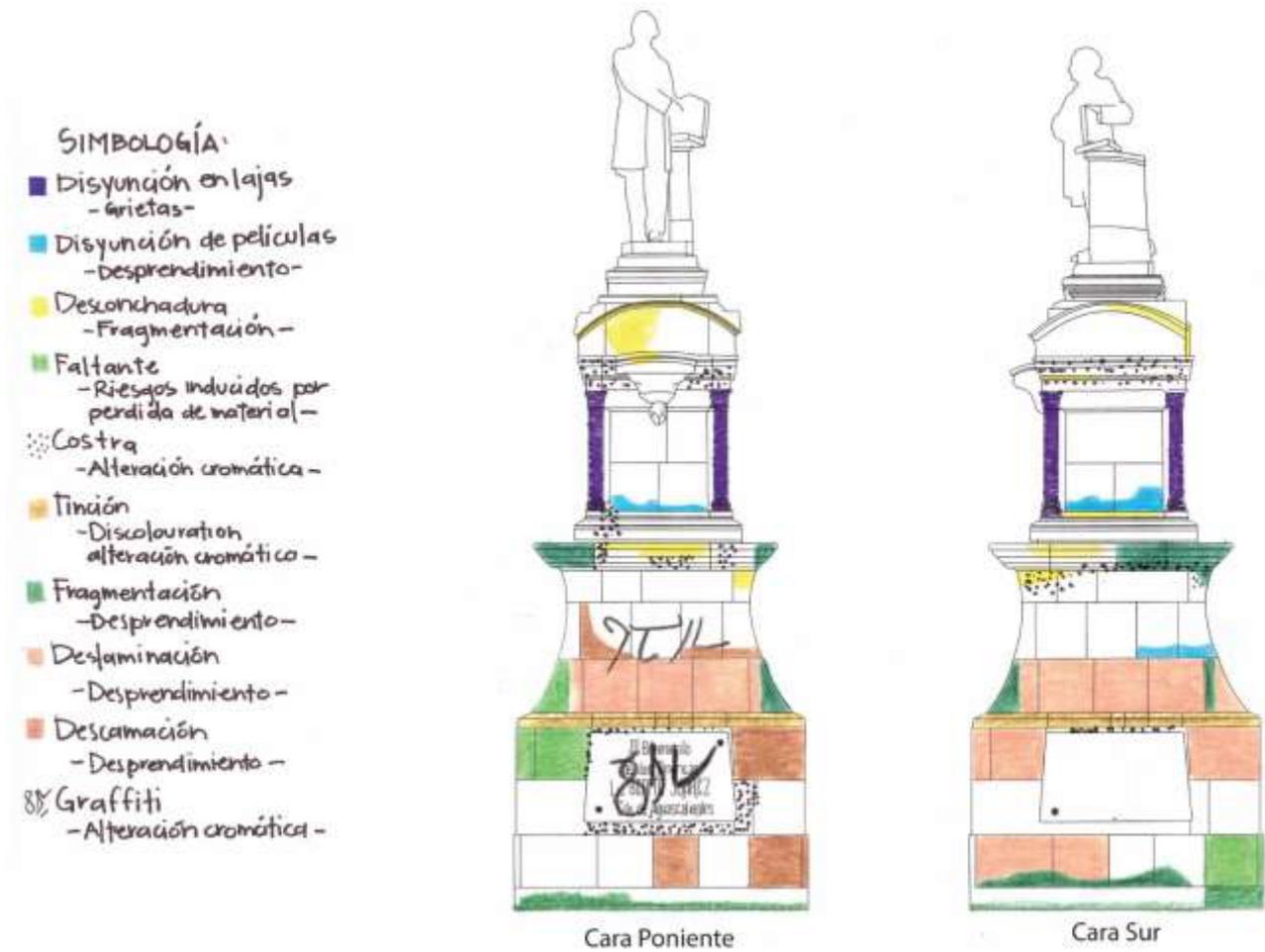


Ilustración 86 Mapeo de patologías *-in situ-* de las caras poniente y sur. Elaboración propia

Siguiendo el mismo proceso del mapeo anterior, se hizo la relación a través del check list de patologías. En este levantamiento, se detectaron grietas principalmente en los cuatro elementos verticales que se encuentran en el bloque superior del monumento, algunas juntas se encuentran ligeramente desgastadas provocando que exista una pérdida de ellas. Sobresalieron a la vista; por su apariencia poco agradable, algunas piezas de cantera que se encuentran con modificaciones en su color original.

Tabla 7 Check list de patologías identificadas *in situ*. Elaboración propia

| No. | Ítem | Se presenta |
|---|---------------------------------------|-------------|
| 1 Grieta y deformación | | |
| 1.1 | Grieta | |
| 1.1.1 | -Fractura | |
| 1.1.2 | -Fisuración radial | |
| 1.1.3 | -Fisura | |
| 1.1.4 | -Craquelado | |
| 1.1.5 | -Disyunción en lajas | X |
| 1.2 | Deformación | |
| 2 Desprendimiento | | |
| 2.1 | Ampollas | |
| 2.2 | Estallido | |
| 2.3 | Deslaminación | X |
| 2.3.1 | -Exfoliación | |
| 2.4 | Disgregación | |
| 2.4.1 | -Desmenuzamiento | |
| 2.4.2 | -Disgregación granular | |
| 2.4.3 | -Pulverización, pulverización cretosa | |
| 2.4.4 | -Arenización | |
| 2.4.5 | -Disgregación sacaroidea | |
| 2.5 | Fragmentación | X |
| 2.5.1 | -Fragmentación en esquirlas | |
| 2.5.2 | -Desconchadura | X |
| 2.6 | Disminución de películas | X |
| 2.7 | Descamación | X |
| 2.7.1 | -Microdescamación | |
| 2.7.2 | -Descamación perimetral | |
| 3 Rasgos inducidos por pérdida de material | | |
| 3.1 | Alveolización | |
| 3.1.1 | -Craterización | |
| 3.2 | Erosión | |
| 3.2.1 | -Erosión diferencial | |
| 3.2.2 | -Pérdida | |
| 3.2.3 | -Pérdida de componentes | |
| 3.2.4 | -Incremento de rugosidad | |
| 3.3 | Daños de origen mecánico | |
| 3.3.1 | -Daños por impacto | |
| 3.3.2 | -Incisión | |
| 3.3.3 | -Excoriación | |
| 3.3.4 | -Abrasión | |
| 3.3.5 | -Repicado | |
| 3.4 | Microkarstificación | |
| 3.5 | Faltante | X |
| 3.5.1 | -Hueco | |
| 3.6 | Perforación | |
| 3.7 | Pitting | |
| 4 Alteración cromática y depósito | | |
| 4.1 | Costras | X |

- 4.1.1 -Costra negra
- 4.1.2 -Costra salina
- 4.2 Depósito
- 4.3 Alteración cromática
- 4.3.1 -Coloración
- 4.3.2 -Decoloración
- 4.3.3 -Mancha de humedad
- 4.3.4 -Tinción **X**
- 4.4 Eflorescencia
- 4.5 Incrustación
- 4.5.1 -Concreción
- 4.6 Película
- 4.7 Brillo superficial

- 4.8 Graffiti **X**
- 4.9 Pátina
- 4.9.1 -Pátina ferruginosa
- 4.9.2 -Pátina de oxalato
- 4.1 Enmugrecimiento
- 4.11 Subflorescencia

5 Colonización biológica

- 5.1 Colonización biológica
- 5.2 Algas
- 5.3 Liquen
- 5.4 Musgo
- 5.5 Hongos
- 5.6 Plantas

5.4 Mapeo de intensidades

Una vez identificadas las patologías, se hizo un mapeo denominado “intensidades de daños”, que permitió determinar las partes mayormente dañadas. Identificando por bloques dichos daños, dividiendo como se muestra en la ilustración 87 -inferior, intermedio y superior-.

La base del mapeo, es la malla de sombreada que se obtuvo del modelo 3D, el hecho de utilizar esta malla permitió observar y distinguir con facilidad las partes de cada bloque, creando un perfil de cada cara del monumento (Ilustración 88).

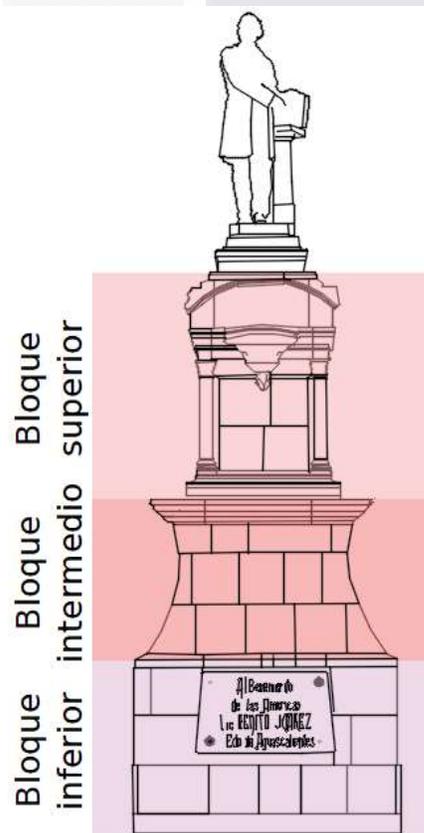


Ilustración 87 Identificación de intensidades de daños por bloque. Elaboración propia

En la siguiente imagen comparativa de las cuatro caras, se puede apreciar que los daños se presentan prácticamente en las mismas alturas de cada bloque.

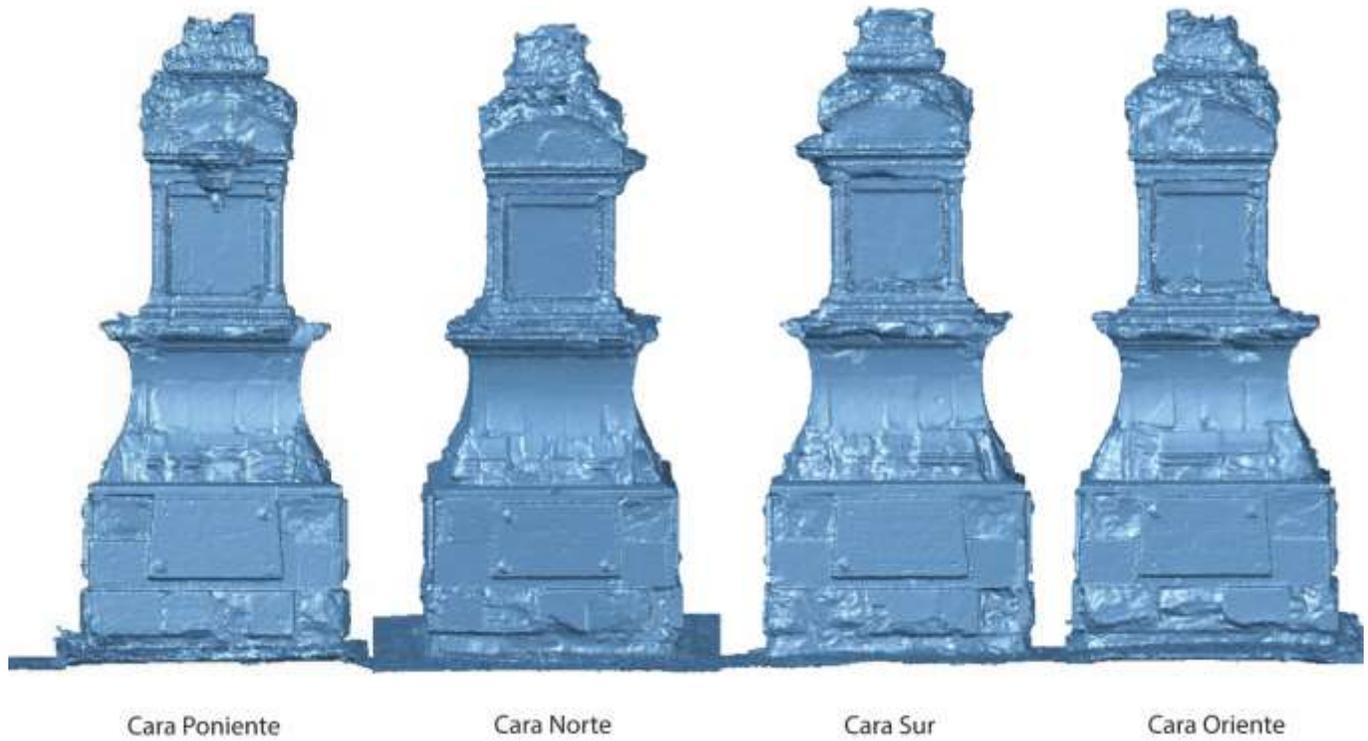


Ilustración 88 Caras del monumento del modelo 3D. Elaboración propia

El mapeo de intensidades está dividido por “alto, medio y bajo”.

Para la cara sur, que a continuación se muestran, se aprecian daños mayormente “altos” en la parte baja del bloque inferior y en la parte alta del bloque intermedio. Algunas piezas se encuentran con un daño “medio”, principalmente en la parte intermedia. Y en la cara poniente, tanto en la parte inferior como en la intermedia presenta una intensidad de daños “alta” (Ilustración 89).

Los dos coinciden que en los elementos verticales del bloque superior existe un daño, catalogado como “bajo”.

Las caras norte y oriente, prácticamente presentan las mismas intensidades de daños en los mismos lugares: “alto” en el bloque inferior en la parte baja y en el bloque superior en los elementos verticales y daños “medio” en el bloque intermedio (Ilustración 90).

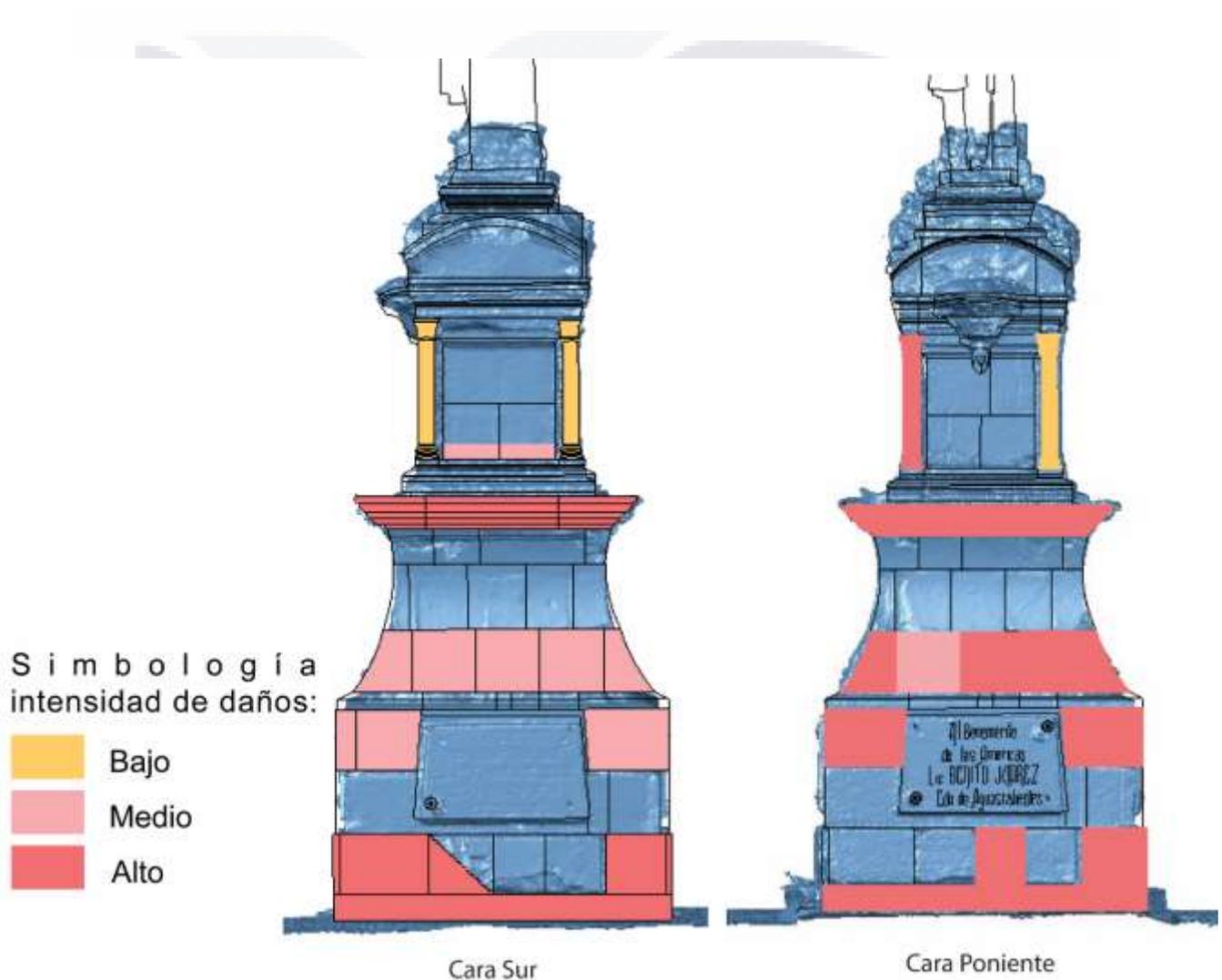


Ilustración 89 Mapeo de daños por intensidades en las caras sur y poniente. Elaboración propia

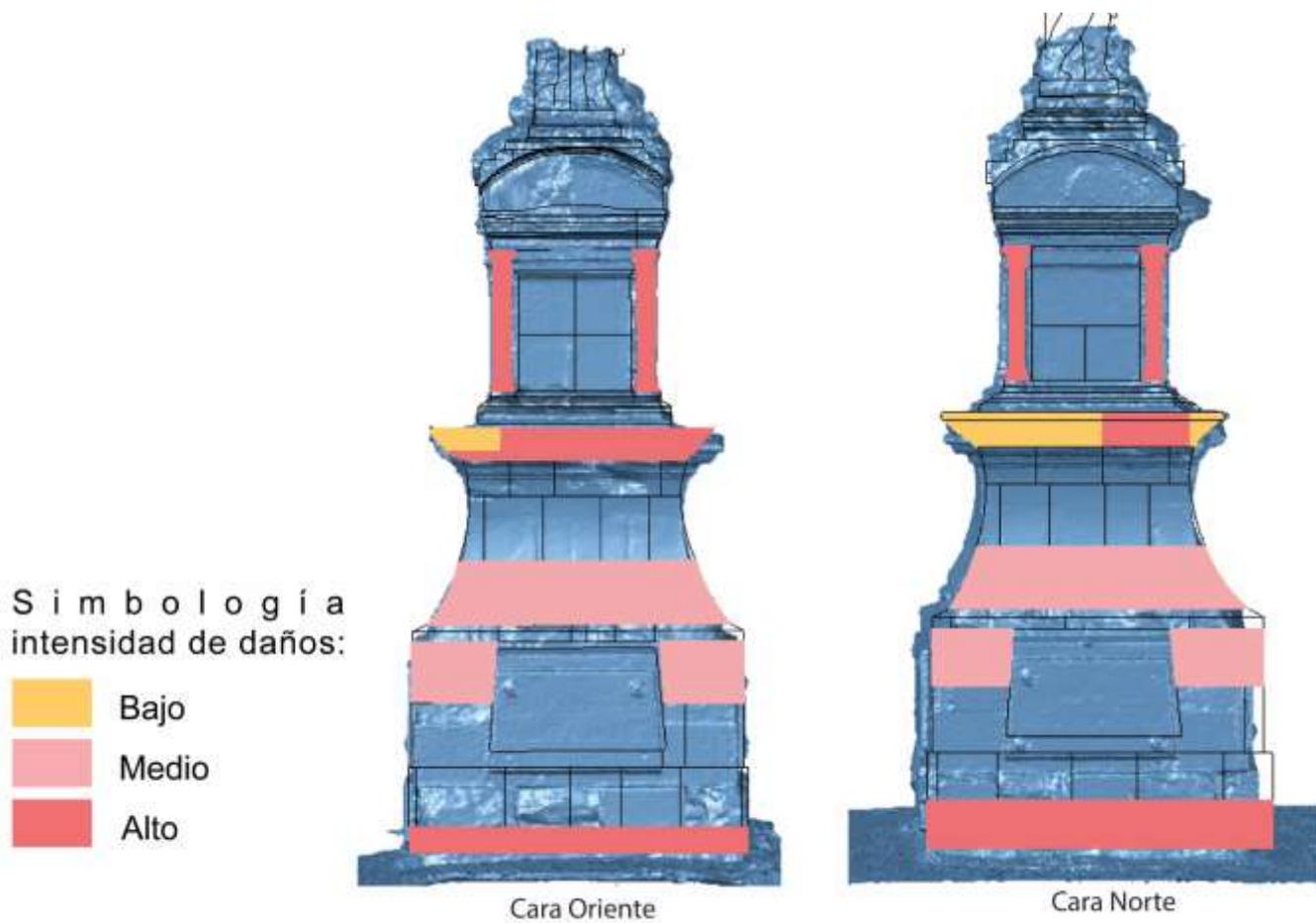


Ilustración 90 Mapeo de daños por intensidades en las caras oriente y norte. Elaboración propia

Concluyendo que, sobre las cuatro caras del monumento las mayores intensidades identificadas han sido “altas” y se presentan en las partes bajas de cada bloque.

5.6 Comparación de mapeos

A continuación, se presenta la comparación del mapeo realizado *in situ* (a la derecha) y el obtenido a través del modelo 3D (ubicando a la izquierda). Este comparativo mostrado en las ilustraciones 91, 92, 93 y 94, demuestra que las patologías que se pudieron detectar con ayuda del modelo 3D, no diferencian mucho con las detectadas *in situ*, la tinción que es un tipo de mancha sobre la cantera y la disyunción en lajas que son un tipo de grieta que se presenta principalmente en elementos verticales, fueron algunas de las patologías no detectadas por Agisoft.

Fue posible identificar un 80% en similitudes de patologías para los dos mapeos.

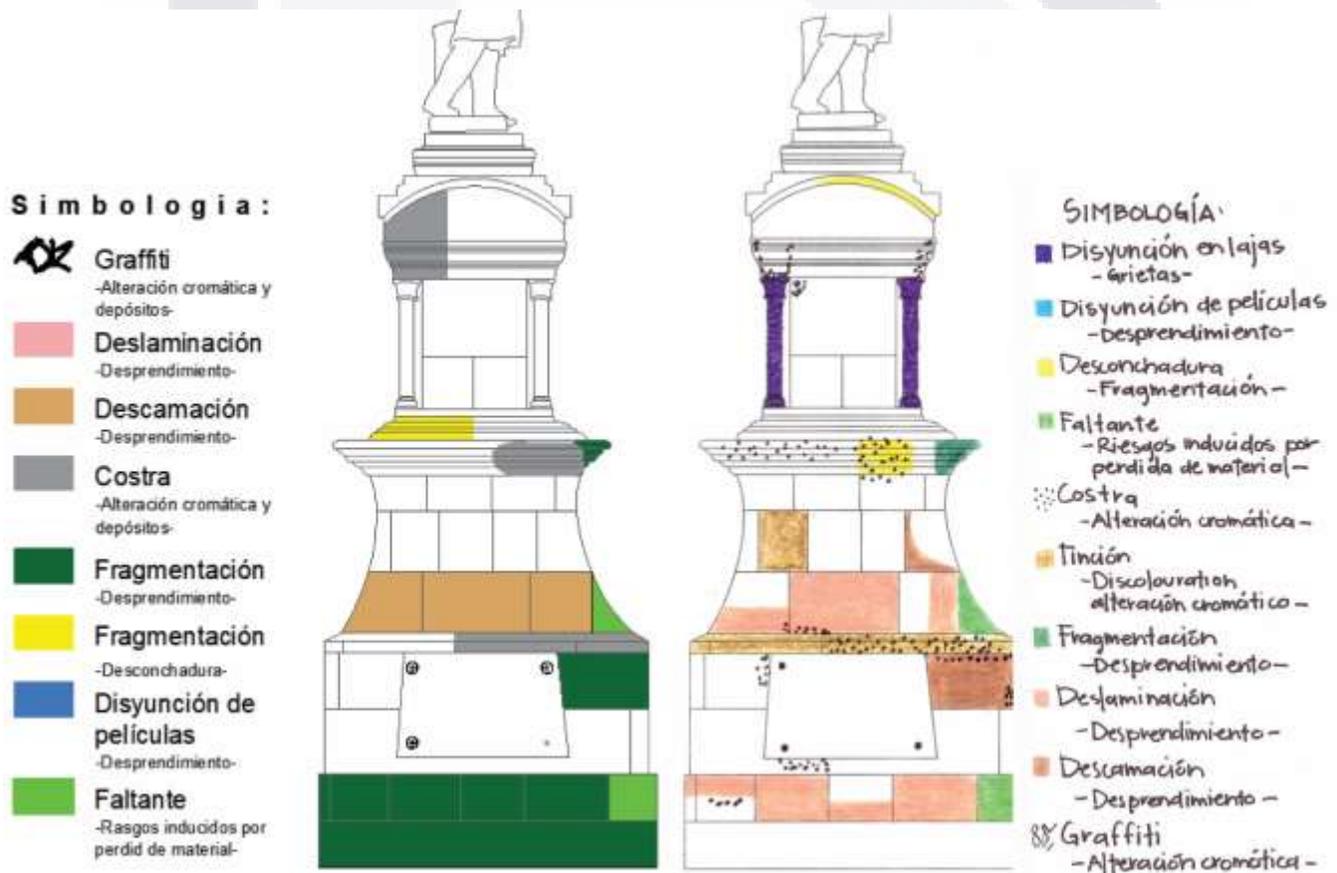
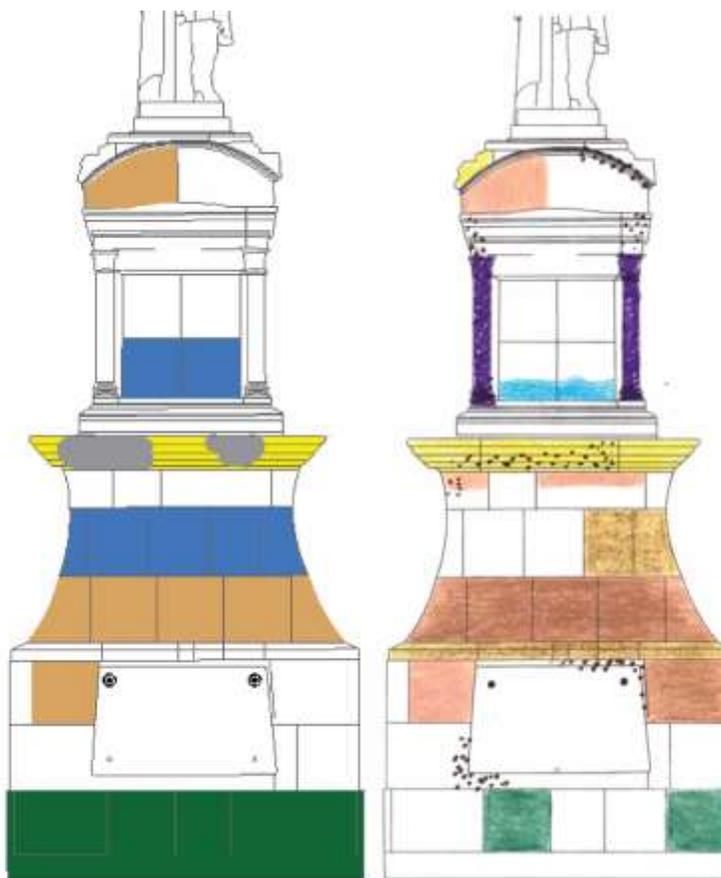


Ilustración 91 Comparación de mapeos cara norte. Elaboración propia

Simbología:

-  Graffiti
-Alteración cromática y depósitos-
-  Deslaminación
-Desprendimiento-
-  Descamación
-Desprendimiento-
-  Costra
-Alteración cromática y depósitos-
-  Fragmentación
-Desprendimiento-
-  Fragmentación
-Desconchadura-
-  Disyunción de películas
-Desprendimiento-
-  Faltante
-Rasgos inducidos por pérdida de material-

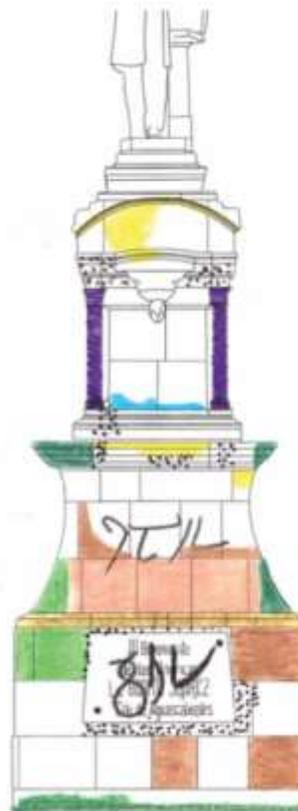


- SIMBOLOGÍA:**
-  Disyunción en lajas
-Grietas-
 -  Disyunción de películas
-desprendimiento-
 -  Desconchadura
-Fragmentación-
 -  Faltante
-Rasgos inducidos por pérdida de material-
 -  Costra
-Alteración cromática-
 -  Tinción
-Discoloration, alteración cromática-
 -  Fragmentación
-Desprendimiento-
 -  Deslaminación
-Desprendimiento-
 -  Descamación
-Desprendimiento-
 -  Graffiti
-Alteración cromática-

Ilustración 92 Comparación de mapeos cara oriente. Elaboración propia

Simbología:

-  Graffiti
-  Deslaminación
-  Descamación
-  Costra
-  Fragmentación
-  Fragmentación
-desconchaduras-
-  Disyunción de películas
-  Faltante



SIMBOLOGÍA:

-  Disyunción en lajas
-grietas-
-  Disyunción de películas
-desprendimiento-
-  Desconchadura
-Fragmentación-
-  Faltante
-Riesgos inducidos por pérdida de material-
-  Costra
-Alteración cromática-
-  Tinción
-Discoloration
alteración cromática-
-  Fragmentación
-Desprendimiento-
-  Deslaminación
-Desprendimiento-
-  Descamación
-Desprendimiento-
-  Graffiti
-Alteración cromática-



Ilustración 93 Comparación de mapeos cara poniente. Elaboración propia

Simbología:

-  **Graffiti**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Deslaminación**
-Desprendimiento-
-  **Descamación**
-Desprendimiento-
-  **Costra**
-Alteración cromática y depósitos-
-  **Fragmentación**
-Desprendimiento-
-  **Fragmentación**
-Desconchadura-
-  **Disyunción de películas**
-Desprendimiento-
-  **Faltante**
-Rasgos inducidos por pérdida de material-



- SIMBOLOGÍA:**
-  **Disyunción en lajas**
-Grietas-
 -  **Disyunción de películas**
-desprendimiento-
 -  **Desconchadura**
-Fragmentación-
 -  **Faltante**
-Rasgos inducidos por pérdida de material-
 -  **Costra**
-Alteración cromática-
 -  **Tinción**
-Discoloration, alteración cromática-
 -  **Fragmentación**
-Desprendimiento-
 -  **Deslaminación**
-Desprendimiento-
 -  **Descamación**
-Desprendimiento-
 -  **Graffiti**
-Alteración cromática-

Ilustración 94 Comparación de mapeos cara sur. Elaboración propia

5.7 Tiempos y recursos

En la siguiente tabla se muestra un comparativo de tiempos y recursos entre los dos procesos de los mapeos.

Tabla 8 Tiempos y recursos de cada mapeo. Elaboración propia

| Mapeo <i>-in situ-</i> | | | Mapeo con modelo 3D | | |
|------------------------|---|---|---------------------|----------------------------|---|
| Duración (horas) | Actividad | Recursos | Duración (horas) | Actividad | Recursos |
| | Visita al sitio: | | | Visita al sitio: | |
| 2 | Identificación de elementos | | 2 | Levantamiento fotográfico | -Teléfono móvil con cámara digital -Selfie stick |
| 2 | Familiarizarse con área y el objeto de estudio | | | Trabajo de gabinete: | |
| 6 | Iniciar con la caracterización del tipo de roca | -Tabla con clip -Hojas papel bond -Colores -Plumones | 1 | Selección de fotografías | |
| 24 | Iniciar con la identificación de patologías que se observen | | 0.5 | Añadir fotografías | -Computadora -Software para fotogrametría -Internet |
| 8 | Identificación de intensidades | | 1 | Orientar fotografías | |
| 5 | Organizar la información obtenida | | 10 | Crear nube de puntos densa | |
| | | | 1 | Crear malla | |

Las duraciones descritas no son un valor genérico, en cada objeto de estudio variará dependiendo de las condiciones y los recursos.

Específicamente para el caso del monumento a Benito Juárez, que es el objeto de estudio de esta investigación, el levantamiento solamente de patologías *in situ* se hizo en tres días en jornadas de 8 horas, ejecutando un tiempo total aproximado de 47 horas. Este mapeo en específico se hizo por lapsos de tiempo durante el día, las horas de trabajo no fueron continuas. Mientras que en el modelo 3D, la mayor cantidad de tiempo estuvo en la creación de nube de puntos densa, cabe recalcar que este proceso se dejó correr mientras que se hacían otras actividades, reuniendo un tiempo total de trabajo de aproximadamente de 15 horas. Estos trabajos sí permiten que el flujo de trabajo sea continuo.



CAPÍTULO

VI

CONCLUSIONES

VI.- CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación, se plantean las siguientes conclusiones, basadas en la metodología desarrollada y aplicada a elementos patrimoniales, además se mencionan los posibles nichos de investigación para que, en un futuro, interesados en el tema puedan complementar los trabajos.

6.1 Conclusión general

La metodología trabajada para el análisis realizado *in situ* y a partir de modelos fotogramétricos de corto rango, logran incorporar datos sobre formas geométricas y deterioros e intensidades de acuerdo con las patologías que se presentan.

Se puede determinar una alta capacidad del software Metashape de Agisoft, para usarlo en la implementación de mapeos masivos en elementos patrimoniales, teniendo en consideración las características que implica que sea de corto rango; aun cuando se encuentren en áreas poco inaccesibles, ya que es posible apoyarse de drones en la realización del levantamiento fotográfico.

6.2 Conclusiones particulares

Utilizando la técnica de fotogrametría digital de corto rango, en el caso de estudio del monumento a Benito Juárez se logró definir un 90% de la forma geométrica, permitiendo observar el volumen por pérdidas de material e identificar las patologías que afectan la composición de la cantera hermosa, el 10% restante se atribuye a la parte superior del monumento donde se ubica la escultura, la cual no se pudo obtener durante la modelación del 3D.

Con el modelo tridimensional se pudo obtener la información suficiente para elaborar los mapeos de patologías, además se obtuvo la información para generar los mapeos litológicos y de intensidades según fuera la afectación. Se cuantificaron las rocas que conforman cada cara, obteniendo un promedio de 53 piezas por cara.

En el uso del software se tuvieron algunas limitaciones en zonas muy específicas, por ejemplo, algunas juntas, donde no se diferenció la pérdida, si no que hacía una masa continua a la pieza de cantera adjunta. Sin embargo, al hacer un procesamiento específico de una zona de menor tamaño, se puede apreciar tal cual se encuentra *in situ*. También, permitió identificar claramente las áreas del monumento según su intensidad de daño.

En cuanto a la relación costo beneficio, trabajar con procesos digitales, disminuye las horas-hombre para la obtención de datos y trabajos *in situ*, pero incrementa costos en cuanto a recursos, el equipo de cómputo debe tener la capacidad que demandan estos tipos de procesos para tener un rendimiento óptimo, también el costo de las licencias de los softwares que no suelen ser económicas. En cambio, cuando se realiza un mapeo convencional *-in situ-*, basta con un buen sombrero para el sol, una libreta y colores para diferenciar cada tipo de patología.

6.3 Nichos de investigación

Quedan a integrar líneas de investigación referidas a la restauración de los edificios que ya se hayan sometido a este tipo de metodologías, para tratar de determinar donde si es necesario una intervención, que tipo de materiales son los adecuados y las proporciones de estos. Así, se podrá diseñar una estrategia interdisciplinaria para consolidar y preservar los bienes matrimoniales.

Referencias bibliográficas

- Almagro Gorbea, A. (2004). *Levantamieto arquitectónico*. Granda, España: Universidad de Granada.
- Bonilla, J. A. (2004). Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. *Conserva*, 8, 104. Obtenido de http://www.cncr.gob.cl/611/w3-article-4673.html?_noredirect=1
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammétrie générale*. Paris: Eyrolles.
- Calvo García, J. M., & Lasheras Merino, F. (2017). *Palacio - casa del bosque de Buitrago de lozoa*. Madrid, España.
- Centro de Geociencia Aplicadas. (s.f.). *Principios de la fotogrametría, Apuntes de teoría*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Cortés, T., Pérez, J., & Nogales, J. (2000). Documentación arqueológica a partir de fotogrametría. *VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía*. Madrid.
- Dieter, F., & Klein, M. (2017). 3D preservation of buildings-Reconstructing the past. *CrossMark*.
- Escalante, J., Cáceres, J., & Porras, H. (2016). Orthomosaics and digital elevation models generated from images taken with UAV systems. *Tecnura*.
- Galantucci, R., & Fatiguso, F. (2018). Advanced damage detection techniques in historical buildings using digital photogrammetry and 3D surface anlysis. *Journal of Cultural Heritahe*.
- Grandón, N., Aracena, D., & Luls, C. (Agosto de 2007). Reconstrucción de objeto 3D a partir de imagenes calibradas. *Ingeniare*, 158-168.
- Grussenmeyer, P., Landes, T., Voegtle, T., & Ringle, K. (2008). Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings., 37. Beijing.
- Hernández, J. M. (2015). *Prezi*. Obtenido de https://prezi.com/_lrqmpeljqp9s/historia-de-la-fotogrametria-en-mexico/

- Higuera, P., & Oyarzun, R. (s.f.). *Mineralogía y geoquímica ambiental: Introducción al curso*. Obtenido de https://previa.uclm.es/_users/higuera/MGA/Tema00_Intro.htm
- ICOMOS. (1964). Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios. Venecia.
- ICOMOS. (2011). Glosario utilizado de formas de deterioro de la piedra.
- Lerma, J., Cabrelles, M., Seguí, A., & Navarro, S. (2011). Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares. *Revista PH*, 77, 127-129.
- López, F., Rodríguez, V., Cruz, J., Torreño, I., & Ubeda, P. (2004). *Manual de patología de la edificación* (Vol. 1). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lucena, J. (2009). Mapa de danos — recomendações básicas. *GESTÃO DE RESTAURO*, 43.
- Luhmann, T., Robson, S., & Kyle, S. (2006). *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and applications*.
- Meroño, J., Perea, A., Aguilera, M., & Laguna, A. (2015). Recognition of materials and damage on historical buildings using digital image classification. *South african journal of science*.
- Morales, A., & Peña, R. S. (2010). *La fotogrametría aplicada al catastro*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Poves Ferrer, F. (2015). Exposición de las patologías más habituales en los edificios. (A. técnico, Ed., & 582, Trad.) España: Colegio de la arquitectura técnica de Cantabria.
- Real Academia, E. (2014). Diccionario de la lengua española. 23.
- Rocha, E., Macedo, J., Correia, P., & Monteiro, E. (2018). Adaptación de mapa de daños a edificios históricos con problemas patológicos: Estudio de caso de la Iglesia del Crmo en OlindaPE. *ALCONPAT*, 51-63.
- Sensing, A. S. (s.f.). *ASPRS*. Obtenido de <https://www.asprs.org/>

- Servicio Geológico Mexicano . (2018). *Panorama Minero del Estado de Aguascalientes*.
- Tinaco, J. (2009). Mapa de daños recomendaciones basicas. *CECI: Centro de Estudios Avanzados da Conservacion Integrada*.
- Tomás, R., Riquelmer, A., Cano, M., Abellan, A., & Jordan, L. (2016). *Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos*.
- Van Den Heuvel, F. (2003). Automation in Architectural Photogrammetry. Line-Photogrammetry for the Reconstruction.
- Villar, F. A. (2018). Un aporte sustencial a la lectura de parametros del sitio Ingenio Lastenia (Dpto. Cruz Alta, Tucumán). *Zaranda ideas, 16*, 45-47. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-12962018000100004&lng=es&nrm=iso
- Vozmediano Montoya, D. (2006). Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales del entidades patrimoniales. Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU).
- Yang, W.-B., Wang, T.-J., & Yen, Y.-N. (2016). The Application of Photogrammetry on Digitization and Promotion for Monuments and Temples in Taiwan-Taking Chua Family Ancestral Temple as an Example.
- Yilmaz, H., Yakar, M., Gulec, S., & Dulgerler, O. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in. *Elsevier*, 428-433.



CAPÍTULO

VII

ANEXOS

VII.- ANEXOS

Anexo A) Tabla fundamentada en el glosario de ICOMOS, para la identificación de patologías según se presenten.

1. Tabla para realizar el check list dependiendo de las patologías que se presentan en cada mapeo.

| No. | Ítem | Se presenta |
|----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | Grieta y deformación | |
| 1.1 | Grieta | |
| 1.1.1 | -Fractura | |
| 1.1.2 | -Fisuración radial | |
| 1.1.3 | -Fisura | |
| 1.1.4 | -Craquelado | |
| 1.1.5 | -Disyunción en lajas | |
| 1.2 | Deformación | |
| 2 | Desprendimiento | |
| 2.1 | Ampollas | |
| 2.2 | Estallido | |
| 2.3 | Deslaminación | |
| 2.3.1 | -Exfoliación | |
| 2.4 | Disgregación | |
| 2.4.1 | -Desmenuzamiento | |
| 2.4.2 | -Disgregación granular | |

-Pulverización,

2.4.3 pulverización

cretosa

2.4.4 -Arenización

-Disgregación

2.4.5 sacaroidea

2.5 Frafmentación

-Fragmentación en

2.5.1 esquirlas

Disminución de

2.6 películas

2.7 Descamación

2.7.1 -Microdescamación

-Descamación

2.7.1 perimetral

Rasgos inducidos por

3 pérdida de material

3.1 Alveolización

3.1.1 -Craterización

3.2 Erosión

3.2.1 -Erosión diferencial

3.2.2 -Pérdida

-Pérdida de

3.2.3 componentes

-Incremento de

3.2.4 rigurosidad

- Daños de origen
- 3.3 mecánico
 - 3.3.1 -Daños por impacto
 - 3.3.2 -Incisión
 - 3.3.3 -Excoriación
 - 3.3.4 -Abrasión
 - 3.3.5. -Repicado
- 3.4 Microkarstificación
- 3.5 Faltante
 - 3.5.1 -Hueco
- 3.6 Perforación
- 3.7 Pitting

Alteración cromática

**4
y depósito**

- 4.1 Costras
 - 4.1.1 -Costra negra
 - 4.1.2 -Costra salina
- 4.2 Depósito
- 4.3 Alteración cromática
 - 4.3.1 -Coloración
 - 4.3.2 -Decoloración
 - 4.3.3 -Mancha de
humedad
 - 4.3.4 -Tinción
- 4.4 Eflorescencia
- 4.5 Incrustación
 - 4.5.1 -Concreción

- 4.6 Película
- 4.7 Brillo superficial
- 4.8 Graffiti
- 4.9 Pátina
 - 4.9.1 -Pátina ferruginosa
 - 4.9.2 -Pátina de oxalato
- 4.1 Enmugrecimiento
 - 4.1.1 Subfloreescencia

Colonización

**5
biológica**

Colonización

- 5.1 biológica
- 5.2 Algas
- 5.3 Liquen
- 5.4 Musgo
- 5.5 Hongos
- 5.6 Plantas

Anexo B) Descripción e ilustración de patologías pertenecientes a la cara oriente del monumento a Benito Juárez.



1. Ilustración de patologías cara oriente. Elaboración propia

Anexo C) Señalización de patologías en cara poniente.



2. Patologías en cara poniente. Elaboración propia