



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

TESIS

DETERIORO DEL PATRIMONIO EDIFICADO A CAUSA DE
PATOLOGÍAS ACUMULATIVAS: DESARROLLO DE EFLORESCENCIAS
EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA

PRESENTA:

Mtro. en I. Isaías Edén Vizcaíno Hernández

PARA OPTAR POR EL GRADO DE

Doctor en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos con énfasis en Arquitectura

PNPC

TUTOR

Dr. Alejandro Acosta Collazo

COMITÉ TUTORAL

Dr. Gerardo Guadalupe Sánchez Ruiz (cotutor)

Dr. Ernesto Cervantes López (asesor)

Aguascalientes, Ags. junio de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CARTA DE VOTO APROBATORIO
COMITÉ TUTORAL

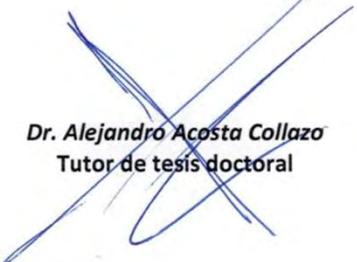
M. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

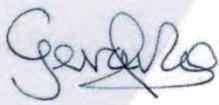
Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante ISAÍAS EDÉN VIZCAÍNO HERNÁNDEZ con ID 220803 quien realizó la tesis titulada: **DETERIORO DEL PATRIMONIO EDIFICADO A CAUSA DE PATOLOGÍAS ACUMULATIVAS: DESARROLLO DE EFLORESCENCIAS EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

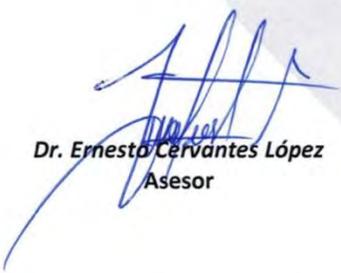
Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 27 de mayo de 2024.


Dr. Alejandro Acosta Collazo
Tutor de tesis doctoral


Dr. Gerardo Guadalupe Sánchez Ruíz
Co-Tutor de tesis doctoral


Dr. Ernesto Cervantes López
Asesor

c.c.p.- Interesado

c.c.p.- Dra. Jacqueline Robles Cuellar. Secretaria Técnica del Doctorado en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos

c.c.p. Archivo

Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 05/06/2024

NOMBRE: Isaías Edén Vicaíno Hernández ID 220803

PROGRAMA: Doctorado en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos LGAC (del posgrado): Estudios Arquitectónicos Urbanos

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo Práctico

TÍTULO: "DETERIORO DEL PATRIMONIO EDIFICADO A CAUSA DE PATOLOGÍAS ACUMULATIVAS: DESARROLLO DE EFLORESCENCIAS EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA"

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Entender el fenómeno de humedades en edificios para posteriormente establecer escenarios de solución.

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

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

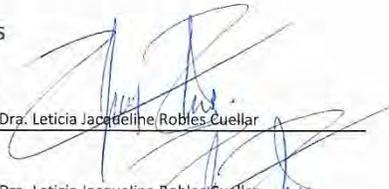
Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Sí
No

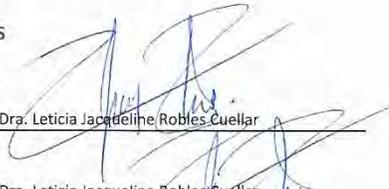
Elaboró:

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

FIRMAS


Dra. Leticia Jacqueline Robles Cuellar

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:


Dra. Leticia Jacqueline Robles Cuellar

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

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:


Dr. Mario Ernesto Esparza Díaz de León

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:


M. en Ing. Amb. Ma. Guadalupe Lira Peralta

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

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

PRODUCTIVIDAD ACADÉMICA



NUEVAS PERSPECTIVAS SOBRE LA CIUDAD Y SU CONTEXTO ANTRÓPICO

Alejandro Acosta Collazo
Rocío Ramírez Villalpando
Coordinadores

ISBN: 978-607-8909-59-9

METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR EFLORESCENCIA SOBRE MUROS DE MAMPOSTERÍAS EN LABORATORIO

Isaías Edén Vizcaíno Hernández,¹ Alejandro Acosta Collazo²

RESUMEN

Se sabe que uno de los principales agentes degenerativos del patrimonio arquitectónico son las eflorescencias, desarrolladas desde el interior de los materiales porosos. Esta patología se puede reproducir en laboratorio de manera controlada y acelerada, mediante ciclos de cristalización de sulfato de sodio (ccss), que permite experimentar con pequeñas probetas para evaluar la resistencia del material, o estudiar el fenómeno en sí. Con el fin de expandir las posibilidades de estudio acerca de esta patología, se ha indagado respecto a las técnicas que actualmente permiten caracterizarla, con lo cual se ha propuesto crear y evaluar una metodología que permita desarrollar ccss en probetas escala real (muros de mampostería) en condiciones de laboratorio. Lo anterior mediante un estudio experimental, en el que se espera poder registrar periódicamente la degradación producida por la eflorescencia.

Palabras clave: eflorescencia, mampostería, metodología, patrimonio arquitectónico.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se da gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), mediante su Programa Nacional de Posgrados de Calidad. Donde está inscrita la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) con el programa del Doctorado en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos (DCAA), caracterizado por contar con un amplio espectro de disciplinas para atender los temas de investigación.

Así mismo se agradece a la Universidad Autónoma de Aguascalientes, por su generosa provisión de instalaciones, equipo y ubicación; se extiende un sincero agradecimiento a los especialistas del Centro de Construcción y Diseño quienes desinteresadamente aportaron su valiosa experiencia académica, enriqueciendo significativamente el desarrollo de este estudio.

Además, la importante colaboración del Dr. Rubén Alfonso López Doncel, quien me ha instruido en aspectos relacionados con la caracterización de materiales y metodologías experimentales, ofreciendo las instalaciones de los laboratorios del Centro de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Sin olvidar que se contó con aportes voluntarios de algunos estudiantes: Luis Fernando González Montes y Héctor Israel Bravo García, quienes participaron parcialmente en el desarrollo experimental de los muros de mampostería. La colaboración de Nanci Rocío Coronado Guajardo, quien contribuyó a la preparación de las muestras de piedra y ladrillo para los respectivos estudios físicos. Además, a Judith Areli Segovia Félix, César Adrián Rodríguez y Julio Martín Gutiérrez, quienes colaboraron en diferentes etapas en la edición de las figuras.

Por último, a las bibliotecarias de Villa Purificación: Baudelia García Peña y Jazmín Dueñas de la Torre; por su colaboración en la ubicación de bibliografía local. Así como al personal del Archivo Histórico de Jalisco quienes me instruyeron de manera atenta para utilizar adecuadamente el delicado acervo histórico: Luz Elva Arias Ovando y Gabriela Salazar.

DEDICATORIAS

Reconociendo esta etapa y nivel académico como parte integral de mi crecimiento personal y profesional, me complace dedicar esta investigación y la consecuente obtención de grado a aquellas personas que fueron un respaldo y, en parte, un refuerzo motivacional. A quienes agradezco su apoyo incondicional y me complace compartir este logro con ellos.

Principalmente y con justas razones, a mi madre la Maestra en Educación Dora Ofelia Hernández González.

Y de igual manera e indistintamente en el orden que son mencionados a mis amistades.

Mtro. Ing. José Antonio Loera Aguilera

Mtra. Arq. María del Socorro Rubio Alfaro

Mtra. Montserrat de Jesús Ramírez Delgado

Arq. Alexander Pösembacher

Arq. Sofia Gonzales Silva

Ing. José García Contreras

Lic. Lucia Melo Soto Othon

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL 1

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 5

ÍNDICE DE TABLAS 8

ACRÓNIMOS 9

RESUMEN 10

ABSTRACT 11

1. INTRODUCCIÓN 12

 1.1. Planteamiento del problema 13

 1.2. Objetivo general 16

 1.3. Objetivos particulares 17

 1.4. Alcances 18

 1.5. Justificación 19

 1.6. Hipótesis 23

 1.6.1. Hipótesis respecto a la disponibilidad del conocimiento 23

 1.6.2. Hipótesis conforme al estado actual del templo 24

 1.6.3. Hipótesis entre las condiciones de los tratamientos aplicados 25

 1.6.4. Hipótesis respecto a los resultados 26

2. ESTADO DEL ARTE 27

 2.1. Documentación de edificaciones deterioradas por humedades... 27

 2.1.1. Colección de edificaciones en Suecia 27

 2.1.2. Colección de edificaciones en España 28

 2.1.3. Colección de edificios en Países Bajos 29

 2.1.4. Colección de edificaciones en México 29

 2.1.5. Colección de edificaciones en Brasil 30

2.1.6.	Colección de arquitectura vernácula.....	30
2.2.	Seguimiento de edificaciones afectadas por humedades.....	31
2.2.1.	Valoraciones superficiales.....	31
2.2.2.	Identificación a profundidad.....	32
3.	MARCO TEÓRICO.....	35
3.1.	Conceptos y principios para el patrimonio histórico edificado	35
3.1.1.	Conceptos básicos.....	35
3.1.2.	Principios de conservación para la edificación histórica	37
3.2.	Marco legal	39
3.2.1.	Ley Federal	40
3.2.2.	Ley del estado de Jalisco.....	40
3.2.3.	Reglamento municipal de Villa de Purificación.....	41
3.3.	Humedades en el patrimonio edificado y sus manifestaciones.....	42
3.3.1.	Origen de las humedades y mecanismos de invasión.....	43
3.3.2.	Manifestaciones de las humedades	47
3.3.3.	Aportaciones de minerales eflorescentes a las edificaciones	51
3.4.	Interpretación de la teoría referente al patrimonio y las humedades.	52
4.	EL TEMPLO DE LA CANDELARIA EN VILLA DE PURIFICACIÓN	55
4.1.	Contexto del templo Nuestra Señora de la Candelaria.	55
4.1.1.	Situación geográfica del municipio de Villa purificación.....	56
4.1.2.	Contexto geológico del municipio de Villa Purificación.....	58
4.1.3.	Reseña histórica del municipio	59
4.1.4.	Contexto urbano y arquitectónico del centro histórico	60
4.1.5.	Contexto cultural y festivo.....	64

4.1.6.	Contexto histórico del Templo Nuestra Señora de la Candelaria	65
4.2.	Caracterización de materiales y petrografía	66
4.2.1.	Características físicas	67
4.2.2.	Coeficiente de absorción capilar	68
4.2.3.	Resistencia a la cristalización	71
4.2.4.	Características petrográficas	74
4.3.	Digitalización del estado actual del edificio	77
4.3.1.	Fundamentos y aplicaciones de la fotogrametría digital	77
4.3.2.	Actividades preliminares y equipo para fotogrametría	79
4.3.3.	Metodología para el levantamiento fotográfico	81
4.3.4.	Proceso de fotogrametría digital dentro del software	83
4.3.5.	Representación arquitectónica en alzado del templo y mapeo	88
4.4.	Discusión de resultados, caracterización del templo	95
4.4.1.	Situación contextual	95
4.4.2.	Características de sus materiales	96
4.4.3.	Representación arquitectónica y mapeos	97
5.	CICLOS DE CRISTALIZACIÓN EN MUROS DE MAMPOSTERÍA	99
5.1.	Extrapolación de los ciclos de cristalización de sulfato	99
5.1.1.	Desarrollo básico de ciclos de cristalización de sulfato	99
5.1.2.	Saturación de probetas a escala real	100
5.1.3.	Alternativas para el secado de probetas	103
5.2.	Metodología experimental	104
5.2.1.	Emplazamiento y auxiliares	104
5.2.2.	Materiales de estudio que conforman los muros	106
5.2.3.	Instrumentos para registrar humedad y temperatura	108

5.2.4.	Ensayos de cristalización en muros.....	109
5.2.5.	Recolección de datos y proceso de modelos.....	112
5.3.	Discusión de resultados, experimentación con muros	118
5.3.1.	Descripción superficial.....	118
5.3.2.	Seguimiento volumétrico mediante fotogrametría	121
5.3.3.	Monitoreo de la humedad y temperatura	125
5.3.4.	Correlación entre saturación de sulfato y proceso de secado .	129
6.	CONCLUSIONES.....	132
6.1.	Conclusiones generales	132
6.2.	Conclusiones particulares: El Templo de la Candelaria	133
6.3.	Conclusiones particulares: Ciclos de cristalización en muros	137
6.4.	Similitudes identificadas entre la experimentación y el templo	139
6.5.	Nichos de investigación	141
6.6.	Recomendaciones	142
	REFERENCIAS	144
	ANEXO A.....	157
	Representación del templo	157
	Super Hatch para representar materiales del templo.....	160
	Términos geológicos y familias de rocas.....	161
	ANEXO B	163
	Concentrado de registros: experimentación envejecimiento acelerado	163
	Bitácoras de registros, espécimen 1	165
	ANEXO C	174
	Complementos documentales obtenidos de la plataforma del INAH.....	174
	Evidencia de investigación en el Archivo Histórico de Jalisco	175

Complementos documentales, ilustraciones de diversas fuentes	177
ANEXO E	180
Producción: artículo en revista GE	180
Producción: artículo en revista PP	181

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 (A) La Nueva Iglesia de Örgryte (B) Castillo de Estocolmo	27
Ilustración 2 (A) Colegiata de Alquezar (B) Castillo Montearagón	28
Ilustración 3 (A) La Iglesia de San Jorge de Paiporta (B) La Catedral de Valencia	28
Ilustración 4 (A) El Castillo de Westhove (B) La Iglesia de Domburg; en Zelanda	29
Ilustración 5 (A) Templo de Linares. (B) Altar de Cráneos	29
Ilustración 6 (A) Teatro Nacional (B) Catedral Metropolitana; en Brasil	30
Ilustración 7 (A) Centro Histórico de Lima (B) Antigua ciudad de Damasco	30
Ilustración 8 Mapeos para patologías	31
Ilustración 9 Levantamiento fotogramétrico	32
Ilustración 10 Sección obtenida por radar de subsuelo	32
Ilustración 11 Ejemplo de imágenes hiperespectrales	33
Ilustración 12 Comparación entre fotografía B/N y termográfica infrarroja	33
Ilustración 13 Ejemplo de interpretaciones de humedad mediante higrómetro	34
Ilustración 14 Humedad capilar asciende desde el subsuelo	43
Ilustración 15 Humedad de condensación, causada por intercambios de temperatura	44
Ilustración 16 Humedad de filtración, a través de lesiones	44
Ilustración 17 Humedad por filtración, proviene de eventos meteorológicos	45
Ilustración 18 Humedad accidental, proviene de instalaciones dañadas	45
Ilustración 19 Humedad de uso, acorde a la utilización proyectada de origen	46
Ilustración 20 Grietas y deformaciones: (A) Grietas (B) Craquelado (C) Pandeo	48
Ilustración 21 Desprendimientos: (A) Ampollas (B) Desconchado (C) Lajamiento	48
Ilustración 22 (A) Alveolos o cavidad, (B) segmento perdido, (C) perforaciones	49
Ilustración 23 (A) Corteza negra, (B) eflorescencias, (C) pinturas	49
Ilustración 24 (A) Plantas, (B) algas, (C) musgo	50
Ilustración 25 Resumen del origen de las humedades y minerales eflorescentes	52
Ilustración 26 Mapa mental para el estudio de las humedades en el patrimonio edificado	54
Ilustración 27 Rescatando fuentes bibliográficas locales	55
Ilustración 28 Regiones administrativas del estado de Jalisco	56
Ilustración 29 Vista aérea desde el centro histórico de Villa Purificación en 2010	56

Ilustración 30 Vista satelital de Villa Purificación	57
Ilustración 31 Extracto de mapa geológico de Villa Purificación	58
Ilustración 32 El valle de Melahuacán y sus lenguas nativas.	59
Ilustración 33 Traza original del centro de Villa Purificación, indicado en rojo	60
Ilustración 34 Delimitación actual del centro histórico del Municipio de Villa Purificación.	61
Ilustración 35 Fachadas por la calle Nicolas Bravo: La Casa del Reloj y el Auditorio Municipal.	62
Ilustración 36 Fachadas por la calle Independencia: vivienda particular y la Notaria Parroquial.	62
Ilustración 37 Fachadas por la calle Allende Oriente, el Hotel Rul y un edificio particular.	63
Ilustración 38 Fachadas por la calle Morelos, viviendas particulares.	63
Ilustración 39 Plaza cultural de la comunidad, vista desde la calle Sor Juana I.C.....	63
Ilustración 40 Representación de la Virgen de la Candelaria	64
Ilustración 41 Publicidad para la feria de la piña.....	64
Ilustración 42 Rocas rescatadas, en las inmediaciones al templo.	66
Ilustración 43 (A) Muestra suspendida desde bascula, dispuesta para absorción capilar. (B) Bascula y cronometro para registrar los valores.	68
Ilustración 44 Grafica de absorción capilar, piedras del TNSC.	69
Ilustración 45 Proceso de CCSS: A) Saturación, B) Secado en Horno, C) Registro del peso seco.	71
Ilustración 46 Grafica de ciclos de cristalización en ladrillos.	72
Ilustración 47 Representación de efectos de CCSS, muestras de ladrillo: ciclos 0, 2, 5, 8.....	72
Ilustración 48 Grafica de ciclos de cristalización en piedras.	73
Ilustración 49 Representación de efectos de CCSS, muestras de piedra: ciclos 0, 2, 5, 8.	73
Ilustración 50 Procedimiento para obtener lamina de piedra	74
Ilustración 51 Muestra negra.....	75
Ilustración 52 Muestra Naranja	76
Ilustración 53 Digitalización mediante telémetros de triangulación y fotografías.	77
Ilustración 54 Modelos digitales por fotogrametría.....	78
Ilustración 55 Fotogrametría mejorada por inteligencia artificial.....	78
Ilustración 56 Ubicación esquemática para los marcadores colocados en el templo.....	79
Ilustración 57 Obstáculos: espacios estrechos entre la vegetación y el edificio.	80
Ilustración 58 Obstáculos: cableado eléctrico alrededor del edificio.	80
Ilustración 59 Patrón de captura fotográfica terrestre, manual.....	81
Ilustración 60 Representaciones de patrones para capturas fotográficas.....	82
Ilustración 61 Flujo de trabajo con actividades opcionales.	83
Ilustración 62 Interfaz de AMS, con la pestaña del flujo de trabajo desglosada.	83
Ilustración 63 Coordenadas para asignar en los marcadores del templo.....	84
Ilustración 64 Importar marcadores en AMP.	84
Ilustración 65 Ubicación de marcadores referenciados en AMS.	85
Ilustración 66 Filtrar fotos por marcador en AMS.....	85

Ilustración 67 Asignar coordenadas locales en AMS.....	86
Ilustración 68 Optimizar orientación de cámaras en AMS.....	86
Ilustración 69 Filtro en la nube de puntos densa según su nivel de confianza en AMS.....	87
Ilustración 70 Vista en SKP: alzado de la nube de puntos densa obtenida de AMS.....	88
Ilustración 71 Vista en alzado del TNSC: Representación arquitectónica.....	90
Ilustración 72 Vista en planta del TNSC.....	91
Ilustración 73 Vista en alzado del TNSC: Identificación de materiales.....	93
Ilustración 74 Vista en alzado del TNSC: Mapeo de patologías.....	94
Ilustración 75 Ventajas de la fotogrametría: (A) Identifica inclinaciones (B) Cambios de materiales.....	97
Ilustración 76 Especies vegetales invasoras en el TNSC.....	98
Ilustración 77 Regiones de colonización vegetal: (A) Sombreado por torre y contrafuerte (B) Sombreado por árboles.....	98
Ilustración 78 Conceptualización para humedecer muros en espacios abiertos.....	101
Ilustración 79 Inducir humedades en muros mediante recipientes de acero.....	102
Ilustración 80 Generación de eflorescencias mediante secado por viento.....	103
Ilustración 81 Emplazamiento y disposición del deshidratador solar.....	104
Ilustración 82 Grafica solar del área de estudio experimental.....	105
Ilustración 83 Disposición y funcionamiento del deshidratador solar.....	106
Ilustración 84 (A) Tipología de mampostería. (B) Conceptualización para construir especímenes.....	107
Ilustración 85 Apertura visual de la cámara integrada (azul) y la cámara termográfica (rojo).....	108
Ilustración 86 A) Cámara termográfica; B) Higrómetro para sólidos.....	109
Ilustración 87 Mecanismo de absorción capilar en especímenes, representación en sección.....	110
Ilustración 88 Tiempos para desarrollar CCSS en los especímenes.....	111
Ilustración 89 Esquema de capturas fotográficas (B) Modelado en Agisoft Metashape.....	112
Ilustración 90 (A) Marcadores en especímenes (B) Reflejo de marcadores en AMS.....	113
Ilustración 91 Recorte de muros mediante SKP.....	113
Ilustración 92 Reparación de modelos de muros, mediante Meshmixer.....	114
Ilustración 93 Verificación de modelo por SolidInspector, para cuantificar el volumen.....	114
Ilustración 94 (A) Puntos para censar humedad. (B) Ilustración térmica con marcadores.....	115
Ilustración 95 Registro de evidencias estado seco del muro.....	116
Ilustración 96 Registro de evidencias estado húmedo del muro.....	117
Ilustración 97 Volumen de los especímenes registrado por fotogrametría.....	121
Ilustración 98 (A) Expansión del repellado previo al desconchado (B) Formación de crestas.....	122
Ilustración 99 (A) Destellos por sol en el fondo (B) Alto contraste por iluminación solar.....	122
Ilustración 100 Cambios porcentuales en volumen, muros registrados por fotogrametría.....	124
Ilustración 101 Humedad media registrada en los muros.....	125
Ilustración 102 Diferencia entre promedios de humedad: etapas seco y saturado en los muros.....	126
Ilustración 103 Temperatura media registrada en los muros.....	127

Ilustración 104 Diferencia de temperatura entre las etapas seco y saturado en los muros. 128

Ilustración 105 Residuos de materiales precipitados en la base de los especímenes. 129

Ilustración 106 Correlación entre la saturación en la salmuera y el proceso de secado 131

Ilustración 107 Las regiones de baja exposición solar desarrollan más vegetación. 136

Ilustración 108 Similitud entre la degradación ubicada en los desplantes de elementos del templo y la degradación obtenida en laboratorio. 139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fórmulas para calcular propiedades físicas 67

Tabla 2 Propiedades físicas de los materiales 67

Tabla 3 Registro de absorción capilar, medido en gramos/minutos 69

Tabla 4 Cálculo de absorción capilar por cm², medido en gramos/minutos^{1/2}..... 69

Tabla 5 Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal. Elaboración propia. 70

Tabla 6 Resultado de los CCSS sobre muestras de ladrillo y piedras, medido en gramos. 71

Tabla 7 Coordenadas para referenciar los marcadores. 79

Tabla 8 Propiedades físicas de los materiales para los especímenes..... 107

Tabla 9 Disposición y niveles de tratamientos experimentales..... 109

Tabla 10 Progresión de CCSS en el espécimen 5, vista por ambas caras..... 119

Tabla 11 Estado final de las muestras según su grupo de tratamiento, vista lateral. 120

Tabla 12 Degradación final de los especímenes registrada en kilogramos.. 129

Tabla 13 Contrastes para evaluar la correlación entre tratamientos. 130

Tabla 14 Análisis de varianza..... 130

ACRÓNIMOS

ABS:	Absorción
ACAD:	AutoCad
AMS:	Agisoft Metashape
CAP:	Coefficiente de Absorción Capilar
CCSS:	Ciclos de cristalización de sulfato de sodio
Ha	Hipótesis alternativa
HI	Hipótesis inicial
Ho	Hipótesis nula
INAH:	Instituto Nacional de Antropología e Historia
MPX:	Mega Pixeles
PS:	Peso seco
SFS:	Sulfato de Sodio
SKP:	SketchUp Studio
SSD:	Peso saturado superficialmente seco
TNSC:	Templo de Nuestra Señora de la Candelaria

RESUMEN

En el contexto de las edificaciones históricas patrimoniales, la presencia de humedades representa una preocupación de relevancia. Esta investigación se enfoca en el estudio del conocimiento relacionado con esta patología. Abordando la documentación de su impacto sobre las edificaciones históricas, la comprensión y aplicación de metodologías de diagnóstico para describir el estado actual de una edificación local, y finalmente, la creación de una metodología experimental de envejecimiento acelerado.

La descripción del estado actual del templo ubicado en Villa de Purificación, Jalisco, se inicia con una contextualización basada en fuentes bibliográficas disponibles en línea y en repositorios locales. Además, se realiza una caracterización física de algunos materiales rescatados de las inmediaciones. Se incluye una representación arquitectónica obtenida mediante la técnica de fotogrametría, detallada mediante programas CAD. Este análisis describe las dimensiones, materiales y patologías presentes, lo que permite interpretaciones descriptivas de las patologías, que se ven influenciadas por la porosidad de los materiales, las condiciones de baja radiación solar y las precipitaciones pluviales.

Partiendo de algunas patologías presentes en esta edificación se plantea una metodología experimental para recrear un envejecimiento acelerado en muros de mampostería. Para ello se propone la extrapolación de ciclos de cristalización de sulfato de sodio. Esto se logra saturando los muros con diferentes salmueras de sulfato y empleando un deshidratador solar para el secado. Los registros se efectúan mediante un higrómetro para sólidos, una cámara termográfica y la cuantificación del volumen a través de fotogrametría. Los resultados obtenidos indican que es viable recrear el envejecimiento de forma acelerada en muros de mampostería, evidenciando una correlación positiva entre la concentración de la salmuera y el uso del deshidratador solar. Con lo cual es posible reproducir el deterioro de edificaciones históricas en laboratorio a escala real.

Palabras clave: Humedades, edificación histórica, patologías, ciclos de cristalización, metodología, fotogrametría, termografía, higrómetro.

ABSTRACT

In the context of historical heritage buildings, humidity represents a significant concern. This research focuses on the study of knowledge related to this pathology, addressing the documentation of its impact on historic buildings; the understanding and application of diagnostic methodologies to describe the current state of a local building, and finally the creation of an experimental accelerated aging methodology.

The description of the current state of the temple located in Villa de Purificación, Jalisco, begins with a contextualization based on bibliographic sources available online and in local repositories. In addition, a physical characterization of some of the materials recovered from the immediate area is carried out. This includes a representation of the façade obtained by photogrammetry and detailed using CAD programs. This analysis describes the dimensions, materials and pathologies present, allowing a descriptive interpretation of the pathologies influenced by the porosity of the materials, conditions of low solar radiation and rainfall.

Starting from some pathologies present in this building, an experimental methodology is proposed to reproduce accelerated aging in masonry walls, for which the extrapolation of sodium sulfate crystallization cycles is proposed. This is achieved by saturating the walls with different sulphate brines and using a solar dehydrator for drying. Records are made using a solid hygrometer, a thermographic camera and volume quantification by photogrammetry. The results obtained show that it is possible to reproduce accelerated aging in masonry walls, proving a positive correlation between the concentration of the brine and the use of the solar dehydrator. This makes it possible to reproduce the deterioration of historical buildings in the laboratory on a real scale.

Keywords: Moisture, historic buildings, pathologies, crystallization cycles, methodology, photogrammetry, thermography, hygrometer.

1. INTRODUCCIÓN

En esta tesis se tiene como objetivo central abordar un tema vinculado directamente con los bienes patrimoniales edificados, que son parte de la identidad cultural de la sociedad; pues son los monumentos y los bienes culturales en general los que mejor identifican a un pueblo, explican su trayectoria histórica y les hacen prosperar (Taller, 2014).

Esto con el fin de atender uno de los puntos estratégicos del CONACyT, que es la cultura, pues actualmente se aprecia que desde hace varios años en México existe una descomposición del tejido social y ambiental, planteando una necesidad de impulsar proyectos que contribuyan al desarrollo de la cultura y la memoria colectiva (CONAHCyT, 2023), comprendiendo que la conservación del patrimonio arquitectónico es cuestión de identidad (Noval V., 2019).

En esta investigación se hace énfasis en las humedades capilares; una de tantas patologías que afectan a estos inmuebles mediante un conjunto de fenómenos naturales denominados intemperización, que se evidencia tras el envejecimiento; cambiando el aspecto y composición de los materiales con que están construidas las edificaciones, degradando el atractivo de estos inmuebles, sus cualidades de origen y por consiguiente un decremento en el interés por visitarlos y vivirlos.

Como respuesta ante la degradación del patrimonio edificado, la investigación e intervención relacionada con la conservación de estos bienes inmuebles tiene la necesidad de valorar, establecer y ejecutar las medidas y acciones que se realizan para estabilizar y retardar el deterioro de los bienes muebles e inmuebles del Patrimonio Cultural, esto es: identificar, diagnosticar y estudiar las diversas patologías que afectan a los materiales y por consiguiente a las edificaciones; representar el estado actual de la mejor manera con las capacidades técnicas, financieras y humanas disponibles; realizar reparaciones y mantenimiento, considerando la calidad, durabilidad y compatibilidad de los materiales a utilizar.

1.1. Planteamiento del problema

El patrimonio edificado puede verse deteriorado por lesiones o degradación de algunos materiales, lo cual se conoce como patologías. Que por su carácter permanente, se denominan acumulativas. En general, estas patologías acumulativas se pueden agrupar en cinco categorías acorde a sus manifestaciones: grietas y deformaciones; desprendimientos o lajamiento; inducción de fallas por pérdida de material; decoloración y depósitos; por último colonizaciones biológicas (ICOMOS, 2008). Algunas de estas patologías se caracterizan por percibirse como lesiones menores y / o superficiales; no obstante esta minimización del problema permite que los materiales se vean afectados a largo plazo, por lo que al momento de visualizarlas como patologías acumulativas degenerativas y entendiendo que son afectaciones que degradan progresivamente el patrimonio edificado; se concibe que estas lesiones menores llegan a convertirse en problemas considerables e incluso comprometer la integridad estructural de los elementos (Navarro & Pacheco, 2013; Villegas et al., 2014).

Por otro lado, las humedades pueden ser el origen de muchas de estas patologías, por ejemplo: las diferencias de humedad generan expansión y contracción de algunos materiales, generando lajamientos o grietas (López et al., 2018); disuelve y transporta minerales favoreciendo la erosión y aparición de manchas; da sustento a seres vivos invasores (Casas, 2018).

Incluso algunos autores estiman que el agua, al invadir los materiales en forma de humedad es responsable en gran medida del deterioro en las edificaciones comparado con otras patologías, llegando a superar el 40% de las afectaciones totales identificadas en edificaciones históricas (Berenguel P., 2014).

Es por lo que surge el interés de indagar y comprender el conocimiento actual referente a las humedades, comprendidas como una patología acumulativa degenerativa. Este conocimiento será de utilidad para el desarrollo de esta tesis, pues comprender el tema es la base para interpretar la degradación que existe en una edificación de interés.

En el municipio de Villa de Purificación, del estado de Jalisco, México, existe una edificación catalogada como monumento histórico por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), con número de captura: I-0011500836 (INAH, 2022); cuyos elementos arquitectónicos están contruidos a base de mamposterías; sus muros y contrafuertes están conformados por una combinación de piedra y ladrillo rojo horneado (también conocido como ladrillo cerámico) asentados con algún tipo de mortero de cal; el interés para abordar esta investigación en torno a esta edificación histórica de culto, radica en que se han apreciado carencias documentales tanto en su historia como en su descripción física (ver ANEXO C, p174), además se aprecia un deterioro por un conjunto de procesos naturales que impactan sobre los materiales del edificio (meteorización), dichos procesos han dado origen a algunas de las patologías acumulativas descritas anteriormente; razón por la cual se aprecia con este aspecto envejecido, una peculiaridad de cualquier edificación antigua como esta.

Para describir la situación en la que se encuentra actualmente esta edificación, se considera necesario representarla gráficamente mediante vistas en alzado, esta actividad que puede resultar familiar para un arquitecto, ingeniero civil o topógrafo, involucra aspectos de representación gráfica, como son un levantamiento de datos y medidas. Para llevar a cabo dicha actividad del levantamiento, se plantea desarrollarlo mediante la técnica de fotogrametría digital de corto rango, que ha llegado a ser considerada como una técnica útil para la digitalización de edificaciones históricas, rescatando en un mismo modelo dimensiones y colores (Cipriani et al., 2015; Medina C. et al., 2014).

Esta técnica debe permitir representar digitalmente la parroquia ubicada en Villa de Purificación, Jal., con lo cual se plantea identificar las regiones que presentan manifestaciones de humedades y afectan al Templo de Nuestra Señora de la Candelaria, esto mediante una zonificación o mapeo en 2D sobre representaciones arquitectónicas, tal como han desarrollado otros autores para identificar las patologías siguiendo este concepto del mapeo (Andaluz M. et al., 1994; Cipriani et al., 2015; Sánchez L. & Soto Z., 2021).

Como se ha mencionado anteriormente las humedades son un fenómeno que se considera ampliamente estudiado; en contraparte se pueden encontrar carencias en algunas investigaciones al momento de intervenir sobre las edificaciones, pues no se cuenta con herramientas metodológicas experimentales suficientes para proponer y validar las propuestas correctivas previo a ejecutarlas, lo cual puede repercutir en afectaciones a futuro, esto debido a que las humedades pueden llevar distintos tiempos en manifestarse o en convertirse en un problema visible (Franzoni et al., 2023; Lubelli et al., 2018; Ribeiro et al., 2018; Šťastný et al., 2021).

Dado que las humedades que deterioran al patrimonio edificado pueden tener múltiples orígenes; en esta investigación se han centrado los esfuerzos por reproducir de manera acelerada las afectaciones por humedad capilar, pues se estima que es uno de los mecanismos por los cuales se ve afectado el Templo de Nuestra Señora de la Candelaria, permitiendo de esta manera representar y simular las condiciones de los muros de mampostería que lo conforman.

Actualmente existe una técnica de envejecimiento acelerado basada en las eflorescencias (capacidad de algunos minerales para generar cristales) (De Paz, 2023); con lo cual se generan ciclos de cristalización de sulfato de sodio, también conocida como ensayos de resistencia contra la cristalización (Brea, Lamas, & Hermo, 2008); en resumen esta prueba consta de un proceso cíclico (repetitivo) donde se saturan las muestras de material en una solución de sulfato de sodio, posteriormente se ponen a secar en un horno y para finalizar se dejan reposar a temperatura ambiente para registrar datos (Liu et al., 2020), la cristalización generada produce un desgaste similar al deterioro producido por humedades.

Se parte de esta información para plantear el último objetivo de esta investigación, que es el desarrollo de una propuesta experimental basada en los ciclos de cristalización de sulfato como método de simulación del envejecimiento acelerado por humedades, aplicado en ocho muros de mampostería. Para ello se utilizan distintas concentraciones en la salmuera y dos alternativas para el secado; evaluando los resultados obtenidos mediante el registro periódico de la temperatura, humedad y volumen en cada uno de los ciclos de experimentación.

1.2. Objetivo general

Debido a la importancia que se percibe sobre las afectaciones derivadas de las humedades que invaden a las edificaciones, esta tesis tiene como objetivo principal estudiar el conocimiento referente a dicha problemática, y con ello documentar la situación actual del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria; pues dicha edificación histórica se ve afectada por múltiples patologías acumulativas. Esto con la intención de posteriormente reproducir de manera acelerada en condiciones de laboratorio alguno de los mecanismos por los cuales se ve deteriorado este inmueble.

Para ello se plantean tres ejes de interés. Primero: para sentar las bases teóricas, es necesario describir el conocimiento actual que se tiene respecto al deterioro del patrimonio edificado a causa de las humedades, rescatando la información de fuentes bibliográficas como libros, artículos y manuales. Segundo: se aplica dicho conocimiento para identificar y evidenciar las afectaciones acumulativas presentes en la fachada sur de una edificación histórica ubicada en la comunidad Villa de Purificación, Jalisco. Tercero y último: se desarrolla una metodología en situación experimental para recrear el envejecimiento de manera acelerada esperando representar significativamente las humedades que afectan a los muros del templo por humedad capilar.

1.3. Objetivos particulares

Para comprender la problemática de las humedades relacionadas con el deterioro del patrimonio edificado se debe cubrir con los siguientes aspectos:

1. Documentar cómo las humedades participan en el deterioro del patrimonio edificado mediante algunos ejemplos.
2. Identificar los factores que favorecen la presencia de humedad y cuáles son los posibles orígenes de la patología.
3. Indagar y documentar las técnicas y metodologías existentes para realizar el seguimiento y diagnóstico de las humedades.

Una vez comprendido el tema referente a las humedades, se plantea identificar de manera superficial las patologías presentes en el Templo de Nuestra Señora de la Candelaria:

4. Contextualización del templo y estudio de sus materiales.
5. Digitalización del estado actual de la edificación mediante fotogrametría digital de corto rango, obteniendo nube de puntos.
6. Representación en alzado partiendo del proceso fotogramétrico.
7. Mapeo donde se identifiquen las patologías acumulativas encontradas.

Por último, para abonar en las metodologías relacionadas con la durabilidad de los materiales, se plantea desarrollar una metodología en situación experimental para desarrollar un proceso que recrea las afectaciones por humedad capilar de manera acelerada.

8. Identificar los procesos necesarios para desarrollar eflorescencias mediante ciclos de cristalización de sulfato.
9. Construir ocho muros (especímenes) que representan el sistema constructivo de la edificación.
10. Aplicar y evaluar los resultados obtenidos de la metodología.

1.4. Alcances

1. Con el fin de describir la problemática relacionada con las humedades, los alcances consisten en una documentación e investigación bibliográfica, que puede incluir: libros, tesis, artículos de revistas, memorias de congresos, entre otras fuentes académicas confiables.
2. De la misma manera, pero de forma específica, para describir el contexto físico-histórico del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria; se considera la recopilación de información de documentos locales y publicaciones específicas, tanto de la comunidad como de la edificación, lo cual conlleva a una serie de visitas a la comunidad para rescatar aquellos saberes plasmados en libros o documentación existente en los archivos locales.
3. Para la identificación de las patologías presentes sobre la edificación histórica de culto, se plantea caracterizar una de sus fachadas. Esta caracterización consiste en la digitalización mediante fotogrametría del templo, para con ello realizar una vectorización de la fachada sur, donde se elabora un mapeo para delimitar sus materiales y evidenciar las patologías registradas.
4. En cuanto al apartado experimental, se delimita en una población de ocho muros de mampostería combinada, cuya configuración está conceptualizada en referencia al templo, a los cuales se aplican dos tratamientos distintos a dos niveles de concentración; uno de los tratamientos consta de diferentes concentraciones de sulfato de sodio en la salmuera, y el segundo consta de distintos procesos de secado. Esto aplicado en ocho ciclos, obteniendo sus respectivos registros.

1.5. Justificación

Debido a que el patrimonio histórico edificado se considera como parte y al mismo tiempo, pertenencia de la sociedad colectiva, se considera necesaria su conservación para que pueda ser transmitido entre generaciones (Taller, 2014), por la necesidad de conservar la identidad, los valores culturales e históricos de las comunidades. Pues son las edificaciones, monumentos y los bienes culturales en general, los que mejor identifican a un pueblo, explican su trayectoria histórica y a su vez les hacen prosperar.

Dicha conservación del patrimonio histórico edificado depende en gran medida de su estabilidad estructural que permite a las edificaciones mantenerse en pie (Navarro & Pacheco, 2013); como se ha mencionado en el planteamiento del problema, la estabilidad estructural puede llegar a verse comprometida debido al desarrollo prolongado de patologías superficiales acumulativas.

Ahora bien, según algunos principios de restauración, se plantea que es preferible mantener al mínimo las intervenciones físicas sobre los bienes históricos y culturales; con la intención de mantener su autenticidad y en su caso la reversibilidad de aquellas modificaciones requeridas (Dominguez Palomares, 2018). Esto supone que se alienta a preservar las edificaciones históricas mediante un mantenimiento adecuado y correcciones preventivas; dejando como última opción la restauración sólo cuando se espere una mejora significativa de ello.

Motivo por el cual en esta tesis de investigación se plantea la documentación del estado actual de una edificación histórica, como parte de las actividades básicas de la conservación; esto mediante la inclusión de alternativas metodológicas indirectas tanto para la representación arquitectónica, así como para desarrollar una experimentación que pretende reproducir patologías en laboratorio. Ambas actividades convergen en la descripción y comprensión de algunas patologías derivadas del ciclo del agua que se presentan en esta edificación. Buscando con ello, aportar a la documentación y minimizar las interacciones físicas directas sobre la caracterización y estudio de patologías de cualquier inmueble histórico-cultural.

El desarrollo de estas actividades planteadas anteriormente, tienen como finalidad contribuir a las líneas de generación del conocimiento: en los estudios sobre la experiencia con el entorno, específicamente en la experiencia e interacción con espacios de culto y patrimoniales, así como en la experiencia e interacción con la tecnología; además en la línea de estudios sobre la transformación del entorno, específicamente en la innovación en métodos y procesos para el estudio de la innovación en la transformación del entorno. Esto se explica de mejor manera en los siguientes puntos:

- Un levantamiento arquitectónico diferente: Un levantamiento como tal, es fundamental para preservar el patrimonio histórico edificado; proporcionando un registro del estado actual de la edificación, describiendo gráficamente su geometría y composición arquitectónica. En esta tesis se incorpora la implementación de la fotogrametría como un método alternativo e innovador para realizar levantamientos arquitectónicos. Pues tradicionalmente, se han realizado utilizando técnicas convencionales como la medición manual con cinta métrica o equipos topográficos. Sin embargo, la introducción de la fotogrametría ofrece varias ventajas que justifican su papel como una innovación en este campo.

En primer lugar, la fotogrametría permite obtener modelos detallados con una precisión considerable de las edificaciones y otros elementos de una manera más eficiente y menos invasiva que los métodos tradicionales. Además, la fotogrametría puede utilizarse para capturar detalles y características arquitectónicas que podrían pasarse por alto o ser difíciles de medir utilizando métodos manuales.

Además, la implementación de fotogrametría como método alternativo para levantamientos descriptivos, puede mejorar la accesibilidad y la disponibilidad de la información espacial. Al ser una tecnología digital que no requiere de equipos sofisticados o una capacitación significativa y que sus resultados pueden ser interpretados por distintos profesionistas como arquitectos, urbanistas, investigadores, entre

otros interesados en el estudio, transformación y planificación del entorno edificado.

- Un proceso metodológico experimental: como parte de las actividades para la conservación de los bienes históricos se concibe el desarrollo de nuevas metodologías que permitan minimizar las intervenciones sobre los materiales que conforman estos inmuebles; es allí donde radica la necesidad de innovar en los materiales pertenecientes al entorno transformado o edificado; por ello en esta tesis se propone la reproducción acelerada de afectaciones por humedad en laboratorio utilizando muros a escala real.

Tradicionalmente, la evaluación de los efectos de la humedad sobre los materiales que conforman las edificaciones ha sido un proceso que involucra observaciones a largo plazo o la observación directa sobre las edificaciones expuestas a intemperie. Sin embargo, mediante la reproducción acelerada de estas afectaciones en laboratorio, se pudieran obtener resultados más rápidos y controlados, lo que facilita el estudio y la comprensión de los procesos de degradación causados por la humedad.

Además, la reproducción acelerada de afectaciones por humedad en laboratorio supondría una mejora para el desarrollo y la evaluación no sólo de materiales, sino también de sistemas constructivos y propuestas correctivas; al simular condiciones extremas de humedad en un entorno controlado, los investigadores podrán probar la eficacia de diferentes materiales y tratamientos de superficie para prevenir o mitigar los daños causados por la humedad.

Suponiendo la obtención de resultados favorables en esta propuesta experimental, considerando que serán necesarios cambios y mejoras pertinentes; puede ser el origen precursor de una metodología adaptable para simular distintas condiciones que afectan a los materiales que conforman al entorno edificado o bien para representar las alteraciones en elementos constructivos a escala real.

De la misma manera y siguiendo las recomendaciones planteadas por el CONAHCyT, quien, a través del Programa Nacional Estratégico (PRONACE) de Cultura, promueve agendas de investigación e incidencia enfocadas en el reconocimiento de las perspectivas y saberes de múltiples actores, en particular de los sociales y comunitarios para que sean incorporados en la construcción de nuevos conocimientos. El objetivo de este PRONACE: es propiciar el reconocimiento de las memorias, saberes, tecnologías, expresiones y prácticas, generadas desde la diversidad cultural y biocultural que nos define como país, para, con ello, entender los problemas nacionales y generar soluciones integrales, profundas y amplias que consideren la pluriculturalidad nacional. Esto permitirá contribuir a garantizar la equidad, la diversidad cultural, los derechos humanos, la libertad de expresión y la justicia social (CONAHCyT, 2023). En esta tesis se atienden dichas recomendaciones mediante los siguientes puntos:

- La reconstrucción histórica mediante una edificación: Se considera pertinente dicha investigación para la divulgación y difusión de la existencia de una edificación histórica, que a pesar de ser una de las más antiguas (dentro de su categoría) en todo el estado de Jalisco, parece haberse visto marginada debido a la poca documentación física-histórica con la que se cuenta en el catálogo de monumentos históricos del INAH (ver ANEXO C, p174), al igual que las pocas publicaciones que se pueden llegar a encontrar haciendo referencia a este inmueble; razón por la cual se estima que de alguna manera esta comunidad y sus edificaciones históricas (El templo y la casa del reloj) se han visto marginadas en la difusión de su importancia histórica-cultural a nivel estatal.
- El rescate de bibliografía local: como parte del reconocimiento de los saberes y memorias generadas por múltiples actores, se comprende dentro de los alcances: rescatar y concentrar los conocimientos locales respecto a esta edificación histórica de culto, identificando los conocimientos plasmados en bibliografías y publicaciones locales para describir el contexto físico e histórico de esta edificación patrimonial de culto.

1.6. Hipótesis

Una vez identificado el problema que representan las humedades sobre las edificaciones históricas en general, y establecidos los objetivos, para describir las patologías que afectan una edificación histórica del municipio de Villa de Purificación, Jalisco y reproducir de manera acelerada el deterioro ocasionado por humedad capilar. Se establecen algunos supuestos a manera de hipótesis con el fin de identificar una visión a futuro acerca de los posibles resultados.

1.6.1. Hipótesis principal descriptiva, respecto a la disponibilidad del conocimiento

Sabiendo que el deterioro del patrimonio arquitectónico edificado se debe en parte a las afectaciones ocasionadas por humedades, dando origen a múltiples patologías y afectando la composición de los materiales que conforman a los inmuebles y reconociendo una de las actividades básicas para la conservación: se tiene el registro del estado actual de las edificaciones, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis:

H_i (Hipótesis inicial):

El conocimiento actual disponible en libros, artículos científicos y tesis relacionados con el diagnóstico y caracterización de las humedades como una patología está ampliamente estudiado, por lo que se considera suficiente para describir las patologías acumulativas que afectan al patrimonio edificado; así como para adaptar estos conocimientos útiles para desarrollar una caracterización del estado actual de la edificación de interés y al mismo tiempo obtener la información suficiente para extrapolar el desarrollo de la metodología experimental propuesta.

H_a (Hipótesis Alternativa):

El conocimiento actual disponible en libros, artículos científicos y tesis relacionados con el diagnóstico y caracterización de las humedades como una patología; presenta ineficiencias para cumplir con alguno o varios de los objetivos particulares.

1.6.2. Hipótesis secundaria descriptiva, conforme al estado actual del templo

Comprendiendo que la documentación del estado actual de las edificaciones históricas es una actividad que contribuye a su conservación, y que este registro documental se puede realizar mediante múltiples técnicas de levantamiento de datos, encontrando entre ellos algunas técnicas tales como: levantamientos manuales con cinta métrica o flexómetro, levantamiento mediante equipos topográficos o levantamientos mediante la obtención de nube de puntos entre otros. Se plantea la siguiente hipótesis:

H_i: La implementación de la fotogrametría digital de corto rango resulta ser una técnica útil para describir la configuración arquitectónica de los elementos de interés de una edificación de gran tamaño. Permitiendo un levantamiento detallado del estado actual del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria.

H_a La implementación de la fotogrametría digital de corto rango resulta ser una técnica ineficiente para describir la configuración arquitectónica de una edificación de gran tamaño. Pues por sus dimensiones, complejidad o alcances del software: se pierden los elementos de interés, impidiendo conseguir una nube de puntos legible sobre el cual elaborar las actividades posteriores.

La hipótesis alternativa que va en contra de la propuesta inicial, resulta tras identificar algunas complicaciones expuestas en la tesis de maestría de (Figuroa C. & Pacheco M., 2016): donde se encontraron complicaciones para modelar el edificio 213 de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, mediante esta técnica.

1.6.3. Hipótesis secundaria de correlación, entre las condiciones de los tratamientos aplicados

Para el apartado experimental se plantea una hipótesis que permita evaluar la correlación que existe entre los distintos tratamientos utilizados para desarrollar el envejecimiento acelerado mediante ciclos de cristalización de sulfato de sodio. Esto implica valorar los cambios de concentración de sulfato de sodio en la salmuera utilizada, así como los cambios en el proceso de secado.

H_i : Se estima que existe una correlación entre la concentración de SFS que es una salmuera para saturar los muros y el uso del deshidratador solar como un sistema de mejora para el secado de estos especímenes; contribuyendo al desarrollo de eflorescencias y por consiguiente generar una mayor degradación.

H_o : Dados los resultados, es difícil demostrar que exista una correlación significativa entre la concentración de SFS y el uso del deshidratador solar, pues los resultados no mantienen relación con los distintos niveles en los respectivos tratamientos.

Esta hipótesis fue planteada mediante un diseño experimental factorial 22, para esta evaluación estadística se requieren dos variables y dos niveles en los tratamientos (Melo et al., 2020), lo cual se aplica para analizar la degradación obtenida en los especímenes, que han sido sometidos a dos concentraciones distintas en la salmuera (5% o 10% de SFS) y dos condiciones de secado (a la intemperie o con deshidratador).

Para el factor de estudio, las dos variables independientes o tratamientos que se consideran son: primero el factor A, que consiste en manipular la concentración de sulfato de sodio contenido en la salmuera aplicada a los especímenes de mampostería; la segunda o factor B, esta variable consiste en cambiar el tratamiento de secado.

La variable dependiente, de respuesta o salida de datos, se evalúa principalmente midiendo la degradación, para ello se plantea: cuantificar el volumen mediante la fotogrametría, esta técnica permite digitalizar elementos con formas libres y con ello obtener el volumen perdido tras la experimentación.

1.6.4. Hipótesis secundaria descriptiva, respecto a los resultados.

Como se ha mencionado anteriormente la metodología experimental tiene como objetivo: intentar reproducir el fenómeno degenerativo que sufre la edificación en estudio, ante tal situación, se espera que la metodología pueda ser de utilidad para que en futuras investigaciones se cuenten con alternativas metodológicas y sobre ello evaluar las propuestas correctivas contra estas afectaciones:

H_i : Se considera que la metodología experimental aquí planteada permite reproducir de manera significativa alguna de las afectaciones identificadas en la edificación histórica de estudio.

H_o : Se considera que la metodología experimental aquí planteada no ha conseguido reproducir ninguna de las afectaciones identificadas en la edificación histórica de estudio.

H_a : Se ha conseguido reproducir alguna de las afectaciones descritas en la bibliografía, sin embargo, no coincide con ninguna de las identificadas en la edificación histórica de estudio.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Documentación de edificaciones deterioradas por humedades

Con el fin de evidenciar que las humedades son una problemática alrededor del mundo, se han identificado múltiples edificaciones afectadas por esta patología de distintas maneras, para demostrarlo es necesario recurrir a una recopilación basada en bibliografía donde se describen algunos casos de estudio; de ellos se puede rescatar de manera somera el origen de la humedad, así como sus manifestaciones que terminan deteriorando el aspecto del patrimonio edificado.

2.1.1. Colección de edificaciones en Suecia

En los edificios históricos de mampostería de ladrillo escandinavos, especialmente aquellos construidos en el período neogótico, se encuentran problemas de durabilidad, derivados de la erosión y la degradación. Estos se deben en gran medida a la cristalización de las sales y a la acción de las heladas en los ladrillos y morteros (Balksten & Strandberg, 2021).



Ilustración 1 (A) La Nueva Iglesia de Örgryte (B) Castillo de Estocolmo (Larsson, 2023).

2.1.2. Colección de edificaciones en España

De igual manera se presentan estudios en varios monumentos de la provincia de La Huesca: como La Colegiata de Alquezar, La Catedral de Barbastro, El Claustro de San Pedro el Viejo, El Monasterio de Sigena, La Catedral de Huesca y El Castillo de Montearagón. En ellos se han encontrado alteraciones derivadas de humedades tales como: colonizaciones vegetales, desconchado de tapias y erosión de areniscas (Andaluz M. et al., 1994).

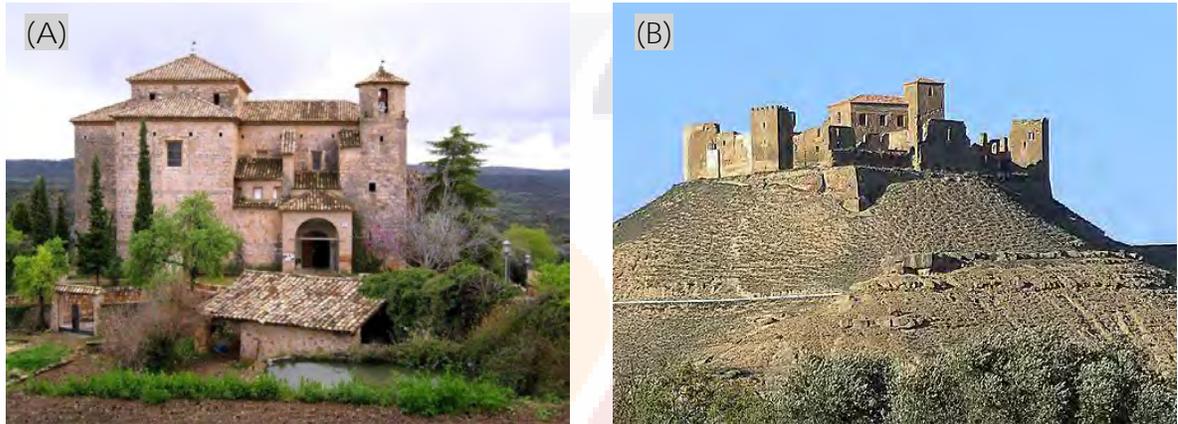


Ilustración 2 (A) Colegiata de Alquezar (B) Castillo Montearagón (Soler Betés, 2023).

Así como la identificación de humedades subterráneas en dos edificaciones de Valencia: como La Iglesia de San Jorge de Paiporta y La Catedral de Valencia. Dichas edificaciones han registrado alteraciones y propagación de humedad tanto en el piso o pavimentos de los inmuebles como a través de sus muros (Pérez Gracia, 2001).



Ilustración 3 (A) La Iglesia de San Jorge de Paiporta (B) La Catedral de Valencia (Gg, 2023).

2.1.3. Colección de edificios en Países Bajos

En estas regiones se han documentado daños por humedades en algunas regiones con ambientes marinos, no sólo en aquellas zonas colindantes con el mar, sino también en zonas continentales. Se entiende que las afectaciones directas por la humedad marina están caracterizadas por inundaciones o capilaridad desde el nivel freático; mientras que las condiciones indirectas se llevan a cabo mediante la brisa y niebla que contienen un alto contenido de sales (Lubelli et al., 2004; Speri et al., 2017).



Ilustración 4 (A) El Castillo de Westhove (B) La Iglesia de Domburg; en Zelanda (AllTrails, 2023).

2.1.4. Colección de edificaciones en México

Así mismo en distintas partes de México se pueden encontrar alteraciones por humedad, que se manifiesta mediante colonizaciones biológicas, afectaciones químicas como la eflorescencia o físicas como la erosión, tal como sucede en el Templo del Señor de la Misericordia (Arriaga et al., 2017), o en la zona arqueológica del Templo Mayor, en Ciudad de México, específicamente en el Altar de Cráneos (Mora Navarro & López Doncel, 2015).



Ilustración 5 (A) Templo de Linares (Arriaga, 2017). (B) Altar de Cráneos (Navarro, 2015).

2.1.5. Colección de edificaciones en Brasil

La humedad es un problema incluso en edificaciones contemporáneas, como las que conforman la ciudad de Brasilia considerada como patrimonio cultural. Dichas edificaciones construidas principalmente de concreto armado presentan algunas alteraciones como filtraciones de humedad, que resultan en exposición y oxidación de los elementos de acero, moho, eflorescencias y depósitos de minerales que se traducen en manchas de colores (Silva et al., 2003).

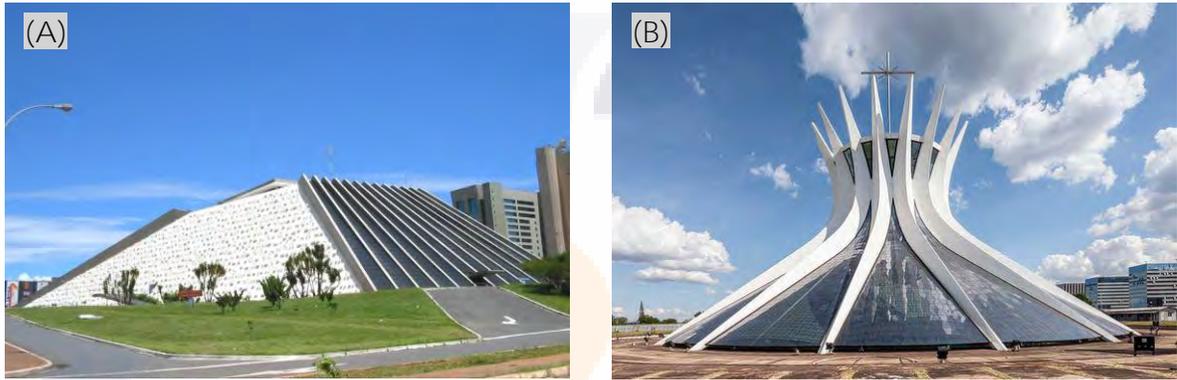


Ilustración 6 (A) Teatro Nacional (B) Catedral Metropolitana: en Brasil (Andrade, 2023).

2.1.6. Colección de arquitectura vernácula

Los problemas por humedades también se extienden a edificaciones pertenecientes a la arquitectura vernácula, sea o no perteneciente al patrimonio histórico edificado, atacando distintas localizaciones y diversos materiales, tales como: muros de tierra cruda, ladrillos, repellados de mortero y en algunos casos maderas (Berenguel, 2014) (Alkhateeb, 2011) (Ribeiro et al., 2018)

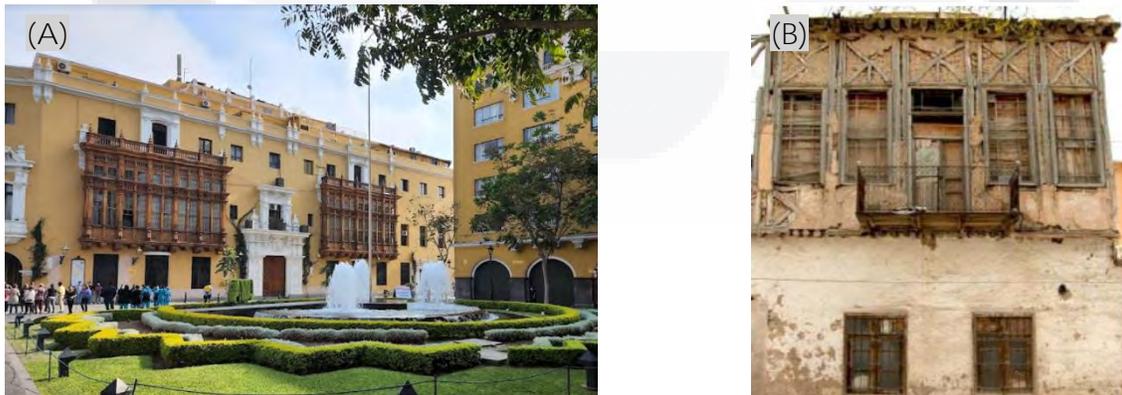


Ilustración 7 (A) Centro Histórico de Lima (Flores, 2023) (B) Antigua ciudad de Damasco (Alkhateeb, 2011).

2.2. Seguimiento de edificaciones afectadas por humedades

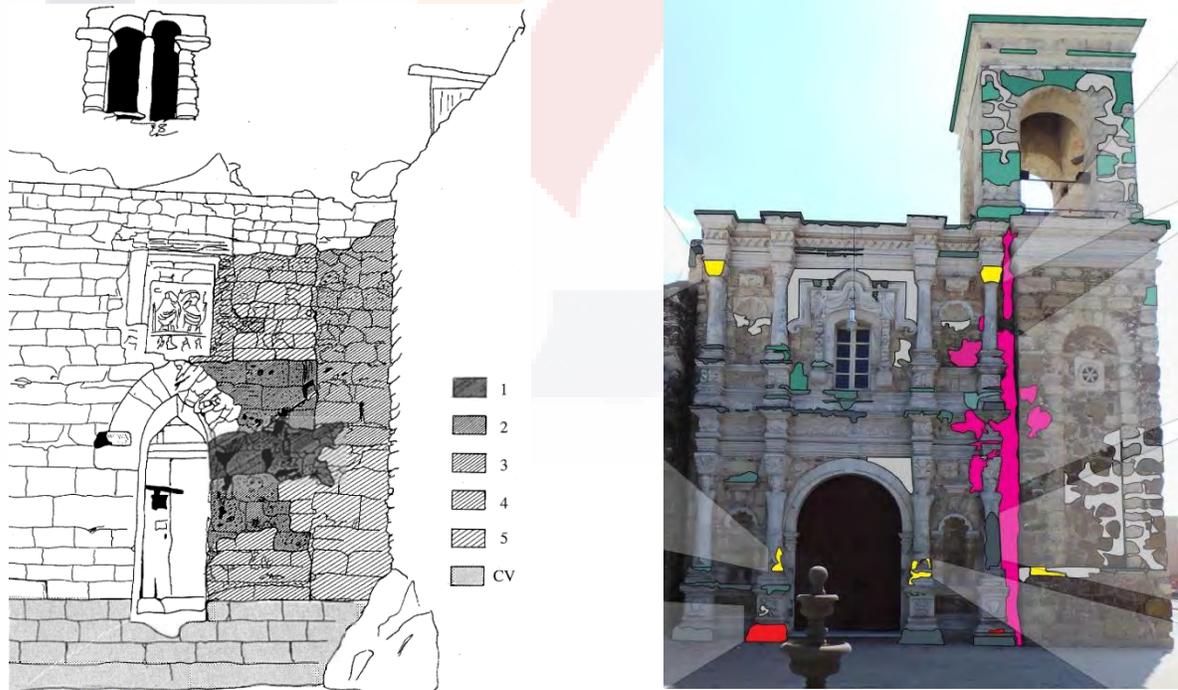
Una vez identificado el problema de las humedades en distintas edificaciones, diversas características geográficas y ambientales, ahora se presenta como se lleva a cabo el seguimiento de esta problemática, según diversos autores.

Para desarrollar la caracterización o evaluaciones relacionadas con las afectaciones ocasionadas por humedades sobre el patrimonio arquitectónico se puede recurrir a alguno o ambos de los siguientes aspectos: (1) valoraciones superficiales y/o (2) identificación a profundidad de las alteraciones que se presentan en los elementos estudiados.

2.2.1. Valoraciones superficiales

Las valoraciones superficiales de las afectaciones se llevan a cabo mediante alguno de los siguientes métodos o técnicas:

- Mapeo: esta técnica permite evaluar de manera cuantitativa las regiones dañadas, utilizando una escala subjetiva y contextual, basada en colores, rellenos o sombreados sobre la imagen del elemento en estudio (Andaluz M. et al., 1994).



- Levantamientos volumétricos: este proceso requiere de sistemas digitales basados en la estructuración por movimiento, por sus siglas en inglés structure from motion (SFM), como pueden ser la fotogrametría o el escáner láser, permiten digitalizar los elementos en estudio con una precisión considerable (Almac et al., 2016).



Ilustración 9 Levantamiento fotogramétrico (Cipriani et al., 2015).

2.2.2. Identificación a profundidad

Mientras que la identificación a profundidad de las alteraciones consiste en evaluar más allá de la superficie, para ello se recurre a equipos más sofisticados:

- El radar de subsuelo se puede utilizar como una herramienta para escanear tanto el suelo como los muros de las edificaciones, este equipo permite determinar los estados de hidratación debajo de la superficie (Pérez Gracia, 2001).

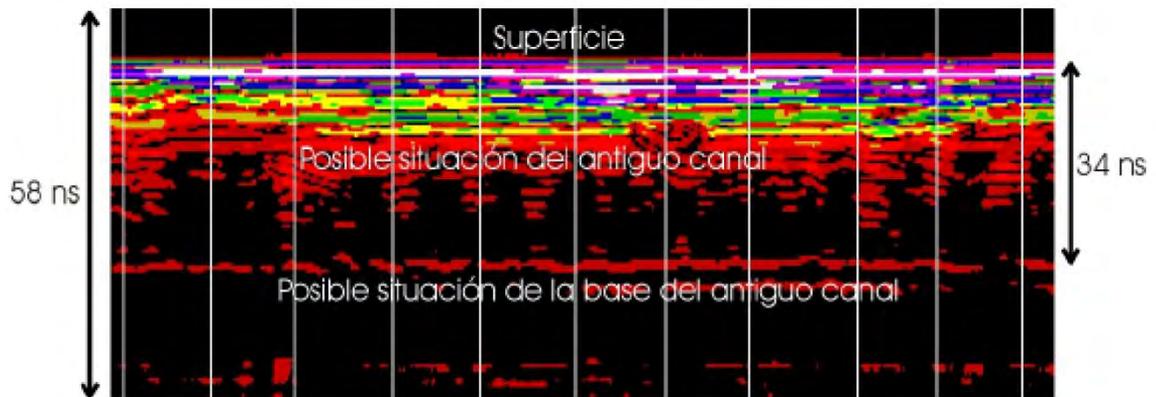


Ilustración 10 Sección obtenida por radar de subsuelo (Pérez Gracia, 2001).

- La cámara hiperespectral (espectrorradiómetro hiperespectral) cuyas imágenes proporcionan información sobre la presencia de minerales específicos, que pueden ser de interés al considerarse nocivos para los materiales porosos que conforman los elementos constructivos del patrimonio (Coletti et al., 2023):

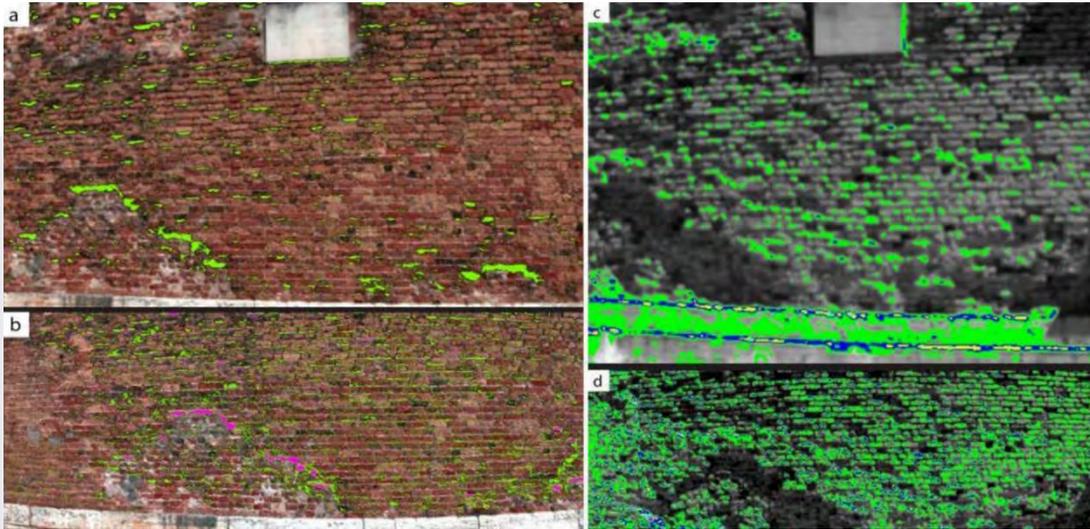


Ilustración 11 Ejemplo de imágenes hiperespectrales (Coletti et al., 2023).

- La termografía es utilizada para identificar entre otras cosas la presencia de humedad, asociando las diferencias de temperatura con la presencia de agua, (Serna, Araiza, & Soto, 2016), en otros casos permite identificar los diferentes materiales o exposición de los mismos a condiciones ambientales distintas (Tormo Esteve, 2016).

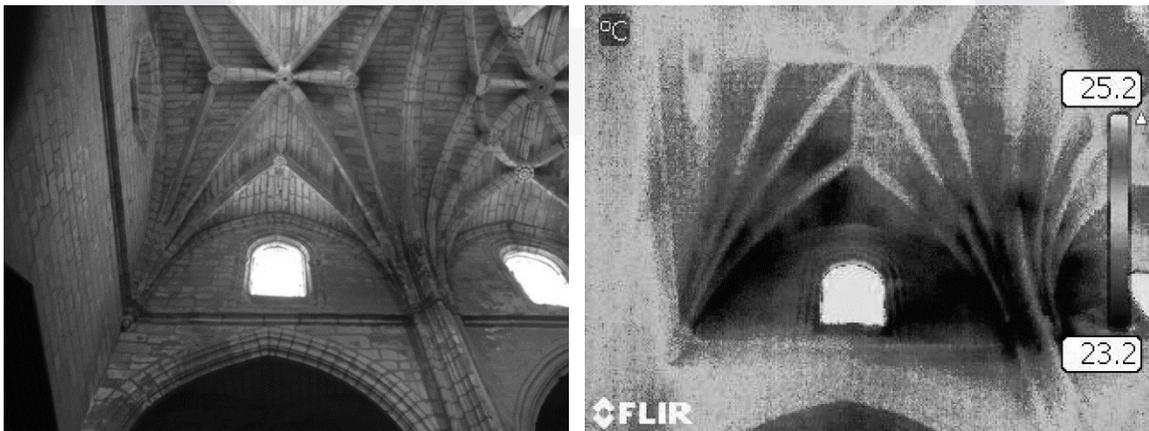


Ilustración 12 Comparación entre fotografía B/N y termografía infrarroja (Tormo Esteve, 2016).

- El higrómetro para sólidos se puede implementar para identificar el porcentaje de humedad en algunos materiales como la madera y el concreto (Cañola et al., 2020), además se puede combinar con software para hacer interpretaciones de la situación interna de los elementos (Frenzel et al., 2023).

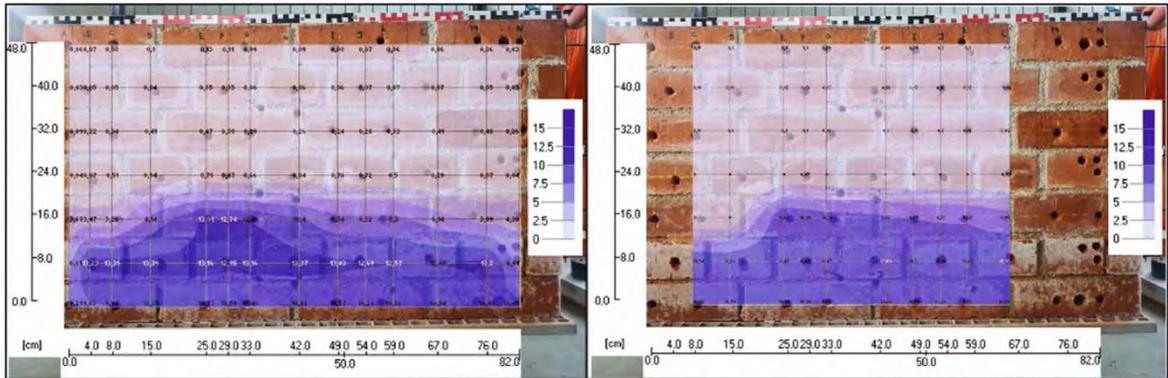


Ilustración 13 Ejemplo de interpretaciones de humedad mediante higrómetro (Frenzel et al., 2023).

Existen otras técnicas microscópicas de laboratorio, que consisten en identificar los minerales que conforman los materiales, sea por origen litológico o invasión en la red porosa, buscando aquellos que tienen cualidades degenerativas.

- El análisis por micro-raman es una técnica que hace posible realizar observaciones directamente en campo (López A., 2012). Otros instrumentos requieren obtener muestras de material, tal es el caso del microscopio de barrido o la difracción de raios X (López A. et al., 2008).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Conceptos y principios para el patrimonio histórico edificado

A continuación, se presenta una serie de conceptos básicos fundamentales, los cuales permiten identificar que es el patrimonio histórico, su vinculación con la sociedad y algunas consideraciones para su preservación.

3.1.1. Conceptos básicos

En primer lugar las edificaciones históricas en México, son consideradas bajo la Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, aquellas creaciones arquitectónicas influenciadas por la cultura europea hasta finales del siglo XIX. Siendo el INAH la dependencia con la responsabilidad de tutelar normativamente estos monumentos para su protección, conservación, investigación y difusión. El acervo del patrimonio histórico catalogado por el Instituto abarca más de 117,000 fichas, destacando edificios religiosos, escuelas, hospitales, fortalezas militares, entre otros, que representan la destreza de los arquitectos y constructores mexicanos de épocas pasadas (Balandrano, 2024).

Estas edificaciones históricas están vinculadas a un contexto que se refiere al entorno físico, histórico y cultural que rodea a una estructura o edificio antiguo. Esto incluye aspectos como la ubicación geográfica, el entorno urbano o rural, tales como las edificaciones circundantes, la historia del lugar, la historia propia del monumento, así como su importancia cultural (Dominguez Palomares, 2018). Es por ello que cuando se realiza la conservación o restauración de un edificio histórico, es fundamental tener en cuenta dichos aspectos, para la toma de decisiones futuras. Esto implica comprender cómo el edificio interactúa con su entorno, su relación con otras estructuras, y cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo en respuesta a factores externos. Cuando hablamos de conservación y restauración, es sumamente importante considerar el contexto para preservar la autenticidad e integridad de los inmuebles.

En algunos casos el contexto urbano inmediato a estos bienes patrimoniales, se concibe con el nombre de centro histórico; entendiendo que la urbanidad vinculada es reconocida por la unidad temporal que se ve reflejada en la arquitectura de sus edificaciones, donde se percibe una armonía en escala, ritmo

y volumetría que caracteriza, enriquece y hace tan encantadores estos conjuntos urbanos (Balandrano, 2024). Siendo estos centros históricos un agregado al valor patrimonial histórico desde su concepción como un conjunto; al corresponder a un periodo o proceso histórico del sitio, donde aún hoy se pueden desarrollar las actividades de una comunidad; que nos muestran la esencia dinámica de su estructura tipológica y configuración dadas por un asentamiento humano determinado y su manifestación territorial de la conformación del espacio urbano (Dominguez Palomares, 2018).

Por otra parte, como un bien intangible se encuentra la cultura que se refiere a las pautas de comportamiento, ya sean explícitas o implícitas, que son adquiridas y transmitidas a través de símbolos; constituyendo parte del patrimonio de los grupos humanos, incluida su representación en objetos (que bien puede tratarse de edificaciones históricas que han acompañado a la sociedad y sus actividades). El núcleo esencial de la cultura reside en las ideas tradicionales, históricamente generadas y seleccionadas, especialmente en los valores vinculados a ellas. Los sistemas culturales son tanto productos de la acción humana como elementos condicionantes de acciones futuras (Domínguez Palomares, 2018). En este contexto, las ciencias sociales definen la cultura como un elemento esencial de identidad, ahora considerado indivisible e inalienable. Esta identidad cultural es heredada de los antepasados y representa una obligación para la sociedad actual: conservarlo, preservarlo y transmitirlo a las generaciones futuras (Taller, 2014).

Por lo tanto al concebir las edificaciones históricas como parte del reflejo cultural de la sociedad y la necesidad de transmitirlo a generaciones futuras, donde se conceptualiza la conservación del patrimonio histórico, que se refiere al conjunto de acciones destinadas a preservar un bien cultural o arquitectónico en su estado original, se implicara la prevención de daños, el mantenimiento de la autenticidad e integridad; así como la gestión sostenible para garantizar su existencia a lo largo del tiempo.

Para ello se plantean acciones mediante la restauración, que comprende el conjunto de operaciones destinadas a conservar un bien cultural, así como a

mantener un sitio, monumento histórico o artístico en servicio, de acuerdo con sus características históricas, constructivas y estéticas. Esta práctica se basa en el respeto por los materiales antiguos y la fidelidad a los testimonios de los documentos auténticos. Implica una intervención física y meticulosa, con el propósito de restituirlo; esta acción no sólo abarca la reparación de daños, sino también la reconstrucción de elementos y la recuperación de la autenticidad original (Balandrano, 2024; Domínguez Palomares, 2018).

De la misma manera existe otro concepto distinto que tiene como propósito la rehabilitación, el cual propone la adaptación y reutilización de un bien arquitectónico o cultural para nuevos usos, sin perder su valor histórico. Este proceso busca actualizar las instalaciones y funciones del bien, para conseguir al mismo tiempo la preservación de sus características originales y su integración con las actividades humanas contemporáneas (Domínguez Palomares, 2018; Korro et al., 2023).

3.1.2. Principios de conservación para la edificación histórica

Abonando al interés por conservar los monumentos histórico-culturales, se han identificado algunas publicaciones las cuales pretenden unificar las acciones sobre estos inmuebles, mediante recomendaciones a manera de principios y prácticas fundamentales para su conservación y gestión adecuada.

De manera generalizada se puede identificar el principio para la conservación y restauración del patrimonio construido; en él se afirma que la conservación del patrimonio cultural debe ser una parte integral de los procesos de planificación y gestión de una comunidad, pudiendo contribuir al desarrollo sostenible; insiste en el mantenimiento y la reparación como parte del proceso de conservación; y se aboga por la realización de proyectos para conservación, que deberían basarse en opciones técnicas apropiadas (Korro et al., 2023; Pinto Carrizo, 2017).

Posiblemente de ello derive el principio de la conservación sustentable, entendiendo que la sustentabilidad comprende ámbitos económicos, sociales y ambientales. Se plantea que no hay mejor edificación conservada que aquella que está en uso y que por estarlo produce utilidades; el monumento se encuentra

inserto en un contexto físico, socioeconómico e histórico donde cumple una función. Su existencia supone la conservación y utilidad de sus materiales evitando afectar el entorno (Díaz Ayuso, 2022).

De tal manera que para llevar a cabo una planificación que resulte sustentable y adecuada, se considera necesario cumplir con el principio de documentación, el cual se basa en la creación de archivos documentales de monumentos, conjuntos arquitectónicos, sitios históricos y artísticos (ICOMOS, 1996). Con la finalidad de que estos archivos se encuentren presentes en una recopilación internacional donde se proclama que la información de un bien es un legado imprescindible, y coincide con la necesidad e importancia de conservarlo: documentar antes, durante y después de toda campaña de reparación, de modificación o de cualquier otra intervención sobre un elemento del patrimonio histórico-cultural para cuando los vestigios de su historia salgan a la luz, exista evidencia de tales trabajos (Korro et al., 2023; Pinto Carrizo, 2017).

Para cumplir con tal objetivo del catálogo documental, se ha planteado en la Comisión Europea en el año 2019, la declaración del principio de cooperación para la digitalización del patrimonio histórico-cultural. Donde se asume con gran interés la documentación 3D de estos inmuebles como base y motor para sus procesos de gestión (Korro et al., 2023; Pinto Carrizo, 2017).

Ahora bien, entrando en las intervenciones, se plantea la recomendación de primero preservar que restaurar, donde se enfatiza en la importancia de realizar intervenciones preventivas de preservación, antes de que sean necesarias intervenciones mayores como la restauración. Y con ello respetar la historicidad del inmueble y sus etapas constructivas, así como el respeto a la pátina y la no falsificación en el proceso de completar elementos perdidos (Domínguez Palomares, 2018).

De tal manera que de llegar a ser necesarias intervenciones mayores que necesiten de procesos restauradores es importante considerar el principio de reversibilidad, donde se describe como una cualidad esperada en toda intervención relacionada con la conservación y consiste en seleccionar aquéllas técnicas, instrumentos y materiales que permitan la fácil anulación de sus efectos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

para recuperar el estado original del bien histórico-cultural, de tal manera que posteriormente sea factible recuperar el estado y apariencia previo a la intervención en el supuesto caso de que nuevas aportaciones de datos, enfoques o criterios, a esta intervención; se juzgue inútil, inadecuada o nociva (Dominguez Palomares, 2018).

3.2. Marco legal

Se sabe que, en el siglo XIX el gobierno mexicano reconoció la importancia del patrimonio edificado y buscó protegerlo para preservar la identidad cultural y transmitirlo a las generaciones futuras. La protección de monumentos históricos se destacó más claramente en el siglo XX, cuando en 1914, durante el gobierno de Victoriano Huerta, se promulgó la Ley de Conservación de Monumentos Históricos, Artísticos y Bellezas Naturales. Esta ley instruyó a la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes a proteger los inmuebles con características patrimoniales, promoviendo la preservación sin alteraciones y la realización de un inventario para clasificar legalmente los bienes como monumentos históricos o artísticos (Balandrano, 2024).

Desde entonces, en México la conservación de los bienes patrimoniales ha experimentado cambios legislativos, y fue hasta el 3 de febrero de 1939 cuando se creó el INAH por decreto del presidente Lázaro Cárdenas (Amador Tello, 2024). Delimitando las atribuciones del INAH, organismo que ahora se encarga de realizar labores de investigación, conservación, restauración y difusión sobre los bienes antropológicos, históricos y arqueológicos.

De tal manera que, en México se han establecido leyes y organismos específicos destinados a salvaguardar el derecho de las edificaciones históricas a ser protegidas. Esto se logra a través de distintos niveles de organización gubernamental. A nivel local según sea el caso, se encuentran las normativas de protección y planificación municipal, seguidas de las leyes de protección a nivel estatal; para finalmente y con mayor jerarquía se encuentran las leyes a nivel federal, que respaldan la preservación del patrimonio histórico edificado.

3.2.1. Ley Federal

En la Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, se establece en su Art. 1º y 2º, que el objeto de esta ley es de interés y utilidad social y nacional cuyas disposiciones son de orden público (CDHCU, 2018). Considerando por ley como monumentos históricos según el Art. 36, aquellos construidos en los siglos XVI al XIX, destinados a templos y sus anexos; arzobispados, obispados y casas curales; seminarios, conventos o cualesquiera otros dedicados a la administración, divulgación, enseñanza o práctica de un culto religioso; así como a la educación y a la enseñanza, a fines asistenciales o benéficos; al servicio y ornato públicos y al uso de las autoridades civiles y militares. Inclusive los muebles que se encuentren o se hayan encontrado en dichos inmuebles y las obras civiles relevantes de carácter privado realizadas en dicho periodo (CDHCU, 2018).

De tal manera que al considerar estos bienes históricos de interés público y social se establece en el Art. 7º, que las autoridades competentes de las entidades federativas y municipales, cuando decidan restaurar o intervenir estos inmuebles, lo harán siempre con previo permiso y bajo la dirección del INAH (CDHCU, 2018).

3.2.2. Ley del estado de Jalisco

En cuanto a la Ley de Patrimonio Cultural del Estado de Jalisco y sus Municipios, en ella se ratifica como autoridad suprema las disposiciones federales en esta materia. Para posteriormente complementar mediante algunos artículos; como el Art. 8, donde se establecen clasificaciones para los bienes del patrimonio histórico-cultural según sus características: 1) Monumentos de competencia Federal: para aquellos señalados en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas; 2) Zonas de protección como: centros históricos, que delimitan las áreas de los espacios urbanos donde se originaron originalmente los centros de población (Congreso de Jalisco, 2014).

Posteriormente delega algunas actividades de planificación en el Art. 54, los Ayuntamientos expedirán sus reglamentos en materia de anuncios y publicidad, así como de centros históricos, en los cuales se regularán las medidas que eviten alterar las características de los bienes inmuebles y zonas de protección integrantes del Patrimonio Cultural del Estado (Congreso de Jalisco, 2014).

3.2.3. Reglamento municipal de Villa de Purificación

En los reglamentos municipales se hace referencia a las publicaciones que permiten identificar sus planes para el desarrollo municipal y conservación del patrimonio histórico-cultural. En el Art. 1, se expresa como objetivo la aplicación de los ordenamientos urbanos expresados en el Programa Municipal de Desarrollo Urbano, los Planes Parciales de Desarrollo Urbano y los Planes Parciales de Urbanización, así como la preservación del Centro Histórico y en general de la imagen urbana (Villa Purificación, 2016). De estas publicaciones se rescatan las siguientes consideraciones:

XII. ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL URBANO: son las áreas zonificadas de los Planes de Desarrollo Urbano Municipales, que contienen dentro de sus perímetros bienes o valores del patrimonio cultural urbano. Estos bienes tangibles o no, pueden ser de valor arqueológico, histórico, artístico y/o fisonómico (Villa Purificación, 2016).

II.7. II.4.2.2. Aspectos Ambientales

La localidad es de carácter rural, es una ciudad limpia y ordenada, donde el tipo de arquitectura es sobrio. Se tienen dos edificios con valor histórico, que son el Templo y la Casa del Reloj (Villa Purificación, 1996).

II.9. II.5. Medio Físico Transformado

II.9.1. II.5.1. Estructura Urbana y Tenencia del Suelo

D. II.5.1.4. Zonas de Valor Patrimonial, Histórico y Fisonómico La zona de valor patrimonial la integra el primer cuadro de la Zona del Centro, en un perímetro de 2 manzanas alrededor del jardín principal (Villa Purificación, 1996).

3.3. Humedades en el patrimonio edificado y sus manifestaciones

En el contexto de las edificaciones histórico-patrimoniales, se considera a las humedades como una problemática de importancia, pues se relaciona con el síndrome del edificio enfermo. Esto debido a que las humedades pueden llegar a alterar la sensación del confort, cambiando las condiciones ambientales al interior de las edificaciones, propiciando el desarrollo de hongos, ácaros y polvo; afectando la salud de los usuarios (Casas, 2018).

Es necesario comprender que la presencia de agua en forma de humedades en algunos casos no es suficiente para desarrollar patologías significativas; no obstante el agua cuenta con algunas capacidades físico-químicas mediante las cuales su capacidad degenerativa se ve potenciada; algunas de ellas son de interés para el desarrollo de esta investigación, por ejemplo: el agua tiene la capacidad de disolver y transportar minerales, que le permite generar erosión al momento que disuelve gradual y progresivamente los materiales; al transportar algunos de estos minerales, sales o sulfatos genera manchas, costras, depósitos y/o desarrolla eflorescencias. Esta última patología denominada eflorescencias es un agente altamente degenerativo por la formación violenta de cristales microscópicos desde la red porosa de los materiales (López et al., 2018). Para comprenderlo de mejor manera se recurre a describir tanto los orígenes de las humedades, sus mecanismos de invasión, las múltiples manifestaciones; así como los orígenes de estos minerales que pueden desarrollar eflorescencias.

3.3.1. Origen de las humedades y mecanismos de invasión

Se conoce como humedad, cuando existe la presencia de agua de manera incontrolada y su porcentaje es superior al deseado en un material o elemento constructivo. Esta presencia puede ser en la superficie, en la red porosa interna o como un flujo, lo cual supone alteraciones en el comportamiento de las propiedades físicas de los materiales (Casas, 2018).

En cuanto a las edificaciones, se pueden identificar diversos mecanismos mediante los cuales el agua hace presencia o invade a sus materiales. Estos mecanismos incluyen: la absorción capilar de agua desde superficies horizontales; a causa de cambios en el estado físico del agua por diferencias de temperatura; la infiltración a través de grietas o desperfectos; la filtración en materiales porosos expuestos; así como condiciones accidentales o relacionadas con el uso humano (Alkhateeb, 2011).

- **Humedad capilar:** Se entiende como el flujo vertical de agua a través de elementos permeables, ascendiendo desde el manto freático o cualquier otra superficie horizontal con agua estancada (Ilustración 14). Este mecanismo suele transportar sustancias solubles que causan manchas y acumulación de sales. El fenómeno se relaciona con la capilaridad, donde los materiales con características porosas actúan como esponjas. En general este tipo de humedad se aprecia en niveles bajos de las edificaciones. Para desarrollarse, requiere la presencia de agua acumulada, continuidad capilar en los materiales y un ambiente de menor humedad donde transpirar (Casas, 2018; Ribeiro et al., 2018).

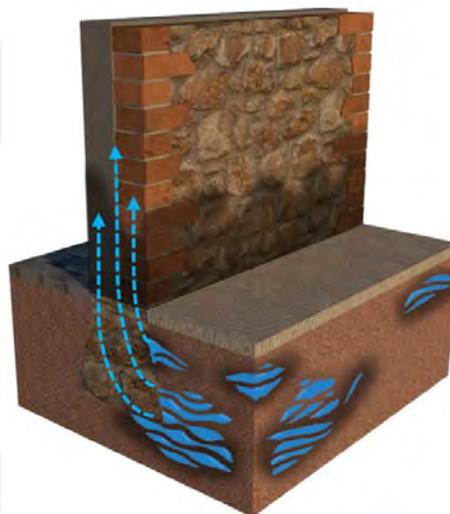


Ilustración 14 Humedad capilar asciende desde el subsuelo. Elaboración propia.

- Humedad por condensación: Se basa en uno de los cambios físicos de la materia, en este caso el agua se condensa al pasar de gaseoso a líquido al perder temperatura (Ilustración 16). En las edificaciones, este tipo de humedad efimera se produce en climas con grandes diferencias de temperatura entre el exterior e interior; los fríos elementos constructivos condensan la humedad ambiental que suele ser mayor en el interior del edificio. La condensación puede generar acumulación superficial de agua, especialmente en muros de bajo aislamiento térmico (Balksten & Strandberg, 2021; Casas, 2018).

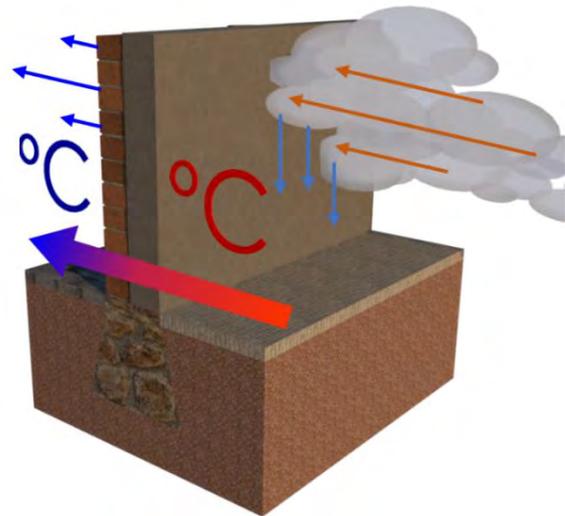


Ilustración 16 Humedad de condensación, causada por intercambios de temperatura. Elaboración propia.

- Humedad de infiltración: En este mecanismo de invasión, el agua ingresa a los elementos constructivos mediante grietas, huecos, juntas defectuosas o cualquier otro tipo de abertura en las edificaciones (Ilustración 15). Este tipo de humedades se caracterizan por presentarse en regiones aisladas, ubicadas en las proximidades o en la proyección de estos desperfectos.

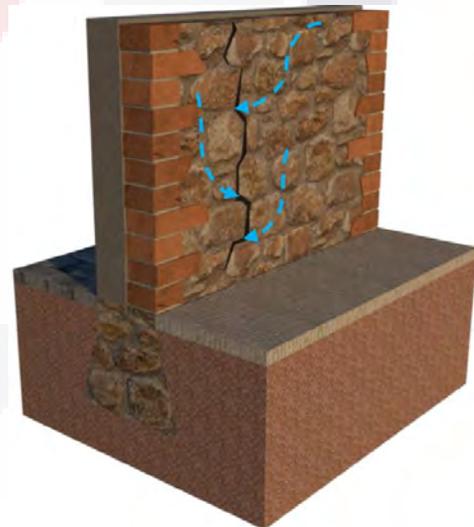


Ilustración 15 Humedad de filtración, a través de lesiones. Elaboración propia.

Para este caso el origen del agua puede ser diverso, desde el manto freático, accidental o del ambiente, aquí sólo se realiza el impacto que tienen estos desperfectos para conducir el agua, acumularla y llevarla al interior de los materiales (Berenguel P., 2014; Casas, 2018).

- Humedad por filtración: Sucede principalmente por el agua de origen meteorológico, que se produce cuando el agua de lluvia penetra en la edificación a través de materiales porosos expuestos, sea en la cubierta o en fachadas (Ilustración 17). Es una causa común de humedad vinculada a errores en el diseño (deficiencia en drenes pluviales), ejecución (deficiencias de impermeabilización) o falta de mantenimiento. La

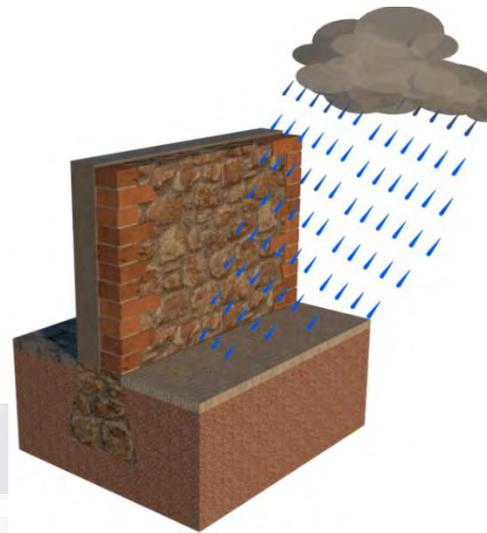


Ilustración 17 Humedad por filtración, proviene de eventos meteorológicos. Elaboración propia.

localización de la infiltración y su causa a menudo son complicadas debido a manifestaciones engañosas en diferentes lugares. Un drenado eficiente del agua pluvial y el uso de materiales adecuados, son importantes para prevenir este tipo de humedad (Casas, 2018; Gómez et al., 2016).

- Humedad accidental: Se origina por fugas en los sistemas de redes hidro-sanitarias, a causa de roturas en dichas instalaciones. La humedad se caracteriza por presentarse en sitios puntuales de humedad en forma de manchas en las proximidades (Ilustración 18). Este problema suele ser focalizado y constante, derivado de errores en la ejecución o diseño, falta de mantenimiento, sobreuso, o deterioro. Estos problemas pueden tener una solución simple como la reparación, cambio o cancelación de instalaciones ocultas que en la actualidad pueden no cumplir sus funciones originales (Alkhateeb, 2011; Casas, 2018).



Ilustración 18 Humedad accidental, proviene de instalaciones dañadas. Elaboración propia.

- Humedad por uso: Esto tiene relación con las funciones originales para las cuales se construyeron algunas edificaciones históricas, tales como cisternas de almacenamiento de agua, baños públicos, acueductos entre otros (Ilustración 19); que por su diseño para favorecer el almacenamiento o conducción de agua, se ven afectados de manera



Ilustración 19 Humedad de uso, acorde a la utilización proyectada de origen. Elaboración propia.

generalizada por la humedad. Estos llegan a ser casos especiales donde algunos inmuebles siguen cumpliendo sus funciones y es difícil realizar actividades correctivas sin alterar sus propiedades originales y de uso (Almac et al., 2016).

3.3.2. Manifestaciones de las humedades

El Comité Científico Internacional para la Piedra (ISCS) de ICOMOS, en su apartado para la conservación de materiales pétreos, ha presentado una simplificación de los problemas presentados en distintos estudios. Con el objetivo de unificar la terminología en los estudios sobre deterioro de materiales pétreos, con el fin de facilitar la comunicación entre científicos y conservadores, mediante un glosario proporcionado por el ISCS. Dicho glosario está basado en la utilización de términos preexistentes, siendo útil además como una herramienta para identificar el deterioro de la piedra (ICOMOS, 2008).

En este glosario se agrupan las patologías que pueden aparecer en los materiales pétreos en cinco categorías: grietas y deformaciones; desprendimiento o desconchados; inducción de fallas por pérdida de material; decoloración y depósitos; colonizaciones biológicas.

Algunas de estas patologías clasificadas por el ISCS pueden compartir un origen en común que es la presencia de agua, por lo cual en algunos casos la presencia de estas patologías se comprende como manifestaciones de humedad en el patrimonio histórico construido. Esto se puede corroborar siguiendo las observaciones de algunos autores: las diferencias de humedad y temperatura generan expansión y contracción de algunos materiales, propiciando la aparición de grietas (López et al., 2018); el agua disuelve y transporta minerales favoreciendo la erosión, aparición de manchas y desarrollo de eflorescencias; por otro lado da sustento a seres vivos invasores como plantas, hongos y microorganismos (Arriaga et al., 2017; Berenguel P., 2014; Casas, 2018; Mora Navarro & López Doncel, 2015)

- Grietas y deformaciones: Las grietas consisten en una separación visible del material que puede llegar a representar la separación de algún elemento; se considera la deformación como el cambio de forma en los elementos sin perder su integridad, algunas subcategorías en este grupo son: fracturas, estrellado, grietas finas, micro fisuras, craquelado, pandeo, expansión y contracción de materiales (Ilustración 20).



Ilustración 20 Grietas y deformaciones: (A) Grietas (B) Craquelado (C) Pandeo (ICOMOS, 2008)

- Desprendimiento o desconchados: Esta categoría abarca afectaciones donde se identifica el desprendimiento local de segmentos del material, mediante algunos comportamientos que pueden tener relación con la formación de origen geológico de los materiales, esto implica: desprendimientos en forma de láminas, conchas o disgregación, siguiendo las vetas, clastos o sedimentos de las rocas. Aquí se pueden encontrar las siguientes subcategorías: abultamientos, ampollas, desintegración superficial, lajamiento y fragmentación (Ilustración 21).

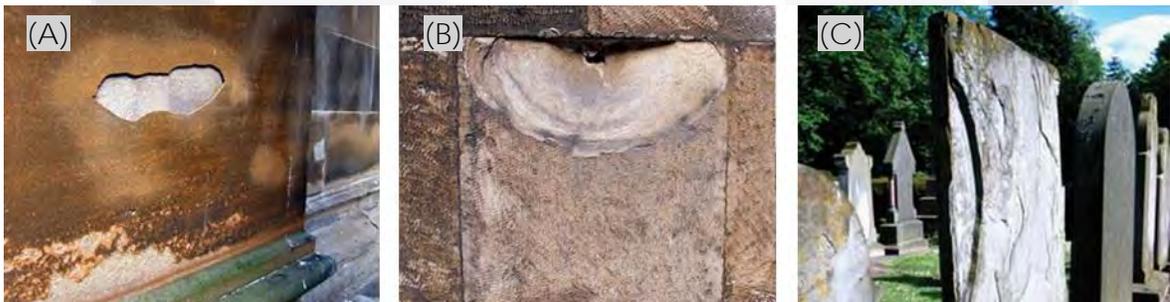


Ilustración 21 Desprendimientos: (A) Ampollas (B) Desconchado (C) Lajamiento (ICOMOS, 2008)

- Inducción de fallas por pérdida de material: se contemplan daños por la pérdida gradual y considerable de material en los elementos, esto puede tener múltiples orígenes como la meteorización o interacción física y mecánica, pero que su presencia y severidad supone el desarrollo de otras lesiones. En esta categoría se agrupan: alveolos, erosión, daños mecánicos, elementos perdidos, pinchaduras, desgaste, rayaduras, entre otras (Ilustración 22).



Ilustración 22 (A) Alveolos o cavidad, (B) segmento perdido, (C) perforaciones (ICOMOS, 2008)

- Decoloración y depósitos: se agrupan alteraciones que afectan principalmente el aspecto, mediante el depósito de materiales o la interacción del medio que produce los cambios en la coloración. Estos cambios se pueden dar mediante las siguientes subcategorías: por depósitos de material, eflorescencias, incrustaciones, decoloración, pintura, manchas y patina (Ilustración 23).



Ilustración 23 (A) Corteza negra, (B) eflorescencias, (C) pinturas (ICOMOS, 2008)

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Colonizaciones biológicas: en esta categoría se hace referencia a los organismos vivos que pueden llegar a habitar sobre los materiales pétreos, aprovechando sus cualidades porosas para albergar agua y a su vez soportar los sistemas de anclaje como las raíces u oquedades donde llegan a habitar plantas de gran tamaño o animales. Para ello se comprenden las siguientes colonizaciones mediante sus respectivas subcategorías: microorganismos, algas, líquenes, musgos, moho, plantas y guaridas (Ilustración 24).



Ilustración 24 (A) Plantas, (B) algas, (C) musgo (ICOMOS, 2008)

Cabe señalar y recordar que el origen de estas patologías no siempre es la humedad, puesto que hay otros factores que pueden desarrollarlas, quedando sujetas siempre a las observaciones de cada caso en específico. Por ejemplo: en la categoría de grietas y deformaciones, puede ser notorio que son resultado de interacciones mecánicas, como puede ser la actividad sísmica, impactos accidentales o interacción con otros materiales incrustados. La categoría de inducción de fallas supone que se originan por la pérdida de materiales, que de igual manera se desarrolla por interacciones mecánicas.

3.3.3. Aportaciones de minerales eflorescentes a las edificaciones

Dado que la metodología experimental propuesta está basada en la reproducción de eflorescencias, es necesario comprender el origen de estos minerales en el entorno. Se considera que los elementos químicos que ocasionan eflorescencia en las edificaciones pueden estar presentes incluso en los materiales naturales; otro de los orígenes de estos minerales se encuentra en los métodos constructivos y de habitar que favorecen la formación y acumulación de los minerales. Pues algunas sales a menudo se producen a partir de la combinación de materiales de construcción que en estado de reposo son inertes, pero cuando se combinan con agua en los procesos de construcción, reaccionan para formar sales solubles que con frecuencia dan lugar a importantes deterioros (Silva et al., 2003).

Por ejemplo, se ha identificado que las fuentes del sulfato magnésico dentro de los materiales de edificios históricos se pueden englobar en tres ramas (Fort González et al., 2005; Wedekind et al., 2013):

1. De origen litológico: debido al suelo subyacente o sales procedentes del origen geológico del material.
2. Fuente ambiental: por los vientos de brisa marina, gases volcánicos, inundaciones o metabolismos biológicos.
3. Carácter antrópico: por el uso de sales para descongelación, almacén de sal o uso de sales de Epsom en termas antiguas, componentes de materiales de construcción/conservación, productos de limpieza o redes de saneamiento.

Otros factores radican en las condiciones meteorológicas, por ejemplo: ambientes marinos producen una constante brisa que se transporta mediante el viento, arrojando las sales características del mar que se impactan contra los recubrimientos o superficies de las edificaciones próximas, además de estos vientos pulverizados de mar, los niveles freáticos en el suelo pueden contener altas concentraciones de sal, aproximadamente del 3%, que invade las edificaciones por capilaridad (Lubelli et al., 2004; Speri et al., 2017).

En resumen, las aportaciones de minerales y agua que contribuyen al desarrollo de humedades y eflorescencias en el patrimonio arquitectónico edificado se pueden identificar de la siguiente manera (Ilustración 25):

Origen del agente	Agua o humedad	Minerales solubles
Origen litológico		X
Cuerpos de agua	X	X
Precipitación	X	
Agente ambiental	X	X
Origen biológico	X	X
Procesos constructivos	X	X
Uso o propósito	X	X
Origen antrópico	X	X

Ilustración 25 Resumen del origen de las humedades y minerales eflorescentes. Elaboración propia.

3.4. Interpretación de la teoría referente al patrimonio y las humedades

Queda evidencia de que las leyes en México tienen la finalidad de resguardar el derecho del patrimonio histórico a ser conservado. Ratificando esto en los tres niveles de gobierno existentes en el país: Federal, Estatal y Municipal. Donde se asigna como autoridad competente al Instituto Nacional de Antropología e Historia; destacando que la conservación es de interés y utilidad social. Lo cual cumple con los principios internacionales de conservación y restauración, así como la conservación sustentable, donde se plantea que esto debe ser parte integral de los procesos de planificación y gestión de las comunidades.

Además en la publicación de estas leyes se puede ratificar el estatus del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria como una edificación histórica a través del reglamento y el plan de desarrollo municipal de Villa Purificación, al ser una edificación influenciada por la cultura europea y que se construyó antes del siglo XIX; donde además se identifica la delimitación del centro histórico, procurando con ello que el contexto urbano inmediato a esta edificación mantenga su aspecto e identidad histórica-cultural.

Así mismo se interpreta que las actividades de intervención o gestión que involucren alteraciones o actividades físicas directas sobre los bienes patrimoniales histórico y culturales deben por ley, ser efectuadas bajo la autorización y supervisión del INAH. Para que se garantice el cumplimiento de algunos principios como la reversibilidad o el respeto a la historicidad de los inmuebles. Esto no supone inconveniente alguno para el desarrollo de esta tesis, puesto que precisamente las actividades planteadas tienen la finalidad de establecer metodologías indirectas; que permitan a cualquier investigador realizar levantamientos y simulaciones experimentales vinculadas con las humedades, sin la necesidad de interactuar directamente sobre los inmuebles. Por lo cual se llega a comprender que se estará colaborando con el desarrollo de metodologías destinadas para la colaboración en la documentación, en la cooperación para la digitalización 3D y en la planificación sustentable, reforzando con ello los planteamientos establecidos en la justificación.

Para una mejor comprensión de la teoría referente a las humedades en el patrimonio edificado, se ha creado un mapa mental que resume el proceso (Ilustración 26). Dado que las humedades son la principal causa de afectación en el patrimonio edificado, resulta crucial entender cómo se manifiestan a través de diversas patologías. Para ello, es necesario que la gestión del patrimonio edificado se base en las reglamentaciones correspondientes, lo cual requiere comprender conceptos clave como las características de las edificaciones, su contexto y los materiales involucrados en sus sistemas constructivos. Estos conocimientos contribuyen a realizar un diagnóstico preciso de las humedades, identificar su origen y describir sus manifestaciones. Para lo cual, se puede realizar un seguimiento superficial o de profundidad, donde se involucran algunas técnicas de representación y equipos especializadas para identificar la humedad y/o la presencia de minerales solubles.

Mapa mental para el estudio de las humedades

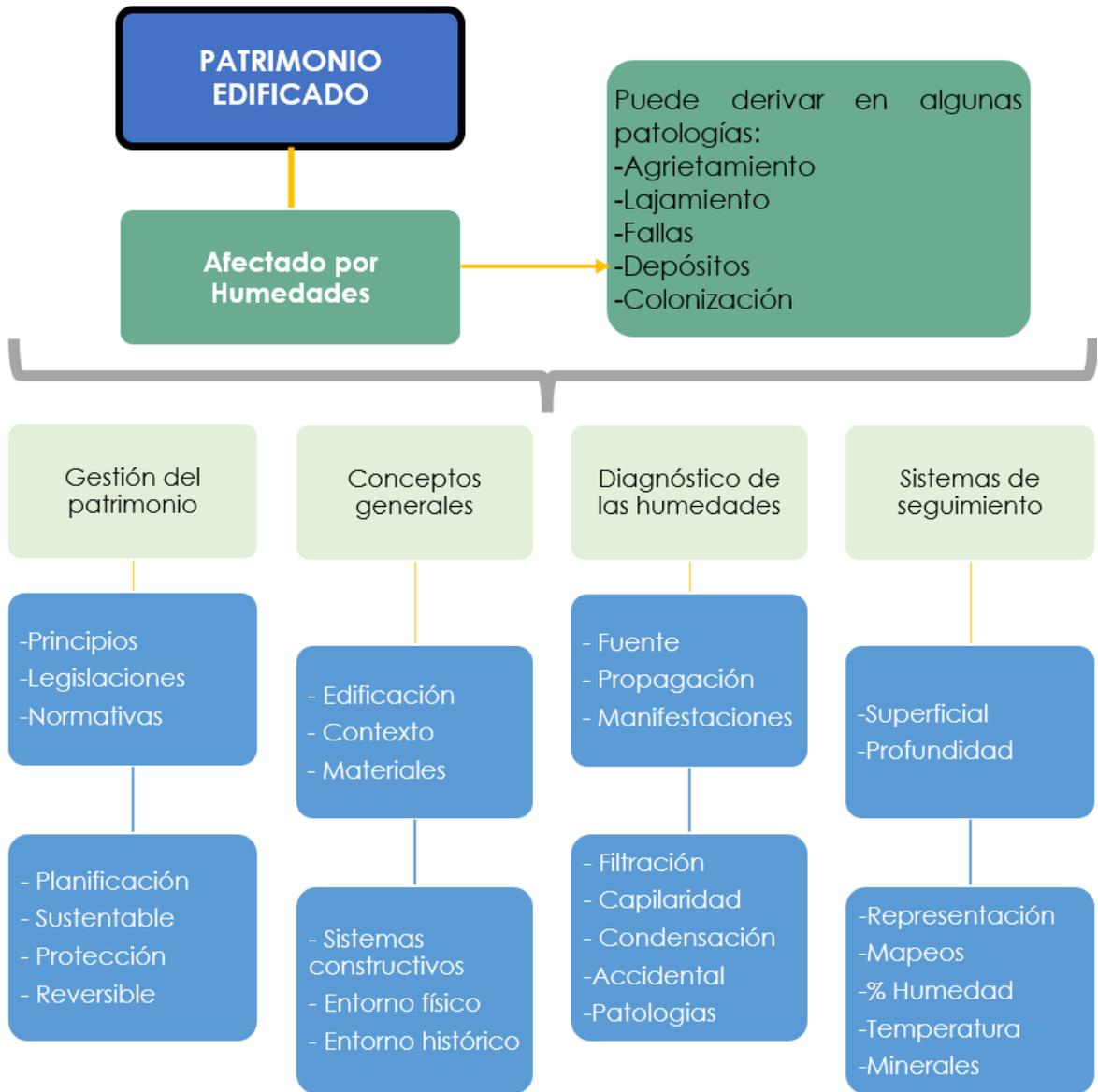


Ilustración 26 Mapa mental para el estudio de las humedades en el patrimonio edificado. Elaboración propia.

4. EL TEMPLO DE LA CANDELARIA EN VILLA DE PURIFICACIÓN

Se considera pertinente contextualizar la situación que llevó a seleccionar esta edificación como tema de interés. Por un lado, algunas actualizaciones gubernamentales establecieron como prioridad aquellos proyectos de investigación que atiendan problemáticas regionales o que promuevan la innovación con beneficios aplicables a la misma; además se identificaron carencias documentales respecto a esta edificación histórica, tanto en el INAH como en el Archivo Histórico de Jalisco (ver ANEXO C, p174).

Para atender estas pautas, se ha delimitado el tema en torno a la comunidad de Villa Purificación, Jalisco; comunidad que fue uno de los primeros asentamientos durante el periodo de expansión del imperio español o época Colonial de México. En este lugar se encuentra uno de los templos más antiguos del estado, el cual por presentar una escasa documentación planteando una oportunidad para aplicar técnicas y conocimientos especializados con el fin de contribuir a la caracterización de este edificio histórico.

4.1. Contexto del templo Nuestra Señora de la Candelaria.

Con el fin de contextualizar la situación actual del templo, se realiza una investigación bibliográfica en sitios de interés pertenecientes a la comunidad, tales como: 1) El H. Ayuntamiento; 2) la notaría parroquial; 3) y la biblioteca municipal (Ilustración 27). De igual manera se consultaron fuentes bibliográficas en línea, entre las cuales se encuentran: 1) El portal oficial del gobierno de Jalisco; 2) el catálogo de inmuebles del INAH; 3) repositorio bibliográfico del INAH; entre otras fuentes.



Ilustración 27 Rescatando fuentes bibliográficas locales, mapa obtenido de (Google, 2023).

4.1.1. Situación geográfica del municipio de Villa purificación

La Villa de la Purificación también conocido como Villa Purificación; es un pueblo y municipio de la región costa sur, que pertenece al estado de Jalisco, México. Su ubicación georreferenciada corresponde a las coordenadas: Latitud: 19° 34' N; Longitud: 104° 23' O y una Altitud: 458 msnm (Jalisco, 2023).

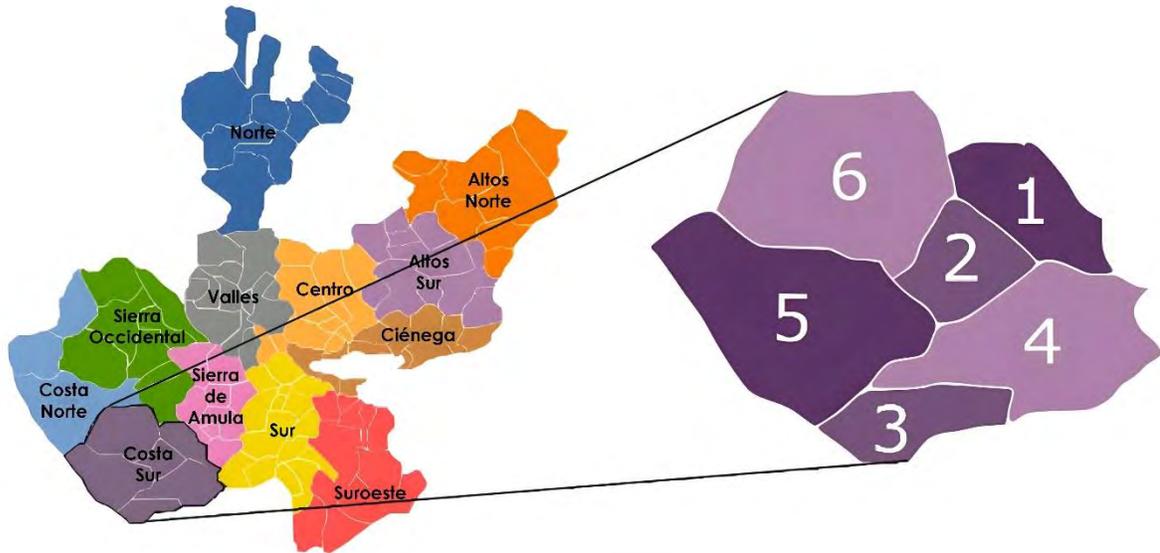


Ilustración 28 Regiones administrativas del estado de Jalisco. Se resalta la región Costa Sur, que comprende los municipios de Autlán de Navarro (1), Casimiro Castillo (2), Cihuatlán (3), Cuautitlán de García Barragán (4), La Huerta (5), y Villa Purificación (6) (Torales & Lazos, 2016)



Ilustración 29 Vista aérea desde el centro histórico de Villa Purificación en 2010 (Jalisco, 2023)

El municipio cuenta con una extensión total de 1,789 km², se encuentra asentado en las formaciones de la Sierra de Cacoma; su orografía está conformada por: cerca del 58% de su superficie por terrenos montañosos con pendientes superiores a los 15°, un 22. % corresponde a lomeríos con pendientes suaves entre los 5 y 15°, quedando solo el 20% en la clasificación como terrenos planos (IIEG, 2023).

En cuanto al clima del municipio de Villa Purificación, se registra que la mayor parte (93%) tiene clima cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 24.1°C, con máximas y mínimas promedio de 35.0 °C y 13.7 °C respectivamente. La precipitación media anual es de 1,282 mm³ (IIEG, 2023).

En este territorio se distinguen claramente dos estaciones: la temporada seca, que abarca los meses de noviembre a mayo, y la temporada lluviosa, que va de junio a octubre (Ilustración 30). Esta variación estacional provoca cambios significativos en el paisaje: durante la estación seca, predomina un escenario con tonos marrones, ya que la falta de hojas y follaje deja al descubierto troncos, ramas y suelo; en contraste, los primeros días de la temporada lluviosa transforman el paisaje, generando un exuberante y denso follaje que se extiende desde el suelo hasta las copas de los árboles, revistiendo los cerros y desbordando los cauces (Torales & Lazos, 2016).

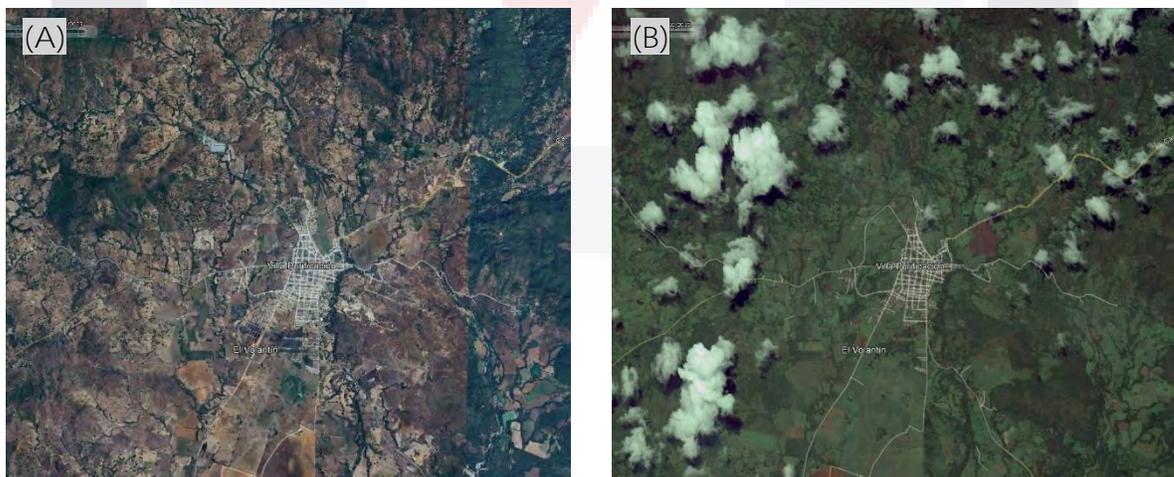


Ilustración 30 Vista satelital de Villa Purificación: (A) Estación seca en mayo de 2023. (B) Estación lluviosa en octubre de 2015. Obtenido de (Google, 2023).

4.1.3. Reseña histórica del municipio

En tiempos precolombinos esta zona pertenecía a una pequeña provincia formada por los poblados de Tenzitlán, Xirosto, Pampochín, Amborí, Cuxmalán, Carrión, La Silla y Melahuacán como cabecera. Se estima que en la zona sus pobladores utilizaban distintas lenguas y procedían de Saulan o Sayula, la distribución de las lenguas se describe en la Ilustración 32 (IIEG, 2023; Jalisco, 2023).



Ilustración 32 El valle de Melahuacán y sus lenguas nativas. Mapa adaptado desde (Regalado Pinedo, 2008).

La conquista de esta zona fue realizada en 1525 por Francisco Cortés de San Buenaventura. Con el objetivo de aprovechar las extensas planicies de suelos fértiles rodeados por ríos y un clima prospero para la agricultura; un sitio ideal para establecer graneros, y así proporcionar los alimentos para las campañas del imperio español (IIEG, 2023; Regalado, 2008).

Posteriormente, Nuño Beltrán de Guzmán ordenó anexar estas tierras a la Nueva Galicia y envió a Juan Fernández de Híjar a fundar la Villa de la Purificación en 1533. Dicha fundación dio origen al asentamiento que hoy se conoce con el mismo nombre, incluyendo la construcción de la primer capilla en la Nueva Galicia, en lo que hoy corresponde al estado de Jalisco (Jalisco, 2023; Regalado, 2008).

En 1825, la Villa de la Purificación contaba con ayuntamiento e incluía varias comisarias. En 1871 se constituyó como el primer municipio junto con la comisaría de Pueblo Nuevo, pero esta decisión fue revocada en 1883 y se subdividió en comisarias política y judicial. Finalmente, en 1888 recuperó su condición de municipio (Jalisco, 2023).

4.1.4. Contexto urbano y arquitectónico del centro histórico

Originalmente el centro de actividades para esta comunidad fue planificado a mediados del siglo XVI, siguiendo en parte las ordenanzas de Carlos V para la fundación de villas. La idea original describía cinco avenidas principales que conducían a la plaza central (Ilustración 33), los palacios administrativos, la casa real y el templo, todos ellos ubicados en solares aislados; siendo la plaza el lugar donde convergen las avenidas y se distribuyen los peatones para agilizar los trámites, actividades festivas y de culto (Regalado, 2008).

En las cartas recopiladas por Aristarco Regalado, se describe específicamente que el templo debe estar ubicado en un solar aislado, evitando que las personas que acuden al centro interfieran al momento de realizar las celebraciones litúrgicas; además debe estar construido sobre un basamento que permita elevar su desplante, evitando que las lluvias inunden sus interiores y a su vez realzando la jerarquía del templo (Regalado, 2008).

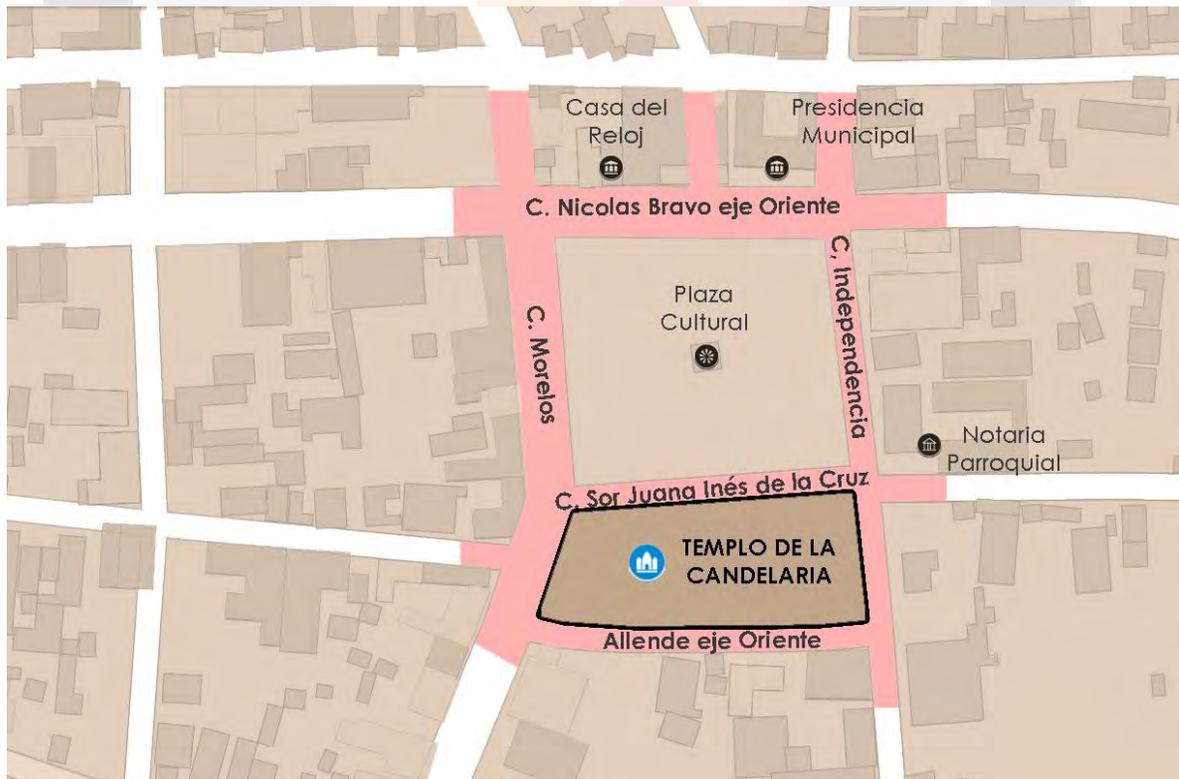


Ilustración 33 Trazo original del centro de Villa Purificación, indicado en rojo (Regalado Pinedo, 2008), mapa obtenido de (Google, 2023).

Actualmente en las inmediaciones al templo se pueden encontrar edificaciones vernáculas que conservan sus fachadas con aspecto colonial, así como la Casa del Reloj que también es considerada una edificación histórica (Villa Purificación, 2016). No obstante, también se encuentran edificaciones que alteran el orden arquitectónico, sea mediante publicidad contrastante con el entorno, como también construcciones contemporáneas que incorporan elementos arquitectónicos de distintas corrientes y temporalidades (Villa Purificación, 1996).



Ilustración 35 Fachadas por la calle Nicolas Bravo: La Casa del Reloj y el Auditorio Municipal. Obtención propia.



Ilustración 36 Fachadas por la calle Independencia: vivienda particular y la Notaria Parroquial. Obtención propia.



Ilustración 37 Fachadas por la calle Allende Oriente, el Hotel Rul y un edificio particular. Obtención propia.



Ilustración 38 Fachadas por la calle Morelos, viviendas particulares. Obtención propia.



Ilustración 39 Plaza cultural de la comunidad, vista desde la calle Sor Juana I.C. Obtención propia.

4.1.5. Contexto cultural y festivo

En Villa Purificación, la fe católica es parte de la identidad y la vida comunitaria. El templo parroquial dedicado a Nuestra Señora de la Candelaria es el centro espiritual de la localidad, donde los fieles se congregan para celebrar su devoción y participar en diversas ceremonias religiosas a lo largo del año, donde el templo es escenario para bodas, bautizos, confirmaciones, entre otras fiestas locales.

La festividad patronal en honor a Nuestra Señora de la Candelaria (Ilustración 40) es el evento más destacado del calendario litúrgico y cultural de la comunidad. Durante nueve días, del 24 de enero al 2 de febrero, se llevan a cabo una serie de misas solemnes y actividades festivas que unen a los habitantes en torno a su fe y tradiciones compartidas. Donde se mezclan la espiritualidad, la música, la danza y la gastronomía.



Ilustración 40 Representación de la Virgen de la Candelaria (Berumen, 2024)

En la comunidad de Villa Purificación, también se celebra la Feria de la Piña (Ilustración 41), que tiene lugar del 31 de marzo al 9 de abril. Durante esta festividad, se llevan a cabo diversos eventos, incluidas corridas de toros; la degustación de la gastronomía local, que incluye platillos representativos como los chacales de río, langostinos, birria, pozole, tamales, menudo y mole; dulces elaborados con leche, así como bebidas alcohólicas derivadas del agave, como el tequila y la raicilla.



Ilustración 41 Publicidad para la feria de la piña (Berumen, 2024)

4.1.6. Contexto histórico del Templo Nuestra Señora de la Candelaria

Las menciones históricas dedicadas a la edificación del templo son algo escasas, por lo cual supone cierta complejidad identificar el origen de sus materiales o sistemas constructivos. De los archivos consultados se pueden rescatar algunos acontecimientos y rumores respecto a esta edificación histórica.

Según algunas reseñas históricas, la Villa de la Purificación era el centro administrativo parroquial de las provincias aledañas como: La Huerta, San Miguel, Jirotto y Jocotlan (Regalado, 2013); razón por la cual fue uno de los primeros templos en construirse por estas regiones, se estima que su edificación inicio a finales del siglo XVI, posiblemente en el año 1592 (iglesiasymisas, 2022; INAH, 2022; Regalado, 2008).

Los registros del Archivo Histórico del Arzobispado, revelan algunas cartas que datan del siglo XVII: donde, para el año 1615 se solicitaba el traslado de personal y donativos desde la Catedral de Guadalajara con el propósito de continuar las fábricas del templo parroquial de la villa (se interpreta como fabricas a los procesos constructivos, mas no se especifica cuál); siendo las últimas menciones para las fábricas del templo en cartas del año 1659, dirigidas a deudores vecinos de la villa (Regalado, 2013).

Por último, como dato curioso existe una anécdota que comparten algunos pobladores sobre el sistema constructivo de la cubierta del templo, que consiste en algún tipo de sistema de bóveda aligerada conformada por jarrones de barro y una capa superficial impermeable de losetas cerámicas (localmente se conocen como tecatas, es un material similar al ladrillo rojo cocido, pero en formatos cuadrangulares de menor espesor) asentadas con mortero (Uribe García, 2021).

En cuanto a las fichas del INAH, actualmente se encuentran parcialmente vacías, en donde se describen sus elementos principales sin profundizar al respecto, de igual manera no cuenta con representaciones gráficas del inmueble (ver ANEXO C, p174).

4.2. Caracterización de materiales y petrografía

Dada la poca información histórica se optó por iniciar la caracterización de sus materiales; para ello se analizan las propiedades físicas y mineralógicas de algunos fragmentos de piedras desprendidas del templo, que se rescataron de una de las jardineras adosadas al mismo y que visualmente presentan un color, oxidación (las piedras presentan una fina capa superficial de un tono naranja) y texturas similares a las del inmueble (Ilustración 42). De entre las muestras rescatadas se identificaron tres tipos de rocas distintas. Para complementar se incluyeron dos piezas de ladrillo rojo horneado, elaborado actualmente en la región, suponiendo que: por la similitud de sus materiales y fabricación, pudieran ayudar a la investigación posteriormente.



Ilustración 42 Rocas rescatadas, en las inmediaciones al templo. Elaboración propia.

4.2.1. Características físicas

Los estudios físicos se llevaron a cabo en el laboratorio del Instituto de Geología, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Donde se labraron las muestras con sierra de banco para darles formas de prismas cuadrangulares y se asignaron los siguientes nombres: Piedra naranja (PC-1 y PC-2), Granito negro (PC-3 y PC-4), Granito gris (PC-5 y PC-6), Ladrillos (LD-7 y LD-8). Las actividades comprenden: el registro del peso seco, el peso de saturación al vacío y el peso sumergido; para calcular la porosidad, absorción, densidad de matriz y densidad aparente (López et al., 2018) (Tabla 1, Tabla 2).

Tabla 1 Fórmulas para calcular propiedades físicas (UDELAP, 2023).

Peso seco: DW	Peso sumergido: SW	Peso saturado superficialmente seco: SSDW	
Densidad aparente: AD	Densidad matriz: MD	Absorción: ABS	Porosidad: P
Densidad aparente:	$AD = \frac{DW}{SSDW - SW}$		
Densidad Matriz:	$MD = \frac{DW - SW}{SSDW - DW}$		
Absorción:	$ABS = \frac{DW}{SSDW - DW}$		
Porosidad:	$P = \frac{SSDW - DW}{SSDW - SW}$		

Tabla 2 Propiedades físicas de los materiales. Elaboración propia

MUESTRA	Peso (gramos)			Densidad aparente	Densidad matriz	Absorción	Porosidad
	seco	saturado	sumergido 19° C	Cm ³	Cm ³	%	%
PC-1	68.21	71.51	45.19	2.588	2.963	4.84%	12.54%
PC-2	37.29	39.49	25.21	2.608	3.087	5.90%	15.41%
PC-3	42.61	43.31	26.37	2.512	2.624	1.64%	4.13%
PC-4	51.19	53.76	34.19	2.612	3.152	5.02%	13.13%
PC-5	321.94	323.95	199.48	2.583	2.629	0.62%	1.61%
PC-6	402.53	406.04	259.14	2.737	2.807	0.87%	2.39%
LD-7	372.96	461.37	234.58	1.645	2.695	23.70%	38.98%
LD-8	385.44	485.71	237.54	1.553	2.606	26.01%	40.40%

4.2.2. Coeficiente de absorción capilar

Como parte de la caracterización física de los materiales se realizaron pruebas de absorción capilar de las muestras siguiendo la norma UNE-EN 1925:1999 denominada: Métodos de ensayo para piedra natural: determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad (UNE, 1999). De esta norma se rescata la siguiente metodología.

Para iniciar el ensayo es necesario conocer la superficie de la cara inferior de las muestras en estudio, y establecer el peso inicial de la muestra como tara (la báscula registra cero cargando la muestra seca). Posteriormente se registran los cambios en la masa producto de la absorción de agua por efecto capilar, para ello: se sujeta la muestra mediante una cadena que cuelga del gancho de la báscula, permitiendo que las piezas se mantengan suspendidas y el agua solo tenga contacto con la cara inferior de las muestras formando un menisco capilar por donde se absorbe el agua (Ilustración 43). Estos cambios de masa se registran en periodos de tiempo cuyo valor tenga un cuadrado simple o mínimos cuadrados, por ejemplo 0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 y 64 minutos.

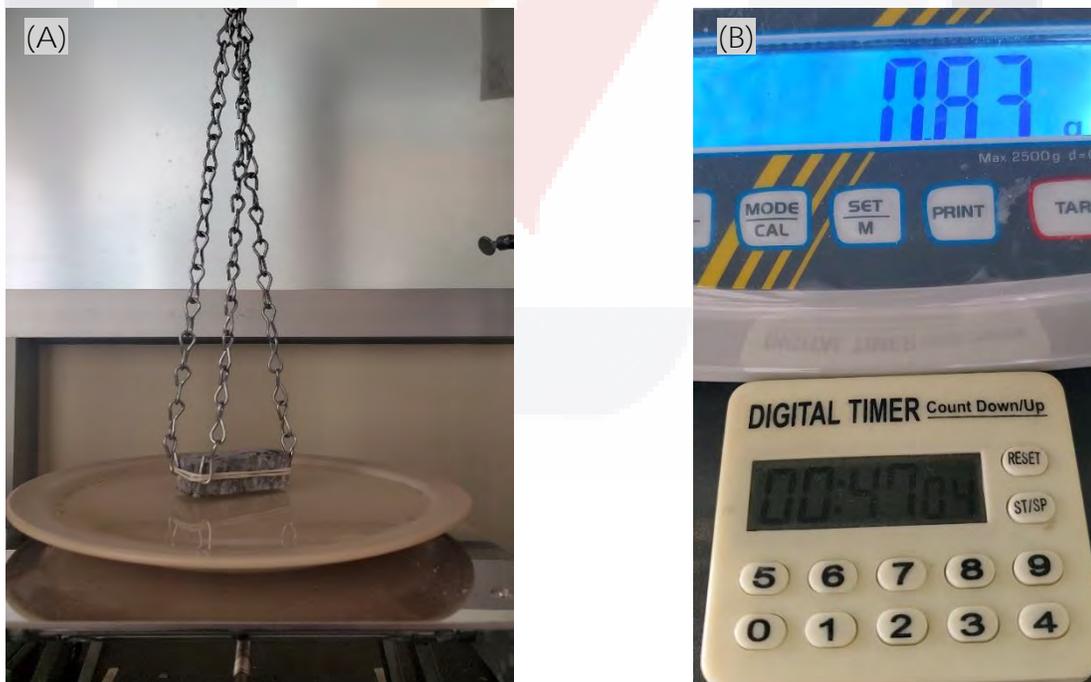


Ilustración 43 (A) Muestra suspendida desde báscula, dispuesta para absorción capilar. (B) Báscula y cronómetro para registrar los valores. Elaboración propia.

Tabla 3 Registro de absorción capilar, medido en gramos/minutos. Elaboración propia.

Muestra	Superficie (cm ²)	Absorción (g) / Tiempo (min)								
		0	1	4	9	16	25	36	49	64
PC-1	11.340	0.000	0.780	0.935	0.982	1.020	1.020	1.020	1.000	1.000
PC-3	10.811	0.000	0.790	0.830	0.830	0.830	0.830	0.830	0.850	0.850
PC-5	38.250	0.000	3.160	3.160	3.160	3.160	3.180	3.190	3.190	3.210

De los registros originales (Tabla 3), se calcula la raíz cuadrada del tiempo y se divide la absorción o masa entre el valor de la superficie para obtener la siguiente (Tabla 4):

Tabla 4 Cálculo de absorción capilar por cm², medido en gramos/minutos^{1/2}. Elaboración propia.

Muestra	Superficie (cm ²)	Absorción (g) / Tiempo ^{1/2} (min ^{1/2})								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
PC-1	1.000	0.000	0.069	0.082	0.087	0.090	0.090	0.090	0.088	0.088
PC-3	1.000	0.000	0.073	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.079	0.079
PC-5	1.000	0.000	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.084

A partir de estos datos y eliminando el valor de origen (0), esto último para evitar alteraciones derivadas por la fuerza que supone la formación del menisco (Taus L., 2003), se elabora una gráfica, donde se representa la raíz cuadrada del tiempo en el eje de las X y los cambios de masa en el eje de las Y; formando una curva a partir de la cual se calcula una recta de regresión lineal (Ilustración 44).

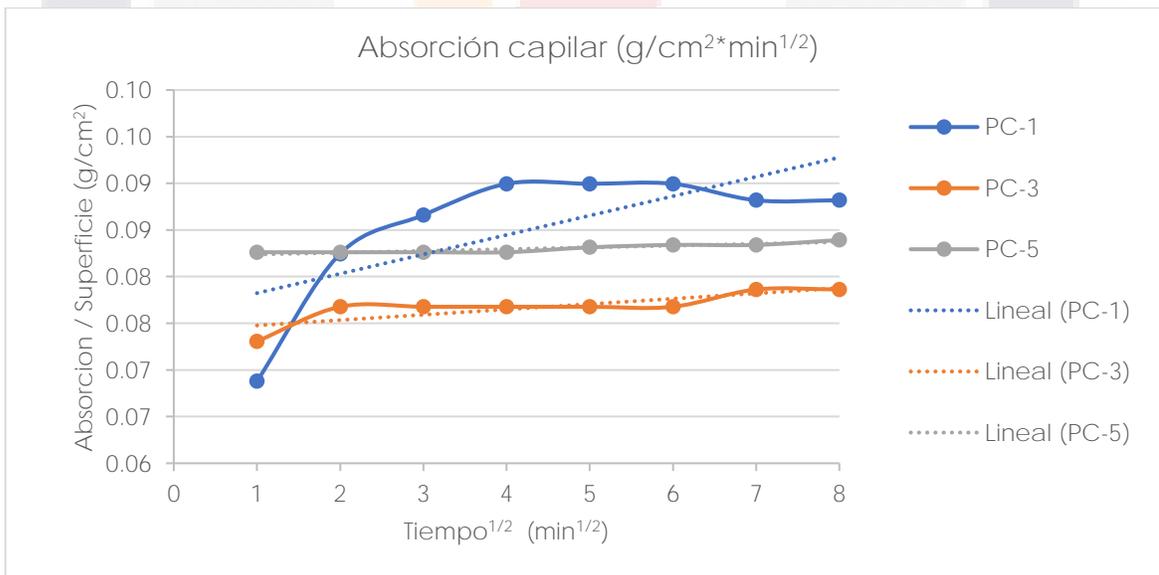


Ilustración 44 Grafica de absorción capilar, piedras del TNSC. Elaboración propia.

De la gráfica anterior (Ilustración 44) se puede obtener la tasa de absorción capilar (S), que es calculada como la pendiente de la recta obtenida, y de la cual se obtiene un coeficiente de correlación lineal (R2).

Tabla 5 Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal. Elaboración propia.

Muestra	Tasa de absorción [g/cm ² *h ^{1/2}] (S)	Coefficiente de correlación lineal (R2)
PC-1	0.0021	0.4985
PC-3	0.0006	0.6706
PC-5	0.0002	0.856

Los valores para la tasa de absorción también son conocidos como coeficiente de absorción capilar (CAP). Donde la piedra naranja PC-1 tiene un $CAP = 0.0021 \frac{g}{cm^2 \cdot min^{1/2}}$, la muestra negra PC-3 tiene un $CAP = 0.0006 \frac{g}{cm^2 \cdot min^{1/2}}$ y por último para el granito gris PC-5 el $CAP = 0.0002 \frac{g}{cm^2 \cdot min^{1/2}}$ (Tabla 5).

La interpretación de estos resultados indica que las piedras en general tienen una baja tasa de absorción capilar, debido a que la absorción en general se ha mantenido por debajo del gramo por centímetro cuadrado (cerca al cero); esto y conociendo su alta densidad, se puede suponer que sus poros son muy reducidos, no existe una conexión entre ellos o una combinación de ambos. El coeficiente de correlación lineal indica que las muestras PC-3 y 5 mantienen un comportamiento estable conforme al CAP, mientras que la muestra PC-1 registra un comportamiento de mayor variabilidad por lo que su correlación con la recta o pendiente es más baja.

4.2.3. Resistencia a la cristalización

Como parte de la caracterización de los materiales se realizó una prueba de resistencia a 8 ciclos de cristalización de sulfato de sodio (CCSS), los procedimientos que comprenden esta técnica de ensayo son: la saturación durante 2 h de las muestras en una salmuera al 10% de concentración de SFS medido en peso; secado en horno durante 20 h a una temperatura de 80 °C y un periodo de reposo de 2 h donde se registra el peso (Brea et al., 2008; Yam et al., 2003) (Ilustración 45).

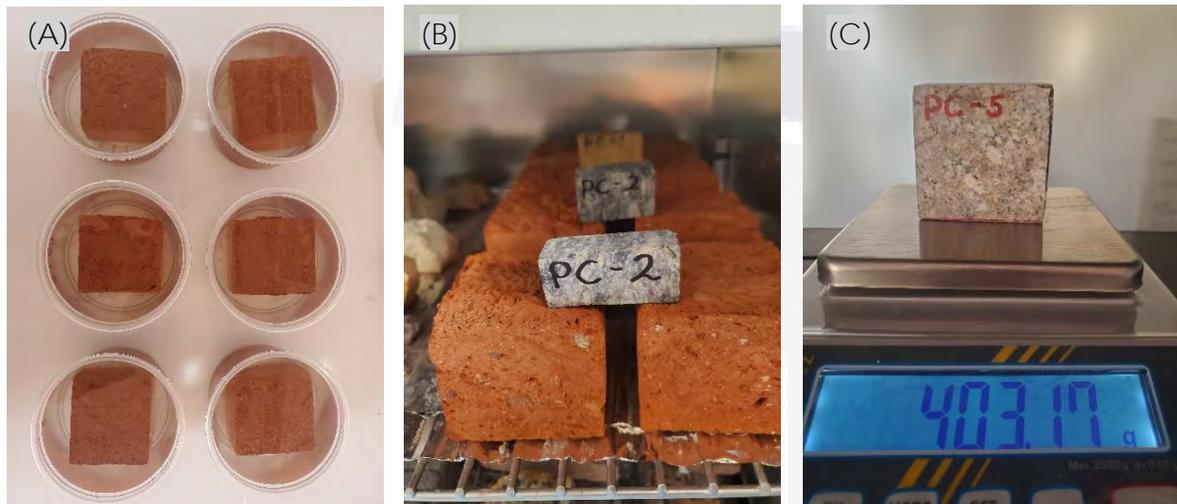


Ilustración 45 Proceso de CCSS: A) Saturación, B) Secado en Horno, C) Registro del peso seco. Elaboración propia.

Los resultados de este procedimiento se registraron en una (Tabla 6) para posteriormente graficarlos, y hacer valoraciones respecto a su durabilidad.

Tabla 6 Resultado de los CCSS sobre muestras de ladrillo y piedras, medido en gramos. E. propia.

MUESTRA	CICLO 0	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 4	CICLO 5	CICLO 6	CICLO 7	CICLO 8
LD-1	361.55	368.62	387.26	396.33	399.41	401.96	401.79	400.24	400.81
LD-2	387.25	393.26	410.47	419.30	422.13	425.02	422.72	420.99	417.79
LD-3	366.73	374.56	390.23	391.60	391.55	394.61	391.38	391.05	387.92
LD-4	381.50	386.61	402.46	411.71	414.24	409.06	412.55	416.93	417.25
LD-5	375.81	383.69	399.35	403.04	409.95	412.43	413.60	412.37	408.19
LD-6	369.41	378.58	395.44	396.23	402.83	401.37	400.19	399.08	396.89
PC-2	37.29	52.11	52.17	52.16	52.21	52.26	52.26	52.28	52.37
PC-4	51.19	59.57	59.86	59.91	59.60	59.71	59.62	59.73	59.65
PC-6	402.53	403.17	403.53	403.26	403.25	403.54	403.38	403.44	403.55

Durante la experimentación entre el ciclo 3 y 4 se detectó un problema con el horno de secado, la temperatura variaba entre 60 y 80 °C, cuando una oscilación aceptable ronda los ± 5 °C. Sin embargo, se obtienen resultados que son representativos y pueden ser útiles para estimar la durabilidad de los materiales.

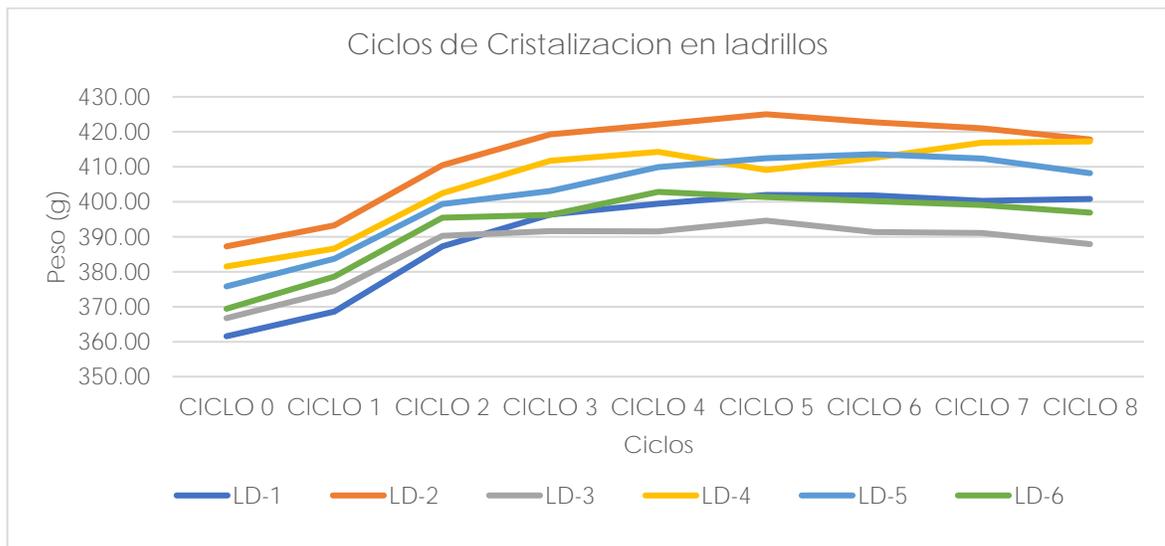


Ilustración 46 Grafica de ciclos de cristalización en ladrillos. Elaboración propia.

En el grupo de ladrillos se aprecia un incremento considerable en la masa registrada, debido a la incorporación de cristales en la red porosa interna de las muestras, pues como se ha determinado anteriormente en sus características físicas: tiene una absorción superior al 38% lo cual le facilitan incorporar una gran cantidad de salmuera, mientras su porosidad superiores al 30% le permiten alojar una cantidad importante de cristales (Ilustración 46) (Sousa et al., 2021). Posiblemente el tamaño de sus poros al ser de mayor tamaño que las formaciones de cristales, evitan que se genere la presión interna necesaria para el desprendimiento de sus materiales. En general, se aprecia un decaimiento que va del 10 al 15% de material desprendido posterior al ciclo 8 (Ilustración 47).



Ilustración 47 Representación de efectos de CCSS, muestras de ladrillo: ciclos 0, 2, 5, 8. E. propia.

Debido a que los recortes de piedras resultaron en muestras no estandarizadas, razón por la cual su peso es muy diferente entre ellas y al de los ladrillos. Se opta por representar los resultados en una gráfica por separado donde se evidencian valores muy estables y similares entre las muestras (Ilustración 48).

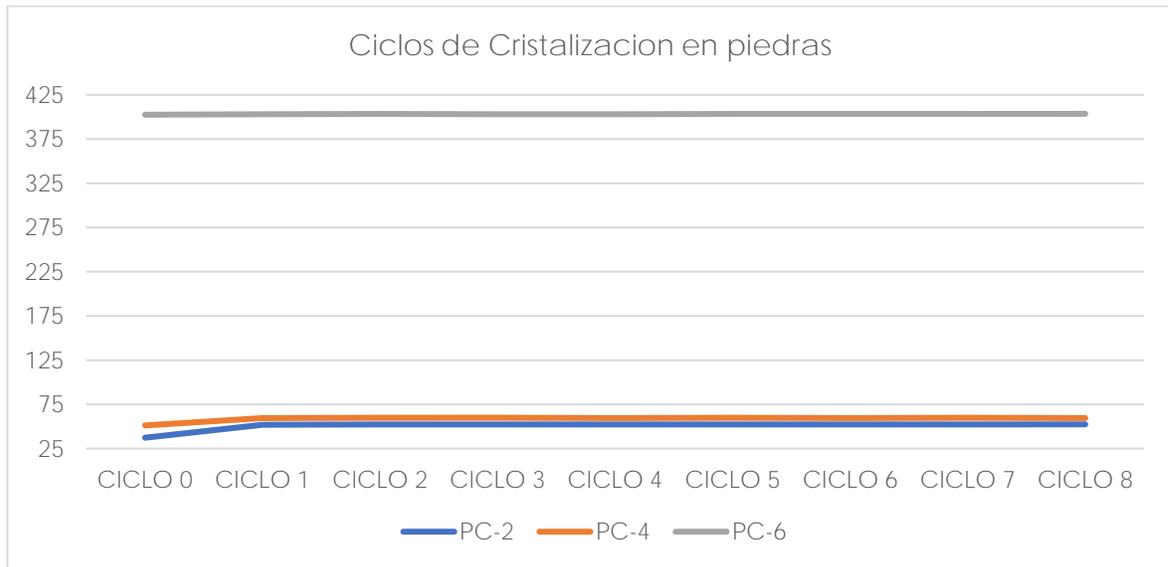


Ilustración 48 Grafica de ciclos de cristalización en piedras. Elaboración propia.

Se puede apreciar que las piedras no han registrado una ganancia significativa derivada de la cristalización, esto se entiende por su baja absorción y porosidad, siendo la piedra naranja (PC-2) la que ha registrado un incremento mayor en cuanto al registro de su peso, resultados coherentes respecto a sus características físicas anteriormente mencionadas (Ilustración 48). Otro aspecto para rescatar es que ninguna de las piedras registra decaimiento (Ilustración 49), lo que supone que los cristales se forman en la superficie, se disuelven en el proceso de saturación y se vuelven a generar en la superficie en el proceso de secado.



Ilustración 49 Representación de efectos de CCSS, muestras de piedra: ciclos 0, 2, 5, 8. E. propia

4.2.4. Características petrográficas

Como parte de la caracterización de las muestras de piedra, se comprende un estudio petrográfico, para el cual se requieren laminas delgadas de cada piedra, dichas laminas deben tener una cualidad translúcida que permita pasar los rayos de luz a través de los cristales que conforman las rocas.

Inicialmente se trabajaron los tres tipos de piedras rescatadas del templo, pero la muestra de granito gris se destruyó en el proceso de laminación. Esta actividad consiste en labrar la piedra con herramientas de taller, iniciando por un par de cierras circulares que realizan los cortes gruesos, obteniendo inicialmente una placa de piedra de 10 mm que se va recortando hasta los 3 mm según se cambia de cierra y del disco de corte. Posteriormente en un disco abrasivo se adelgaza hasta formar una lámina de 1 o 0.5 mm de espesor según las habilidades del operador. Para finalizar con el pulido mediante polvos abrasivos de diferentes calibres sobre una superficie de cristal, hasta conseguir el efecto translucido (Ilustración 50).

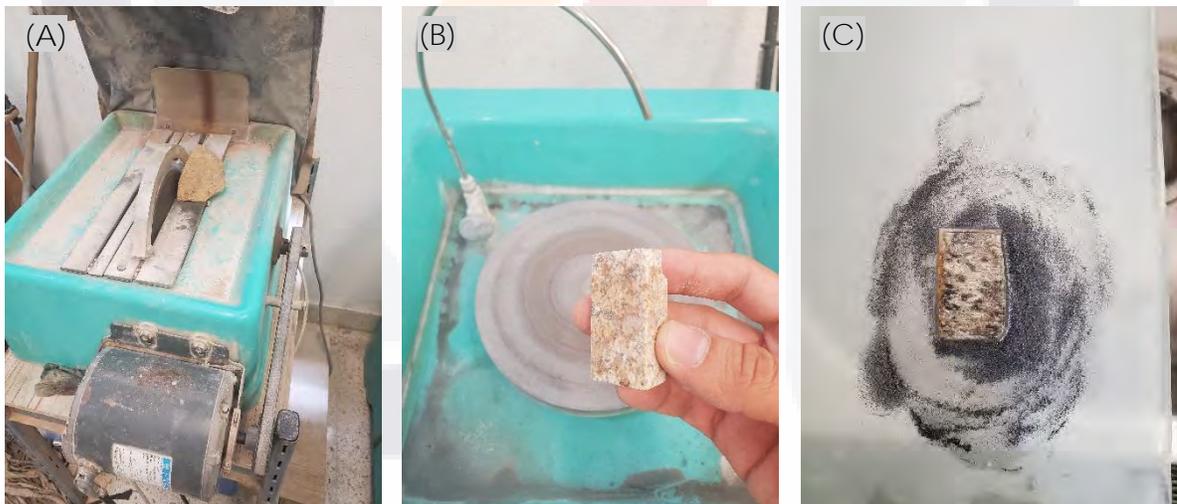


Ilustración 50 Procedimiento para obtener lamina de piedra: A) Corte grueso del material B) Limado hasta obtener 1 mm de espesor, C) Pulido hasta obtener una capa translúcida de minerales. Elaboración propia.

- Muestra Negra

(A) Vista macroscópica de la muestra negra. En la imagen se reconoce una roca cuya superficie presenta un color crema claro, de grano fino y una peculiar rugosidad (cacarizo) que permite apreciar un color oscuro debajo de esta capa envejecida (café oscuro a negro). La roca muestra una textura porcelanoide de grano muy fino con algunas fracturas cementadas. La piedra se encuentra semi redondeada posiblemente por arrastre.

(B) Vista bajo el microscopio de la muestra negra, 4X, con luz polarizada. Se reconoce que la matriz es completamente vítrea, esto debido al color opaco que presenta y que es característico para el vidrio. Los cristales claros son reconocidos debido a los colores de interferencia bajos del primer orden y a su extinción ondulante como cuarzos. Los cristales oscuros de la izquierda son óxidos de hierro debido a su hábito opaco. Una delgada veta rellena con calcita que cruza la muestra por la mitad.

(C) Vista bajo el microscopio de la muestra negra, 4X, con luz natural. Se reconoce una roca compuesta principalmente por una matriz muy fina de color crema ($\pm 75\%$), con algunas zonas alteradas (probablemente oxidación) de colores más oscuro como el marrón. Dentro de la matriz se reconocen algunos cristales anhedrales (sin forma geométrica regular) a sub redondeados de color claro, así como algunos cristales tabulares de color oscuro.



Ilustración 51 Muestra negra
Elaboración propia

Por su contenido y tipo de matriz, así como por su contenido mineral se trata de una roca volcánica de composición ácida (toba ignimbrítica) (López et al., 2018; Tarbuck & Lutgens, 2005).

- Muestra Naranja

(A) Vista macroscópica de la muestra naranja. Se reconoce una roca de color rojiza a anaranjada con algunas zonas claras con algo de textura fluidal, foliada con poros alargados y orientados. El fragmento muestra retrabajo por lo que se cuenta con bordes semi redondeados.

(B) Vista bajo el microscopio de la muestra naranja, 4X, con luz polarizada. Se reconocen cristales claros (grises, sucios), con maclas de tipo Carlsbad (zonas claras y oscuras en un mismo ejemplar) de formas tabulares son plagioclasas. Debido a su tamaño no es posible identificar el tipo de plagioclasa. Los cristales de colores vivos en tonos rosa, azul, verde, morado, con colores de interferencia del segundo y tercer orden son cristales de olivinos, piroxenos, calcita y probablemente celestita como mineral accesorio. No se reconoce arreglo alguno en la distribución de los cristales. Debido al tamaño de los cristales es difícil saber si existe cuarzo en la muestra.

(C) Vista bajo el microscopio de la muestra naranja, 4X, con luz natural. Presenta una matriz muy fina de color café oscuro, en un porcentaje de alrededor del \pm 40%. La matriz es vítrea; con embebidos en la matriz de gran cantidad de cristales anhedrales hasta euhedrales (formas geométricas más definidas) en un porcentaje de alrededor del 60% de la muestra. Los cristales son de tamaños que van de los 0.1 hasta 0.5 mm de tamaño.

Por su contenido y tipo de matriz, así como por su contenido mineral se trata de una roca volcánica de composición ácida a intermedia (andesita tentativamente) (López et al., 2018; Tarbuck & Lutgens, 2005).

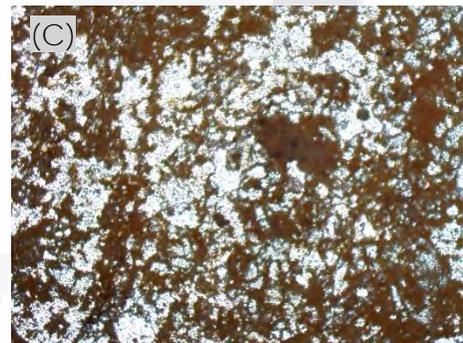
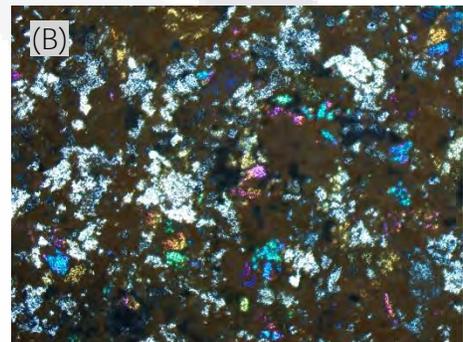


Ilustración 52 Muestra Naranja
Elaboración propia

4.3. Digitalización del estado actual del edificio

Para elaborar las representaciones necesarias del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria, se ha considerado la implementación de una técnica de adquisición digital mediante fotogrametría. Puesto que se estima es una técnica accesible económicamente, de resultados considerables, de los cuales se pueden rescatar la forma, escala, proporciones y color de los objetos de estudio.

4.3.1. Fundamentos y aplicaciones de la fotogrametría digital

Se entiende que la fotogrametría está basada en el principio de la estructuración por movimiento, también conocido por sus siglas en inglés SFM (Locher et al., 2018). Este concepto plantea que la tridimensionalidad se obtiene a partir de al menos dos imágenes con una superposición o traslape considerable entre ellas. Obteniendo con ello una interpretación tridimensional a partir de imágenes planas.

Separando la fotogrametría estereoscópica, de la fotogrametría digital en la cual se tiene interés; tenemos que esta última comparte sus orígenes con otra técnica conocida como escáner laser, se estima que fue alrededor de los años 2000, cuando se inició a utilizar en proyectos de documentación de múltiples esculturas de gran tamaño, donde se empleaban telémetros de triangulación láser, cámaras digitales, y una compilación de software para el procesamiento que consiste en alineación, fusión y visualización de datos (Ilustración 53) (Levoy et al., 2000).

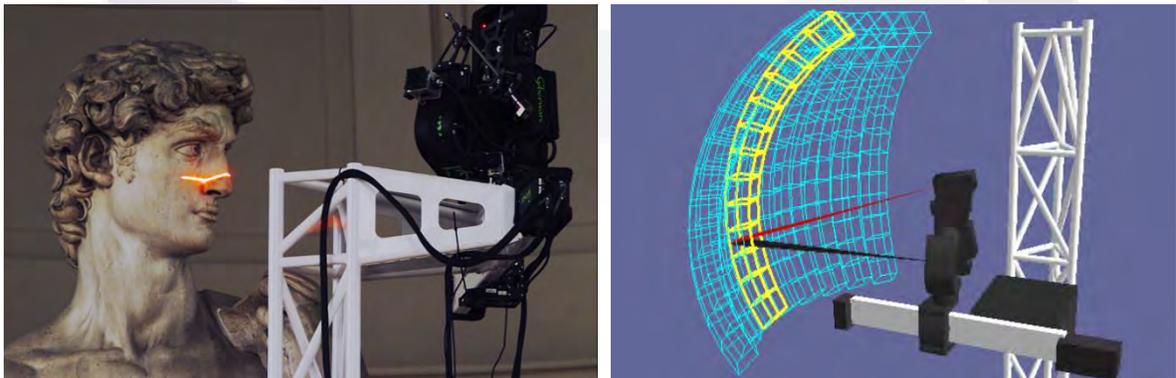


Ilustración 53 Digitalización mediante telémetros de triangulación y fotografías (Levoy et al., 2000).

La fotogrametría ha mejorado gradualmente debido a las capacidades crecientes del procesamiento de los ordenadores, por lo que en la actualidad se le considera como una técnica competitiva debido a las automatizaciones que se dieron alrededor del año 2010 (Janvier et al., 2016).

Esto ha propiciado que la fotogrametría llegue a ser reconocida e implementada por diversos autores como una técnica para la documentación arquitectónica de elementos históricos (Medina C. et al., 2014), o bien como un auxiliar para identificar patologías (Sánchez L. & Soto Z., 2021) (Ilustración 54).



Ilustración 54 Modelos digitales por fotogrametría (Medina Carrillo, 2014; Sánchez L. & Soto Z., 2021).

En la actualidad la fotogrametría está obteniendo nuevas mejoras, donde se incluyen módulos de inteligencia artificial para mejorar los procesos; al momento de orientar las fotografías que producen la nube de puntos, también al interpretar los materiales que envuelven los modelos (Pepe et al., 2023) (Ilustración 55).

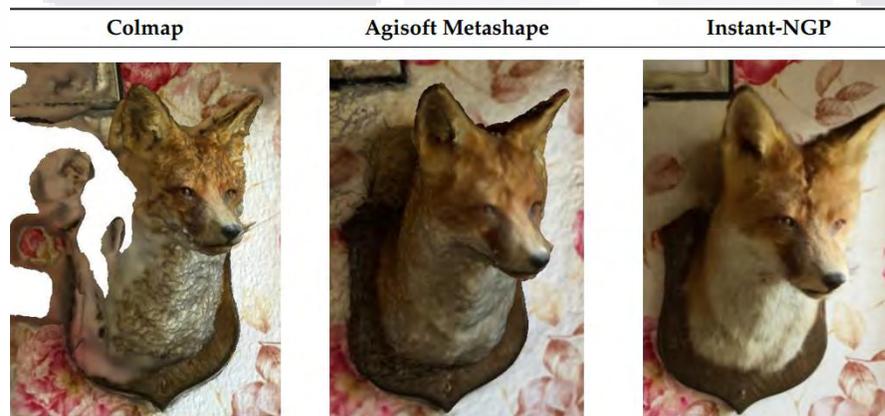


Ilustración 55 Fotogrametría mejorada por inteligencia artificial (Pepe et al., 2023).

4.3.2. Actividades preliminares y equipo para fotogrametría

Previo al levantamiento fotogramétrico de un edificio de estas dimensiones es necesario considerar algunas actividades preliminares, identificar el sitio y previsualizar la ruta para capturar las fotografías.

En cuanto a las actividades preliminares realizadas, se consideró necesario marcar algunos puntos ubicados en los vértices del templo (se utilizó cinta adhesiva de colores evitando colocarla en materiales deleznable) ver ubicación estimada de los marcadores (Ilustración 56), para registrar sus coordenadas locales mediante una estación total. Estos marcadores tienen como finalidad aparecer en el levantamiento fotográfico para corroborar y/o corregir la escala del modelo que resulte (Tabla 7).

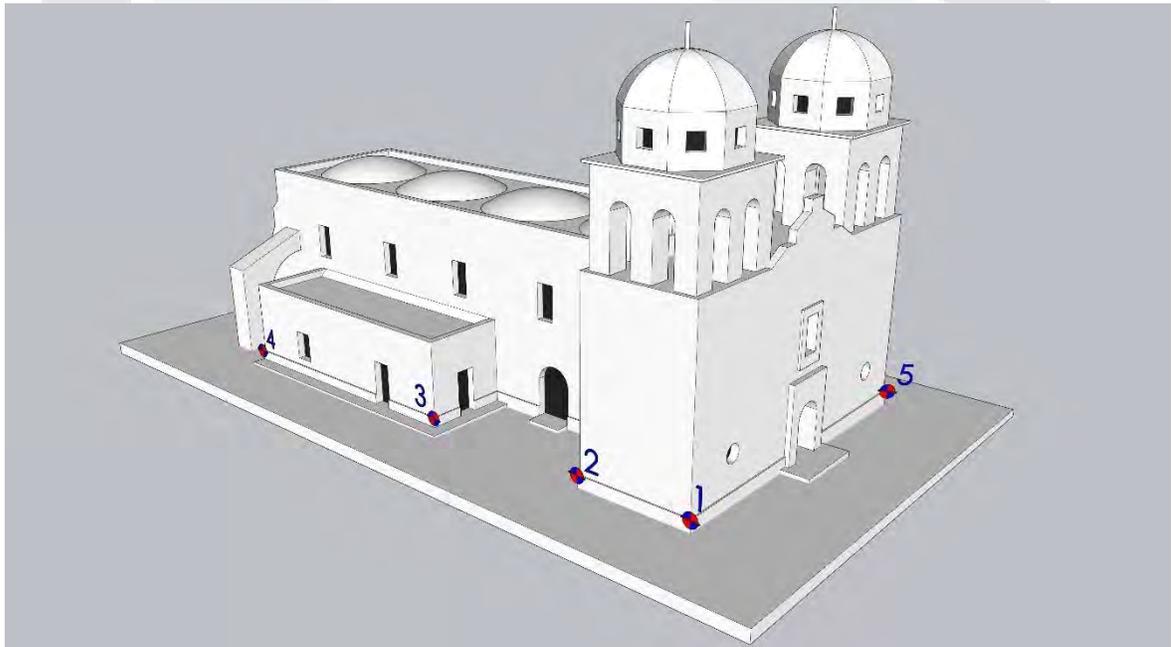


Ilustración 56 Ubicación esquemática para los marcadores colocados en el templo. Elaboración propia.

Tabla 7 Coordenadas para referenciar los marcadores. Elaboración propia.

1	2180304.223000	541822.532000	440.611000
2	2180303.687000	541804.678000	440.551000
3	2180302.813000	541792.361000	440.500000
4	2180302.433000	541785.635000	440.305000
13	2180280.392000	541787.039000	439.868000
14	2180280.557000	541793.899000	439.830000
15	2180282.170000	541828.163000	440.275000

El interés por conocer las condiciones sitio donde se ubica el templo es para identificar obstáculos que puedan impedir la realización del levantamiento fotográfico, en este caso el templo está aislado de otros elementos constructivos o edificaciones colindantes, por lo que se puede transitar a pie libremente alrededor de su base; mientras que para las capturas aéreas se identificaron limitaciones por los siguientes elementos: muro perimetral circundante al templo, vegetación concentrada en las fachadas longitudinales (Ilustración 57), cableado eléctrico en la fachada posterior (Ilustración 58) y lasos decorativos por festivales en la fachada principal.

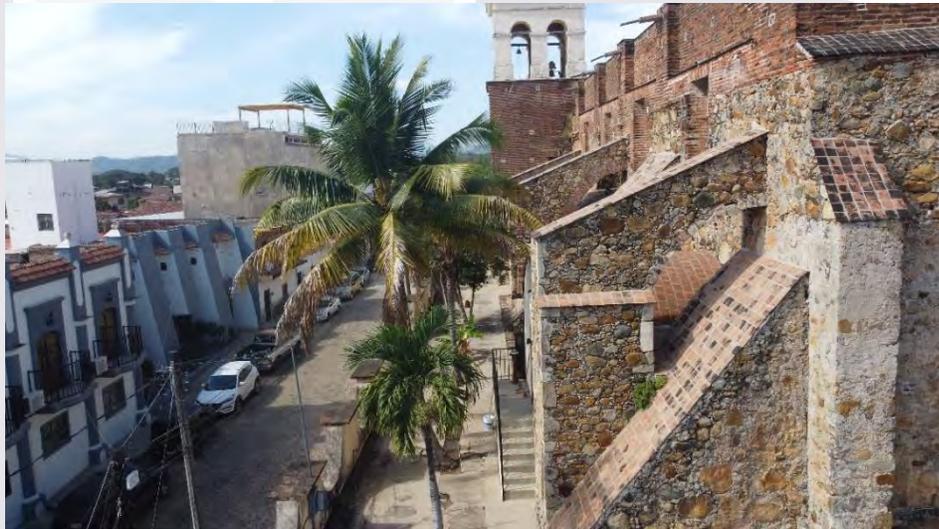


Ilustración 57 Obstáculos: espacios estrechos entre la vegetación y el edificio. Elaboración propia.



Ilustración 58 Obstáculos: cableado eléctrico alrededor del edificio. Elaboración propia.

Debido a las condiciones de la presencia de obstáculos para la aeronave; se previó realizar una ruta de captura fotográfica que combina un levantamiento terrestre mediante una cámara de 12 Mega Píxeles (MPX) de un teléfono inteligente y capturas aéreas mediante la utilización de un dron, cuya cámara tiene una resolución similar de 12 MPX; a continuación, se describen los patrones de capturas.

4.3.3. Metodología para el levantamiento fotográfico

Para conseguir un buen levantamiento fotográfico es necesario limitar el periodo en que se obtienen las fotografías, para evitar diferencias considerables en la inclinación solar y las sombras. En este caso se limitó a un mes, acudiendo al sitio entre las 9:00 y 10:00 horas del día.

La adquisición de fotos terrestres se realizó a tres niveles alcanzados manualmente, capturando fotografías perpendicularmente al edificio a cada dos metros o tres pasos (procurando que exista mínimo un 50% de traslape entre fotografías); figurando curvas en las esquinas (Ilustración 59). En la ronda de fotos más elevadas se capturan con una inclinación hacia arriba evitando que aparezca el cielo en las imágenes, sin importar que no aparezcan elementos muy altos como las torres, pues estos elementos serán fotografiados por el proceso aéreo.

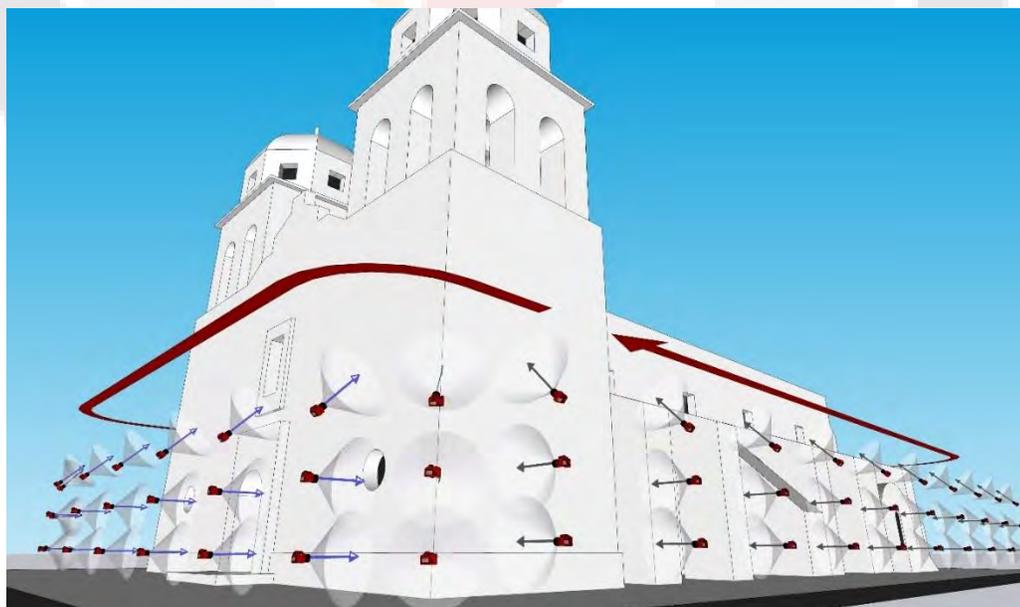


Ilustración 59 Patrón de captura fotográfica terrestre, manual. Elaboración propia.

Para la adquisición fotográfica aérea se utilizó un dron DJI Mini 2; las rutas asignadas para los vuelos se describen en la Ilustración 60, las cuales fueron ejecutadas mediante dos controladores de vuelo: primero se utilizó la aplicación de vuelo manual DJI fly (DJI, 2023), limitando la velocidad a un máximo de 2 m/s, realizando vuelos en forma de columna, y capturando imágenes perpendiculares al templo cada 3 segundos, esto para completar un circuito de columnas fotográficas alrededor del templo, en donde el sitio lo permitiera según los obstáculos (rojo); posteriormente con la misma aplicación se realizaron dos circuitos de vuelo a una altura y separación del templo que permitiera evitar los obstáculos, con una inclinación de la cámara entre 30° y 60° (azul); para finalizar se utilizó la aplicación DH_mobile (D.H., 2023), que permite programar rutas de vuelos automatizadas figurando un patrón de serpiente y capturando fotografías perpendicularmente a la planta del templo (verde).

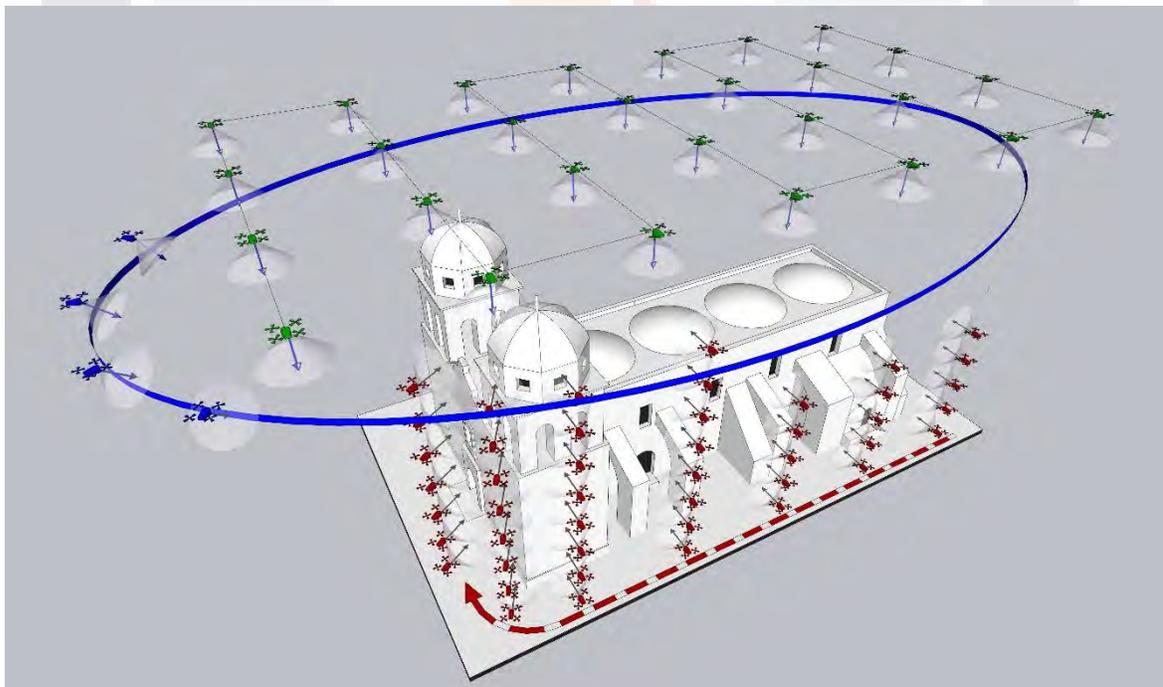


Ilustración 60 Representaciones de patrones para capturas fotográficas aéreas: Rojo) Columnas fotográficas por todo el perímetro del edificio. Azul) Circuitos de fotografías a mayor altura y separación del templo. Verde) Vuelo automático en forma de serpiente fotografías vista en planta. Elaboración propia.

4.3.4. Proceso de fotogrametría digital dentro del software.

El procesamiento de fotogrametría digital se llevó a cabo en el software Agisoft Metashape (AMS) (Agisoft, 2020), utilizando un total de 857 fotografías y siete marcadores referenciados.

El proceso de modelación dentro del software sigue un flujo de trabajo intuitivo (Ilustración 61) y se describe claramente en las tesis de Miriam Figueroa, Edén Vizcaíno o Anayari Sánchez (Figueroa C. & Pacheco M., 2016; Sánchez L. & Soto Z., 2021; Vizcaíno & Soto, 2018). En esencia los pasos que se siguieron para este proceso consisten en: añadir fotos al software, orientar fotos (precisión máxima, 40,000 puntos clave y 4,000 puntos de paso) y crear nube de puntos densa (calidad media y filtrado leve) (Ilustración 62).

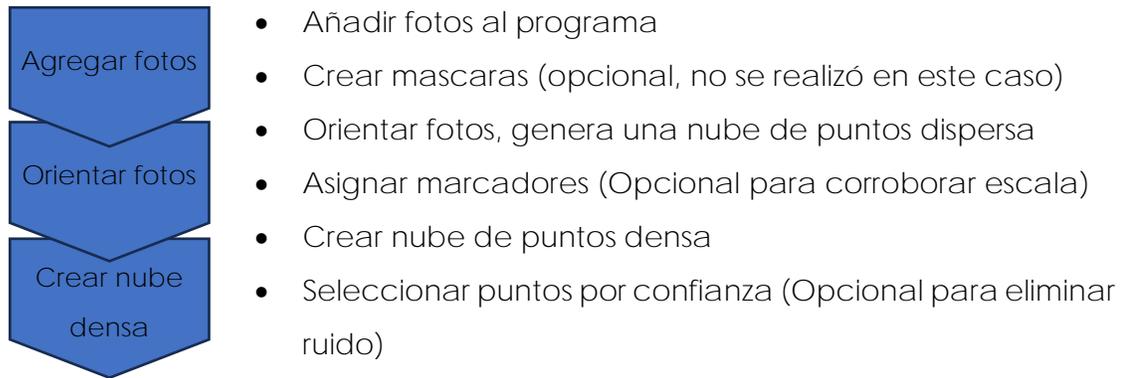


Ilustración 61 Flujo de trabajo con actividades opcionales. Elaboración propia.

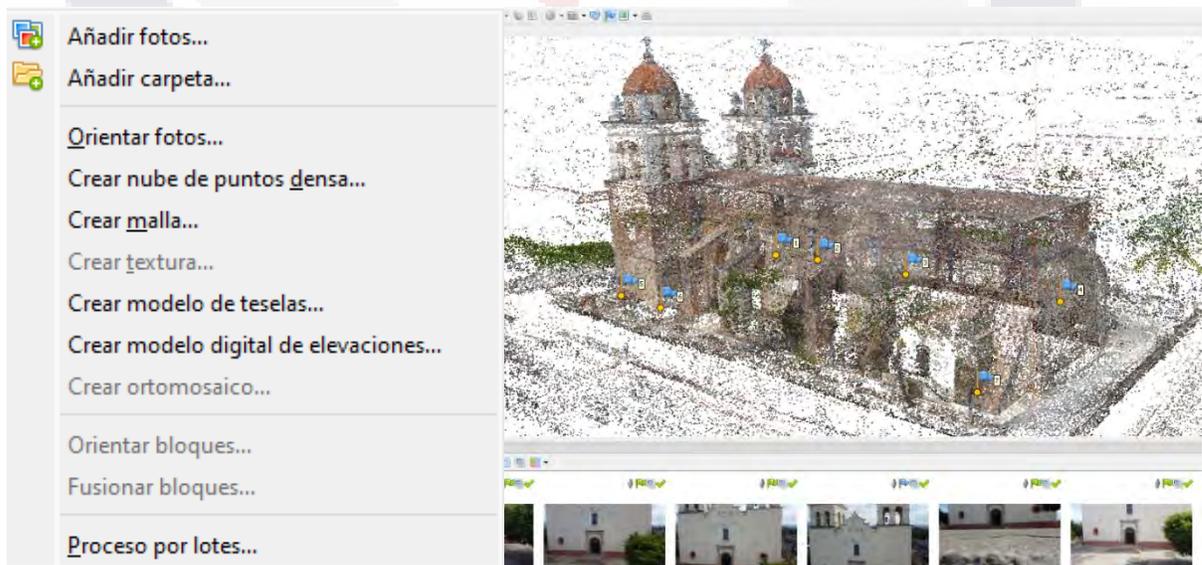


Ilustración 62 Interfaz de AMS, con la pestaña del flujo de trabajo desglosada. Elaboración propia.

En el transcurso de este levantamiento fotogramétrico, se han mejorado o incorporado algunos procesos, tal es el caso de los marcadores referenciados mediante coordenadas locales.

Los marcadores se colocan después de la alineación de fotos y antes de la nube densa; para importar los marcadores, se necesita tener las coordenadas en un archivo de texto con extensión txt. En este archivo se deben separar las columnas mediante tabulación, con el siguiente orden: marcador, eje X, eje Y, eje Z (Ilustración 63).

Arquivo	Editar	Ver	
1	2180304.223	541822.53	440.61
2	2180303.687	541804.67	440.55
3	2180302.81	541792.36	440.5
4	2180302.43	541785.63	440.3
7	2180295.53	541798.91	441.15
8	2180295.74	541801.98	441.16
9	2180287.64	541802.34	441.203
10	2180287.58	541799.19	441.19
13	2180280.39	541787.03	439.86
14	2180280.55	541793.89	439.83
15	2180282.17	541828.16	440.27

Ilustración 63 Coordenadas para asignar en los marcadores del templo. Elaboración propia.

Para importar el archivo de coordenadas en AMP, se debe desglosar el menú de archivo, posteriormente en importar y al finalizar importar marcadores; como se indica en la siguiente Ilustración 64.

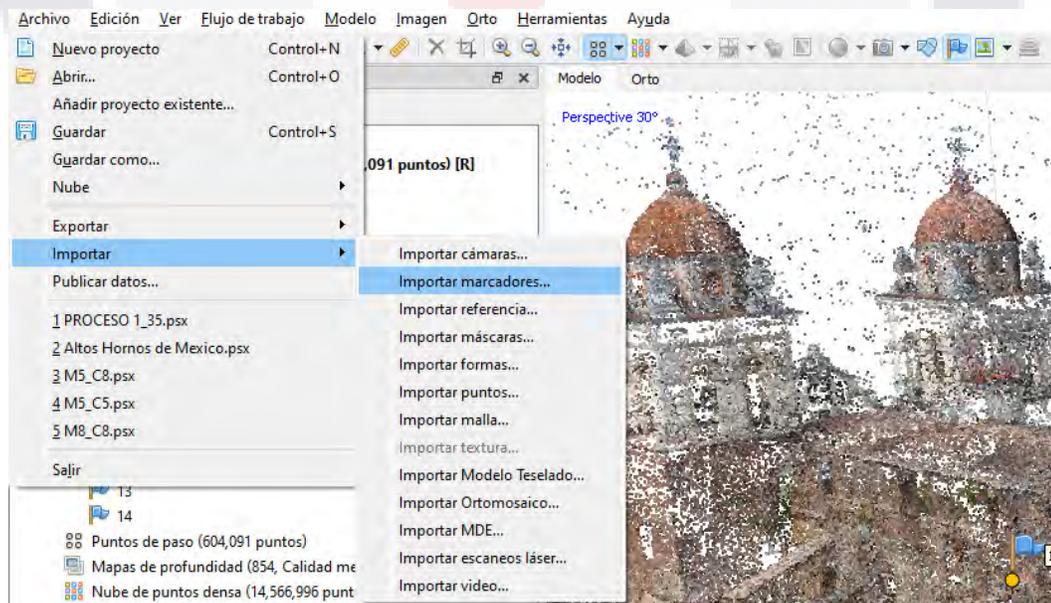


Ilustración 64 Importar marcadores en AMP. Elaboración propia.

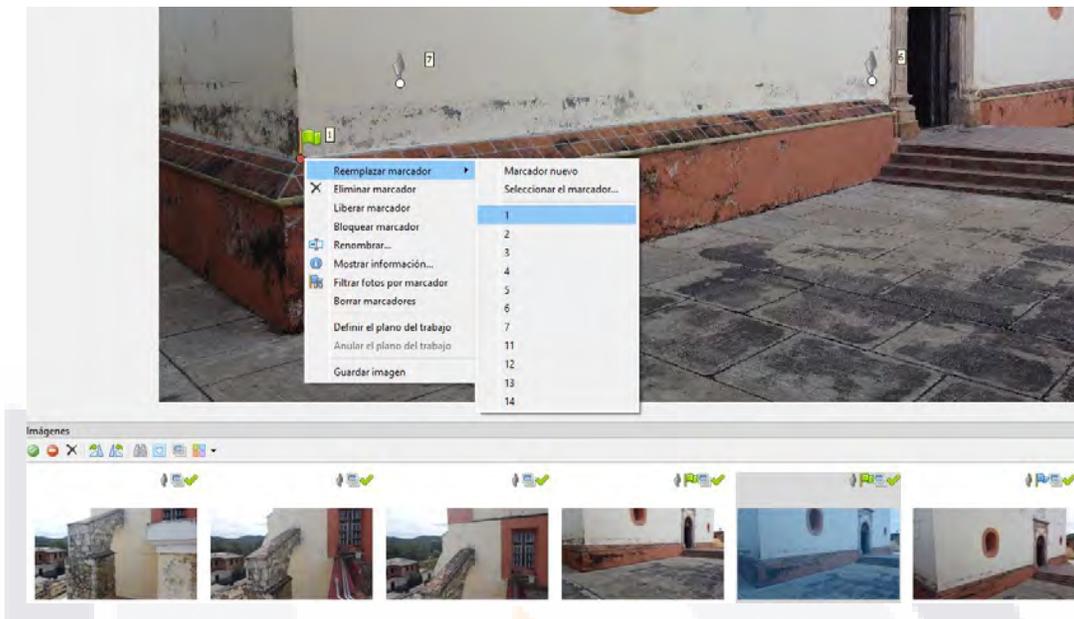


Ilustración 65 Ubicación de marcadores referenciados en AMS. Elaboración propia.

Una vez cargadas las referencias se deben ubicar en las fotografías, cada marcador se debe indicar por lo menos en 10 fotografías (Ilustración 65), al finalizar es conveniente filtrar las fotos para verificar que el software no está asignando la ubicación del marcador en sitios distintos (Ilustración 66).

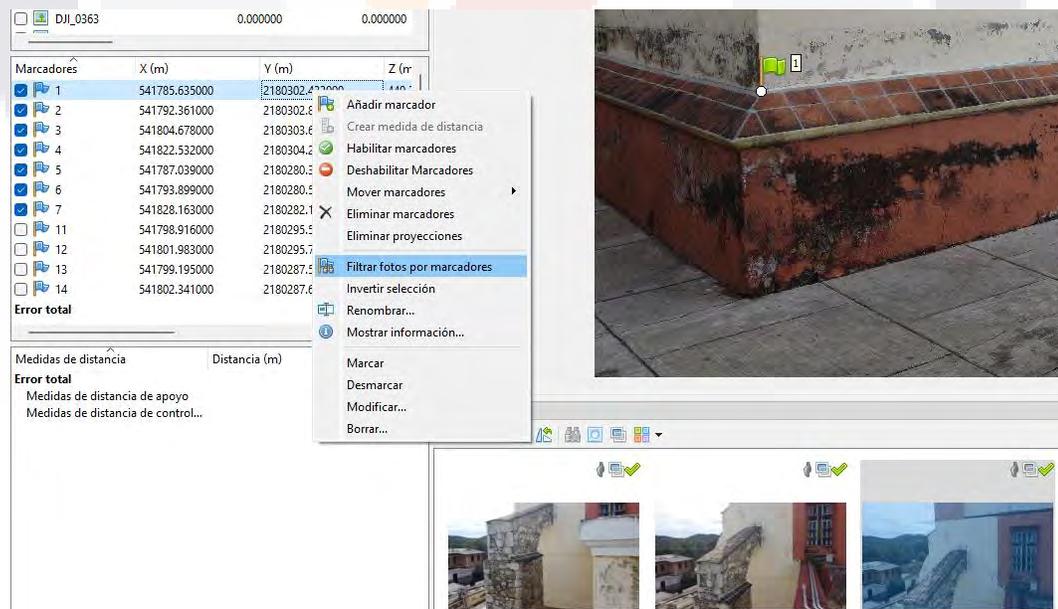


Ilustración 66 Filtrar fotos por marcador en AMS. Elaboración propia.

Para finalizar este paso es necesario verificar el sistema de coordenadas registrado en el software, esta opción está en la paleta de referencias, dentro de un botón que se llama ajustes (Ilustración 67).

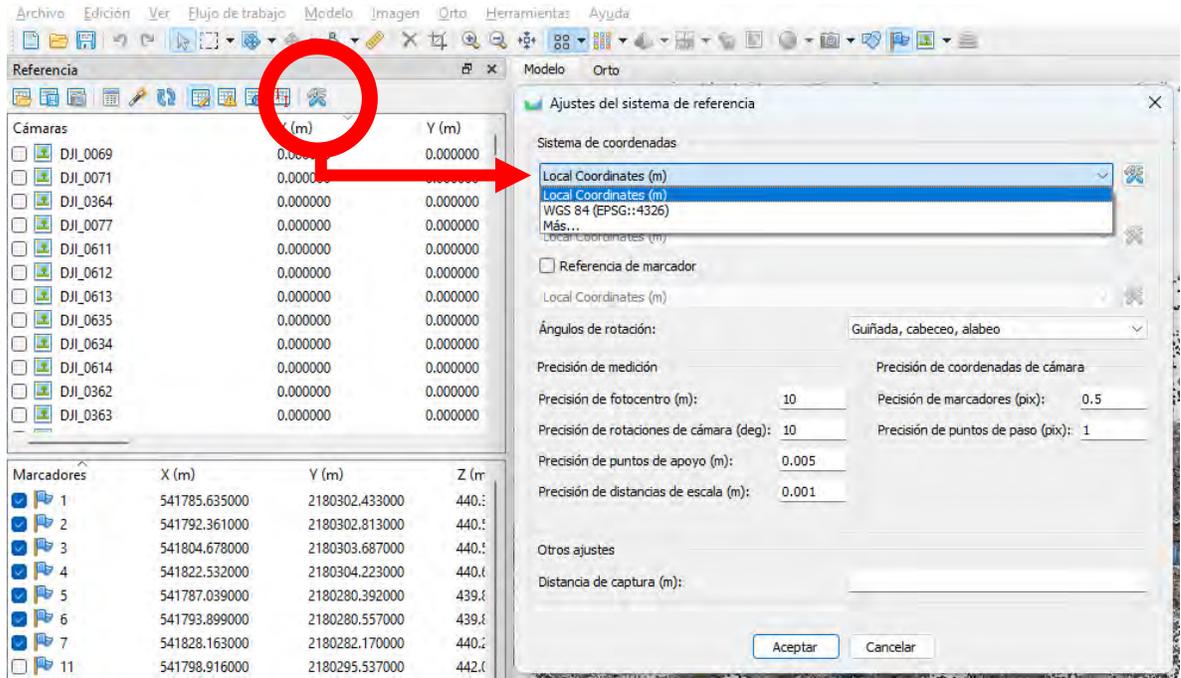


Ilustración 67 Asignar coordenadas locales en AMS. Elaboración propia.

Posteriormente será posible optimizar cámaras, con lo cual el software generará una corrección en la orientación y la escala siguiendo estos marcadores asignados (Ilustración 68).

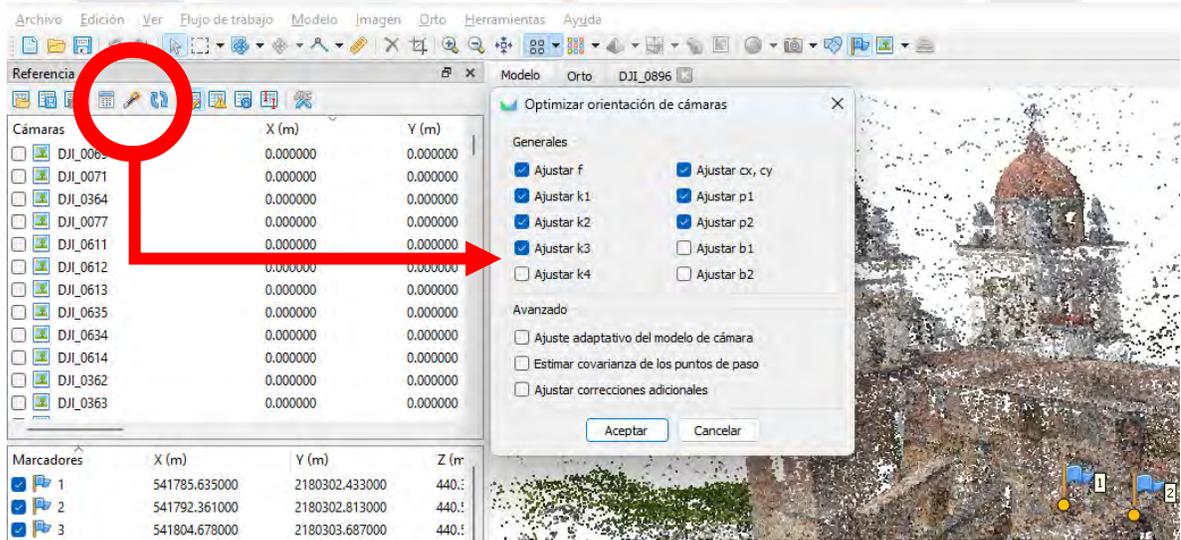


Ilustración 68 Optimizar orientación de cámaras en AMS. Elaboración propia.

La segunda mejora en el proceso de fotogrametría es la selección de puntos mediante filtros de confianza sobre la nube de puntos densa; esta opción está disponible una vez que se ha concluido el proceso de generar nube de puntos densa; dentro del menú herramientas, en el apartado de nube de puntos densa, se encuentra el filtro por nivel de confianza.

Este filtro contiene valores que van del 0 al 255, siendo el cero la menor confianza; esto permite seleccionar algunos que no corresponden con el modelo, como pueden ser: puntos extraños en los vértices derivados del fondo (cielo, árboles, otros edificios), elementos en movimiento (personas o vehículos) o simplemente puntos que se han generado fuera de lugar (Ilustración 69). Se recomienda iniciar por valores bajos, por ejemplo, un nivel de confianza mínimo de 0 y máximo de 1, al realizar este filtro se pueden seleccionar y borrar estos puntos indeseados.

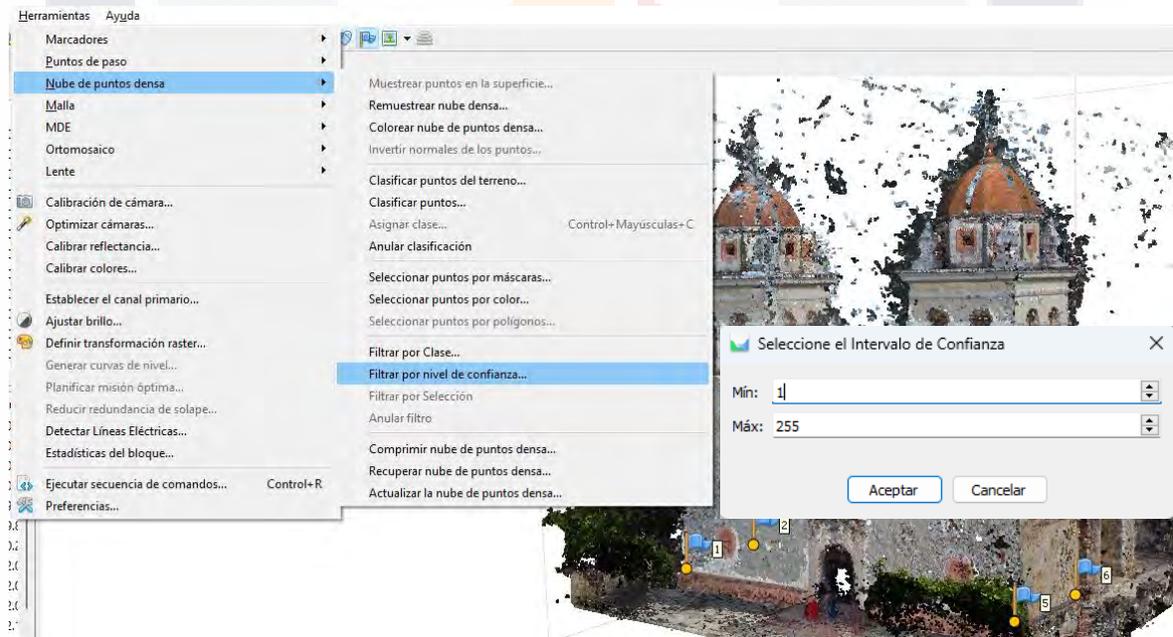


Ilustración 69 Filtro en la nube de puntos densa según su nivel de confianza en AMS. Elaboración propia.

4.3.5. Representación arquitectónica en alzado del templo y mapeo

Una vez completada la nube de puntos densa mediante fotogrametría, es posible utilizar esta información como si de un modelo se tratara, obteniendo de él vistas perpendiculares completas de cada una de sus fachadas, con la ventaja que no genera puntos de fuga que afecten las proporciones de los elementos del templo; permitiendo dibujar sobre estas vistas, para de allí obtener las representaciones arquitectónicas que se establecieron como objetivo.

Para mantener la escala de la imagen que se aprecia desde la nube de puntos, se utilizó el software SketchUp Studio (SKP) (Trimble, 2023), con licencia académica. Cabe señalar que el software básico no cuenta con la capacidad de visualizar nubes de puntos, para ello se requiere una extensión denominada Essentials (Ilustración 70).

De esta manera se han realizado los trazos principales directamente en SKP y se han resguardado las imágenes en vista perpendicular para terminar con los detalles en AutoCad (ACAD) (Autodesk, 2021), un programa especializado en el dibujo digital 2D, que facilita la representación de texturas, achurados, espesor de líneas, transparencias, entre otros elementos predefinidos (Ilustración 71).



Ilustración 70 Vista en SKP: alzado de la nube de puntos densa obtenida de AMS. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a partir de este proceso constan de una representación arquitectónica en alzado de la fachada sur del templo. En su momento se consideró a esta fachada de mayor interés por la situación en la que se encuentra, con gran parte de sus materiales base expuestos, que son mamposterías de piedra y ladrillo; además, se pueden apreciar la mayoría de sus elementos constructivos como son: una de las torres del campanario, contrafuertes, y bóvedas en la cubierta que sobresalen.

En la elaboración de esta fachada arquitectónica (Ilustración 71), se han representado los distintos materiales que se encuentran presentes; detallado de manera aproximada las piedras visibles que sobresalen de los morteros, priorizando aquellas piedras que configuran los bordes, como son las esquinas de la torre y los contrafuertes. De igual manera se delimitaron las regiones para los ladrillos, elementos que fueron colocados de manera discretizada utilizando las funciones de ACAD, específicamente el comando superhatch (ver ANEXO A, p157). Para finalizar con la representación de los morteros y aplanados, se utilizaron texturas, achurados o sombreados mediante el comando Hatch.

De igual manera y aprovechando la información obtenida mediante la nube de puntos, se elaboró una planta arquitectónica (Ilustración 72) con la finalidad de que los lectores puedan interpretar de mejor manera los elementos presentados en la fachada. Por ejemplo, en la fachada las torres están desfazadas y parece un error de representación; sin embargo, resulta de una inclinación aproximada de dos grados respecto al eje longitudinal de la nave.

Vista en alzado, representación arquitectónica

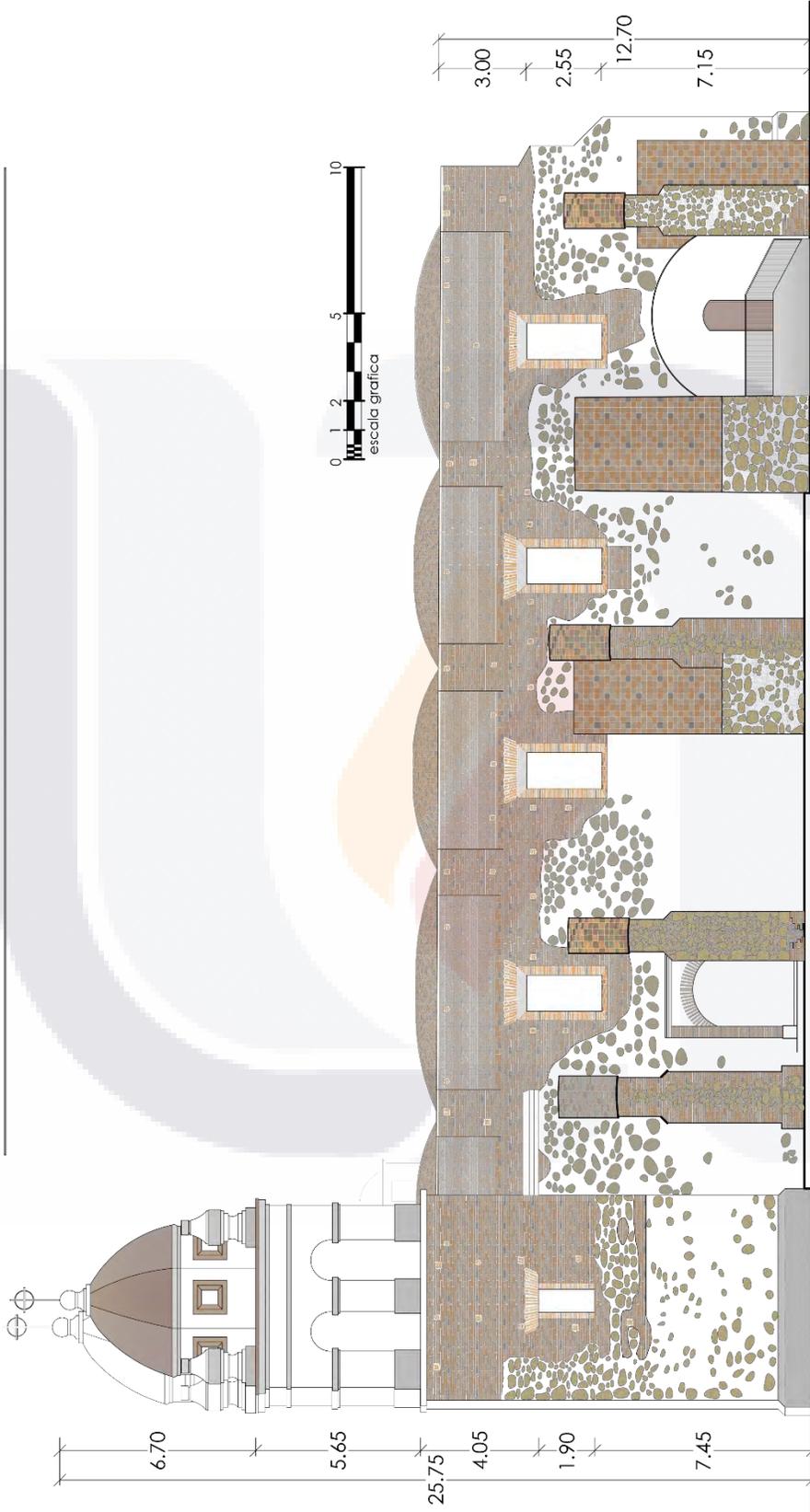


Ilustración 71 Vista en alzado del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria: Representación arquitectónica. Elaboración propia.

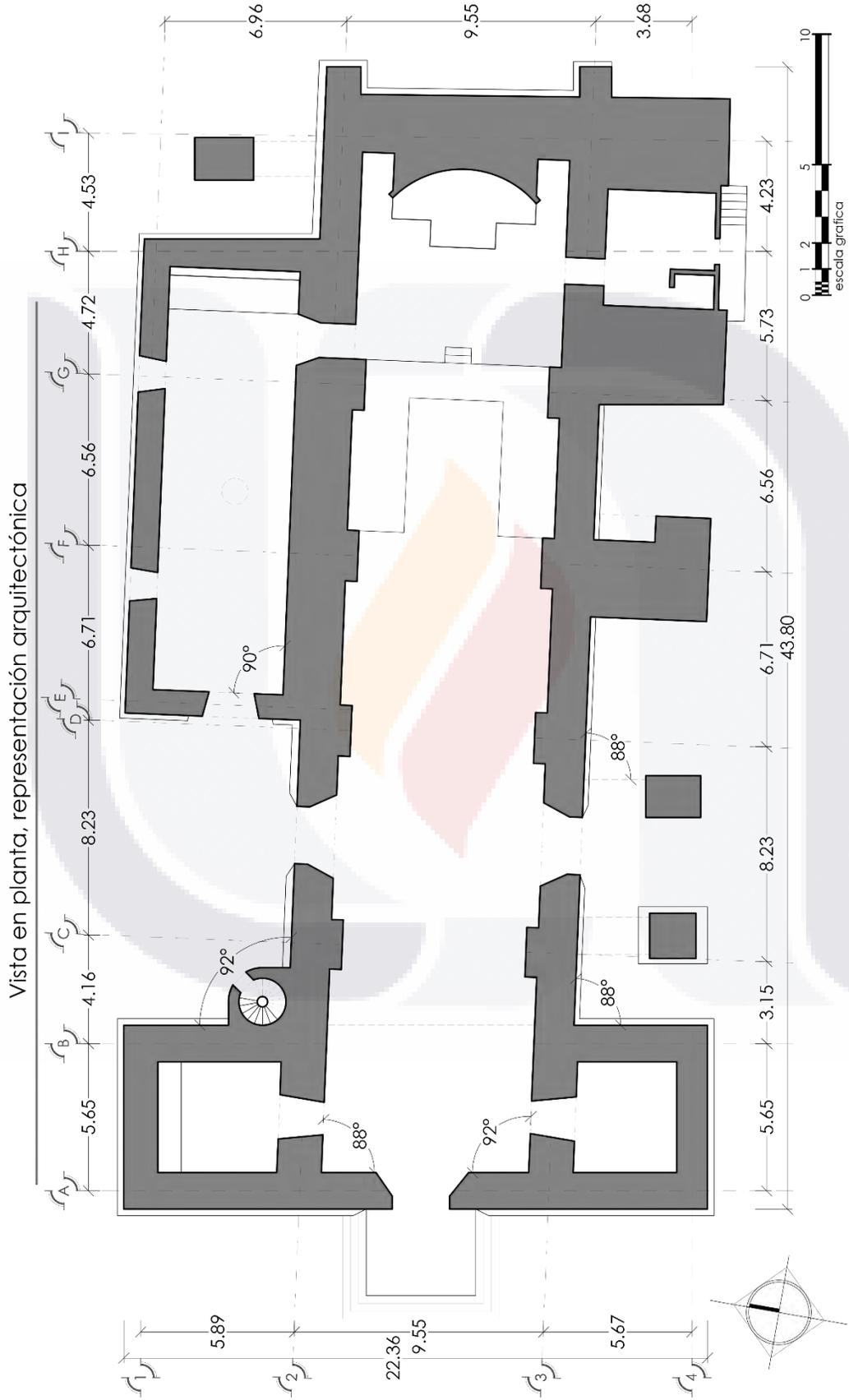
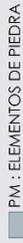
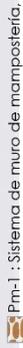
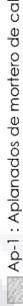
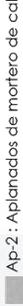
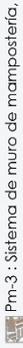
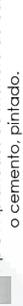


Ilustración 72 Vista en planta del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria. Elaboración propia.

Posteriormente, sobre este alzado se realizó un estudio similar a la identificación petrográfica, siguiendo en parte la metodología de caracterización del patrimonio edificado utilizada por (Andaluz M. et al., 1994; Arriaga et al., 2017) (Ilustración 73). Donde se señala mediante sombreados de colores la ubicación de los tres materiales principales que conforman esta edificación, los cuales se han agrupado en tres categorías: 1) Elementos de ladrillo rojo horneado y similares; 2) Elementos de piedra, conformados por alguno de los tres tipos de piedra identificadas anteriormente (granito negro, granito gris y basalto naranja); 3) Aplanados o recubrimientos.

Para finalizar se llevó a cabo un mapeo donde se identifican las patologías siguiendo esta misma técnica de los sombreados, como sugieren algunos autores (Sánchez L. & Soto Z., 2021); agrupando los daños y patologías en seis familias, siguiendo la clasificación del manual de ICOMOS (ICOMOS, 2008), este tema se abordó en el subcapítulo: (3.3.2 Manifestaciones de las humedades, p47). De tal manera que la clasificación asignada resulta de la siguiente forma: 1) grietas y deformaciones; 2) desprendimientos o lascas; 3) inducción de fallas; 4) decoloración y depósitos, 5) colonización biológica; y una última adicional que consiste en 6) materiales por restauración (Ilustración 74).

Simbología de materiales

	LD : ELEMENTOS DE LADRILLO ROJO		PM : ELEMENTOS DE PIEDRA		AP : APLANADOS O RECUBRIMIENTOS
	Ld-1 : Sistema de muro de mampostería, de ladrillo rojo horneado asentados con mortero de cal.		Pm-1 : Sistema de muro de mampostería, de distintos tipos de piedras ígneas, asentadas con mortero de cal.		Ap-1 : Aplanados de mortero de cal o cemento, erosionado.
	Ld-2 : Sistema para cubiertas de fachaleta tecata roja o tejuelas juntas con mortero (posiblemente de cemento).		Pm-2 : Sistema de muro de mampostería, de distintos tipos de piedras ígneas. Parcialmente cubierto por aplanados de cal y / o cemento		Ap-2 : Aplanados de mortero de cal o cemento, en buenas condiciones.
	Ld-4 : Reellenos de ladrillo rojo por huecos de construcción original o material faltante.		Pm-3 : Sistema de muro de mampostería, de distintos tipos de piedras ígneas. Reellenos de rajuela a base de teja de barro o tejuelas asentadas con mortero.		Ap-3 : Aplanados de mortero de cal o cemento, pintado.
					Ap-4 : Cerámicos de barro sellados, acabado pulido brillante.

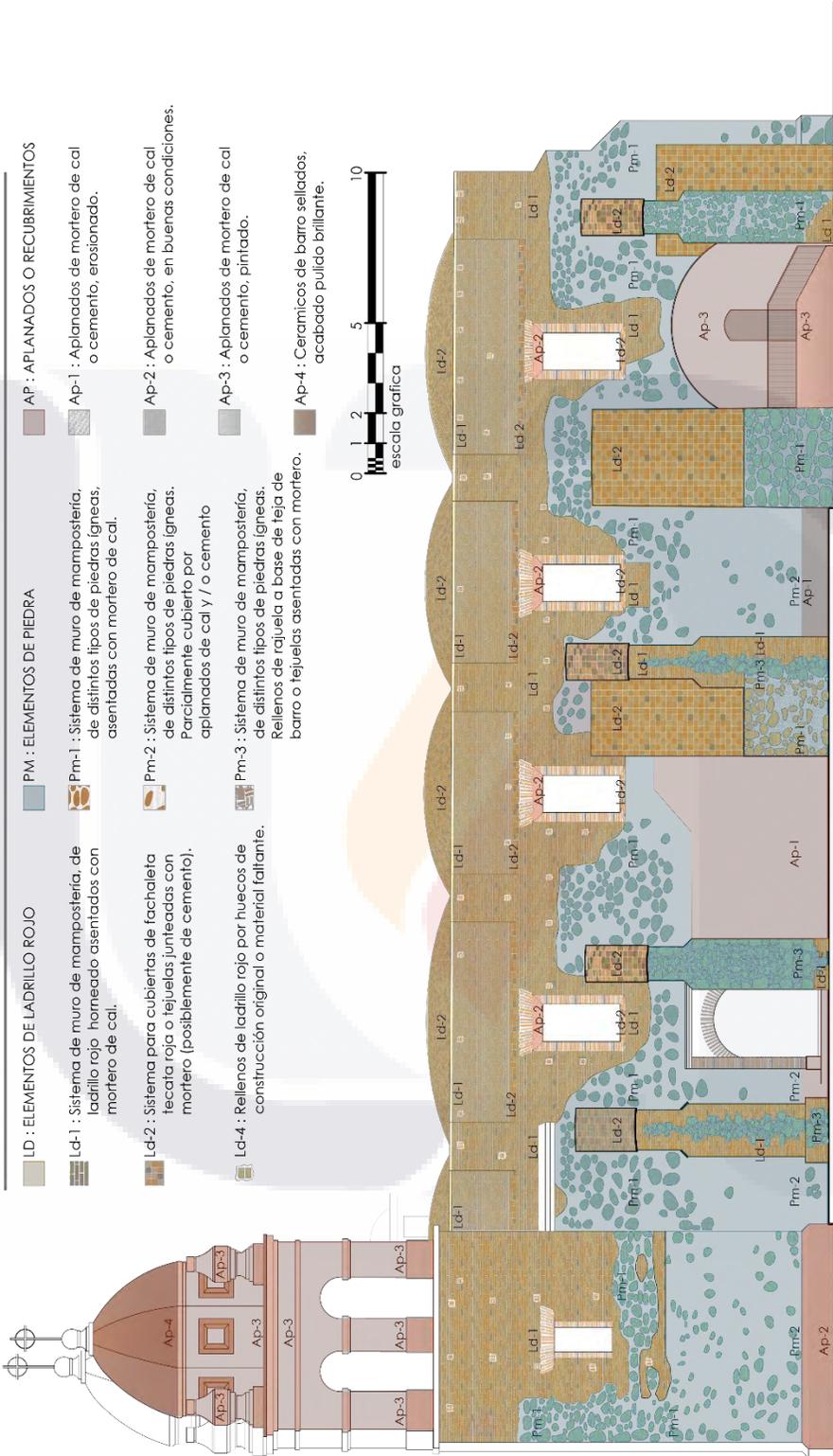


Ilustración 73 Vista en alzado del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria: identificación de materiales. Elaboración propia.

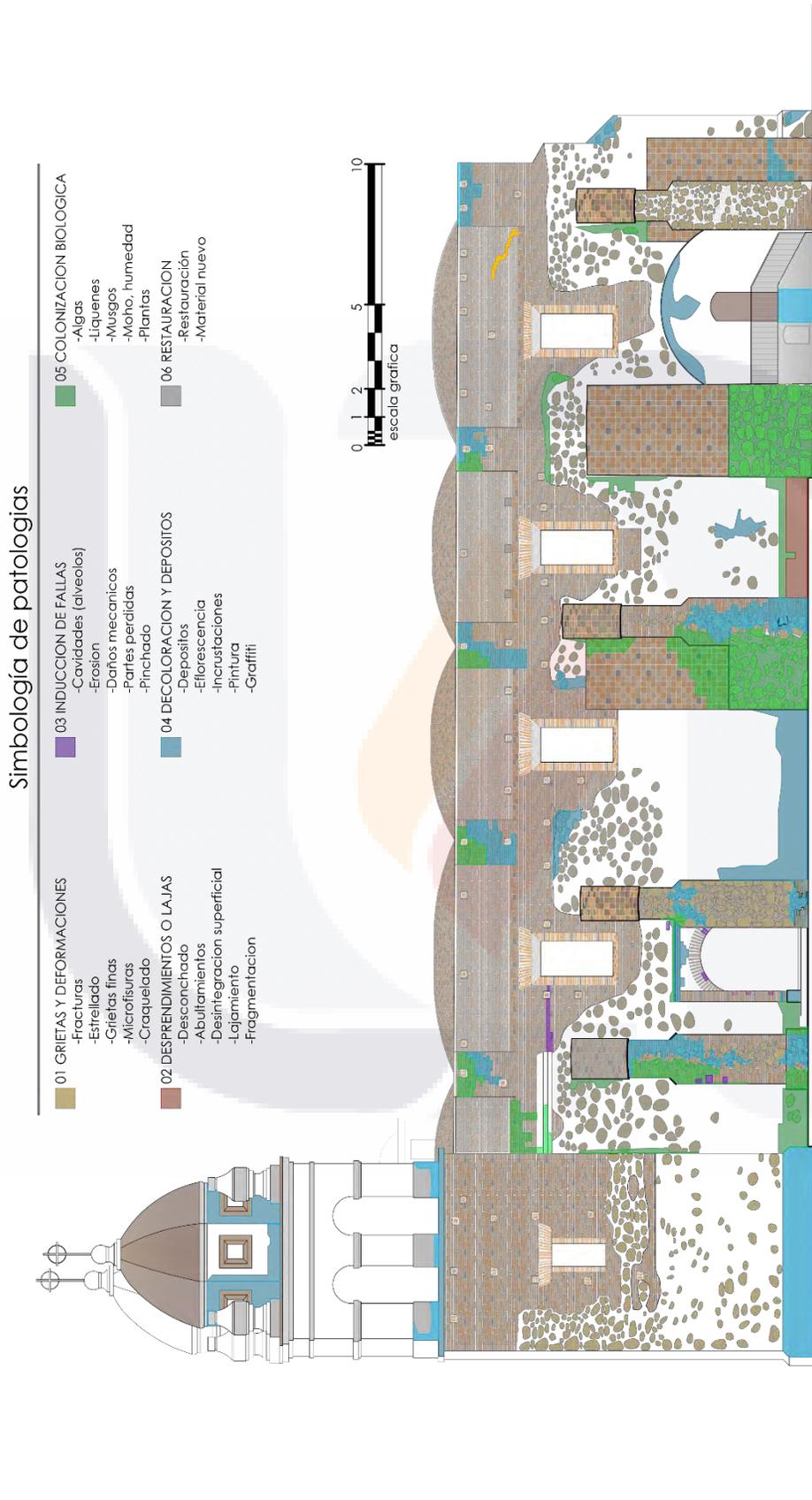


Ilustración 74 Vista en alzado del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria: Mapeo de patologías. Elaboración propia.

4.4. Discusión de resultados, caracterización del templo

4.4.1. Situación contextual

Se puede apreciar en su historia que la comunidad de Villa Purificación ha sido un asentamiento pionero desde tiempos de la invasión de la corona española, siendo una de las primeras villas fundadas en lo que ahora pertenece al estado de Jalisco, cuenta con uno de los primeros templos cristianos construidos y por consiguiente de los más antiguos. Por ello es de esperar que su aspecto cuente con las características de cualquier otra edificación que ha sufrido las inclemencias del entorno al pasar de los siglos.

El entorno urbano inmediato ha sufrido transformaciones considerables, por lo que el centro histórico que envuelve al templo presenta discontinuidades en cuanto a las siguientes características: por jerarquía en cuanto al tamaño de las edificaciones colindantes que llegan hasta los tres niveles; por estilo en aquellas edificaciones que han tomado elementos atemporales y contemporáneos; en el color y formas, pues incluso en aquellos inmuebles que respetan la temporalidad colonial, no mantienen coherencia en las formas de sus vanos y abultados, de igual manera no se consigue una continuidad en la paleta de colores presentes; por último la presencia de anuncios y publicidad que al ser elementos llamativos y sin lineamientos, corrompen la armonía del lugar.

En cuanto a la ubicación geográfica del TNSC, se aprecia que se encuentra edificado en un entorno donde existen contrastes considerables de humedad y temperatura por el transcurso de las estaciones; esto se evidencia incluso en la vegetación nativa con características principalmente de una selva caducifolia (ecosistema de zonas subtropicales en el que la mayor parte de especies arbóreas pierde sus hojas durante las estaciones secas) (Lifeder, 2021). De tal manera que el ambiente propicia las condiciones idóneas para desarrollar las patologías derivadas de las humedades, al proporcionar importantes cantidades de agua pluvial y humedad ambiental que saturan los materiales del templo, para posteriormente concluir con el ciclo del agua y minerales en las estaciones secas donde se favorece la evaporación del agua.

4.4.2. Características de sus materiales

La caracterización de las piedras rescatadas del templo permite identificarlas dentro de la categoría de rocas ígneas, esta información en conjunto con el mapa geológico del lugar permite hacer suposiciones respecto a la obtención de dicho material, ya que estas piedras fueron posiblemente seleccionadas por su dureza; pues como indica el mapa geológico en el contexto inmediato también existen rocas que por su origen sedimentario y superficialidad son más blandas y accesibles.

Respecto a los ensayos de resistencia frente a los CCSS, se conocen algunas clasificaciones de acuerdo al decaimiento del material, se pueden definir cuatro tipos de materiales: Tipo I con una pérdida de material menor del 1%, Tipo II entre 1% y 5 %, Tipo III entre 5% y 10% y Tipo IV con una pérdida de material mayor del 10% (García, 2002). Estos ensayos de CCSS demuestran que las piedras con las que está construida la base del templo son un material de alta durabilidad, clasificado como de tipo I. Al ser un material duro y de baja porosidad posiblemente también ha contribuido a reducir la propagación de las humedades. No obstante, las mamposterías también están conformadas por mortero, que por su naturaleza es un material más blando y poroso, el cual puede funcionar como una red en donde se almacena y transporta la humedad (Speri et al., 2017), que al degradarse con mayor facilidad puede generar oquedades y posteriormente el desprendimiento de piedras completas (se estima que esto ha sucedido dando lugar a las reparaciones mediante rellenos de morteros, rajuela o secciones de ladrillo).

Otro material que se ensayó frente a los CCSS, fueron los ladrillos rojos, que a pesar de no corresponder con los materiales originales del templo han demostrado una gran durabilidad, similar al de algunas piedras, consiguiendo una clasificación del tipo III (piedras no aptas para exteriores) (Morales et al., 2020). Se considera que la durabilidad de los ladrillos originales del templo debe ser superior, por lo que resultaría interesante estudiar las características de fabricación de ladrillos en esta zona.

4.4.3. Representación arquitectónica y mapeos

La representación arquitectónica obtenida mediante la técnica de fotogrametría ha permitido rescatar información relevante de la configuración de los elementos y forma del templo, por ejemplo: el trazo de las torres no está perpendicular al trazo de la nave principal, esta diferencia de dos grados en relación con el eje longitudinal por la escala del templo no es apreciable a simple vista y difícilmente se hubiese detectado mediante un levantamiento con flexómetro (Ilustración 75); la técnica ha facilitado en gran medida la obtención de las dimensiones de sus elementos sin la necesidad de equipos sofisticados, haciendo posible identificar las dimensiones de elementos elevados e inaccesibles, comparado con las posibilidades de un levantamiento manual; así mismo se obtuvo un registro para delimitar los distintos materiales sobre su fachada.

Respecto a la identificación de materiales en el templo, se puede observar que existe una combinación de mamposterías entre ladrillo y piedra, dejando las mamposterías de piedra principalmente en la zona inferior del templo que va del antepecho de las ventanas hacia abajo, las formas en que se combinan los materiales resultan algo extrañas, pues en la torre existen franjas de piedra horizontales sobre ladrillo y en otras zonas existen uniones verticales marcadas (Ilustración 75). Esto junto a la poca descripción histórica del templo, no deja claro si fueron etapas constructivas separadas cronológicamente, daños por derrumbamiento o simplemente un cambio de materiales por la disponibilidad de ladrillos en lo que fue el establecimiento de una nueva villa.

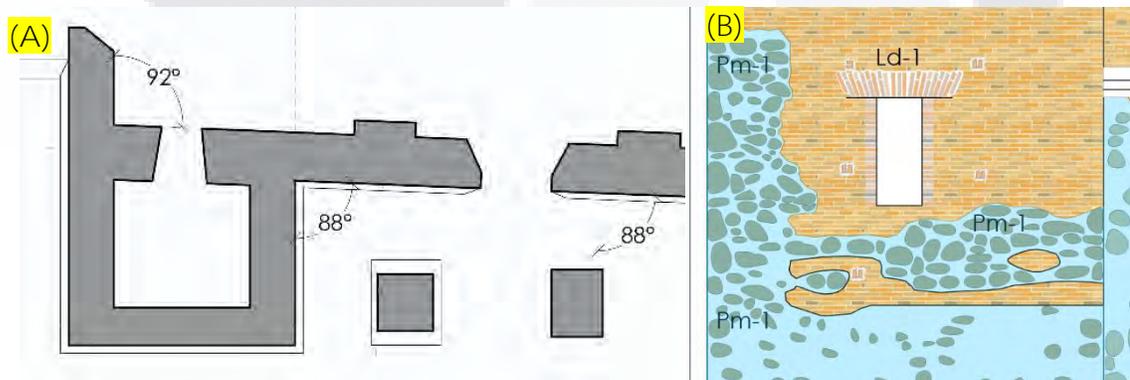


Ilustración 75 Ventajas de la fotogrametría: (A) Identifica inclinaciones (B) Cambios de materiales. Elaboración propia



Ilustración 76 Especies vegetales invasoras en el TNSC. Elaboración propia.

Como se ha visto en la representación de la fachada sur, el templo se ve afectado en una mayor superficie por colonizaciones biológicas, conformadas por helechos, gramíneas y musgos (Ilustración 76). Posiblemente estos seres vivos son el origen de la erosión por sus raíces o la aparición de manchas y depósitos por el proceso de descomposición de los mismos (Casas, 2018).

Se estima que estas colonizaciones biológicas se alojan en los materiales porosos del templo, como el mortero de las mamposterías y los ladrillos; en zonas que están bajo sombra durante grandes periodos del día, reduciendo la evaporación de la humedad, dichas condiciones se pueden ver en los paños interiores entre la torre y uno de los contrafuertes, también en los contrafuertes revestidos con tecata que están bajo la sombra de los árboles (Ilustración 77); por último las zonas puntuales de vegetación invasora en los ladrillos colindantes con las gárgolas donde posiblemente existen filtraciones de agua pluvial.



Ilustración 77 Regiones de colonización vegetal: (A) Sombreado por torre y contrafuerte (B) Sombreado por árboles. Elaboración Propia.

5. CICLOS DE CRISTALIZACIÓN EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

Como se ha demostrado en el capítulo anterior, usualmente el patrimonio edificado no está construido de un sólo material, en su lugar se conforma de varios materiales que constituyen los sistemas constructivos. Por ello se estima que conocer la durabilidad por separado de estos materiales no es suficiente para hacer interpretaciones respecto a cómo interactúan los elementos frente al intemperismo (exposición prolongada a condiciones ambientales externas); es por la naturaleza de los sistemas constructivos que nace el interés por desarrollar una metodología que permita ensayar elementos a escala real y con ello evaluar la durabilidad de los elementos compuestos así como la eficiencia de las técnicas o productos destinados a corregir problemas de humedades.

5.1. Extrapolación de los ciclos de cristalización de sulfato

Inicialmente es necesario comprender en qué consisten los ensayos de ciclos de cristalización de sulfato de sodio (CCSS), también utilizados para desarrollar un envejecimiento acelerado en materiales porosos; para con ellos representar y/o evaluar la resistencia de los materiales frente a algunos procesos químicos derivados de la humedad como es el caso de las eflorescencias. Así como también entender el desarrollo de este proceso experimental, los procesos de registro y alternativas a los procedimientos convencionales que se encuentran descritos en la bibliografía.

5.1.1. Desarrollo básico de ciclos de cristalización de sulfato

Los ensayos mediante CCSS, son considerados como una metodología básica de investigación en el campo de estudio de los materiales porosos, sean rocas naturales o artificiales como el concreto; se trata de pruebas relativamente sencillas estandarizadas por algunos organismos: ASTM, DIN, NORMAL, RILEM, NE (Brea, Lamas, & Hermo, 2008)

Siguiendo la norma europea EN 12370 standard, la cual tiene como objetivo estudiar la resistencia que tienen los materiales ante estos ciclos de cristalización; se identifican el proceso de aplicación que consta de los siguientes pasos:

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- A. Saturación de las muestras durante dos horas utilizando una salmuera que cuenta con una concentración de SFS al 10% respecto al peso del agua destilada en gramos (Yam et al., 2003).
 - B. Secado en horno durante al menos 16 horas a una temperatura de 100 °C para garantizar el secado de todas las muestras (Janvier et al., 2016)
 - C. Enfriamiento de las muestras o reposo dejando por lo menos dos horas a temperatura ambiente tiempo que puede utilizarse para preparar la siguiente solución (Janvier et al., 2016).

Para garantizar que las muestras permanezcan sumergidas bajo una rasante de 1 cm de solución de SFS es necesario conocer su absorción, que es una propiedad física de los materiales porosos; la cual se expresa en porcentaje, y resulta de dividir la diferencia entre el peso seco y el saturado sobre el peso seco (López et al., 2018; UDELAP, 2023), de la siguiente manera:

abs= absorción

ps= peso seco

ssd= saturado

$$abs = \frac{ps - ssd}{ps}$$

Este dato es un auxiliar que permite estimar la cantidad de agua que absorben los materiales porosos al momento de saturarlos en el proceso.

5.1.2. Saturación de probetas a escala real

Como se ha mencionado en el apartado anterior, un aspecto importante para desarrollar eflorescencias en laboratorio depende del proceso de saturación de los especímenes, pues gracias al comportamiento del agua de invadir los cuerpos porosos mediante capilaridad, se permite el transporte de las sales que desarrollan la eflorescencia en la red porosa del sustrato.

La metodología convencional plantea una saturación mediante la inmersión, debido a que las normativas están desarrolladas para aplicarse en probetas pequeñas que van de 5 a 20 cm de lado como máximo. No obstante, algunas investigaciones plantean propuestas para desarrollar humedades en elementos de mayor tamaño, controlando la humedad en la base de desplante mediante sistemas de irrigación.

Para implementar un sistema que desarrolle humedades de manera controlada en elementos constructivos de mayor tamaño que superen el metro cuadrado de superficie, es necesario: (1) contar con barreras impermeables que delimiten la base donde se desplantan las probetas, impidiendo que agentes externos alteren el desarrollo de la humedad, (2) utilizar una base o suelo portante con cualidades permeables que permita soportar los especímenes y facilitar la distribución de la salmuera desde su base, (3) implementar un sistema de riego que permita distribuir la salmuera de manera uniforme dentro del material portante de los especímenes (Serna et al., 2016) (Ilustración 78).

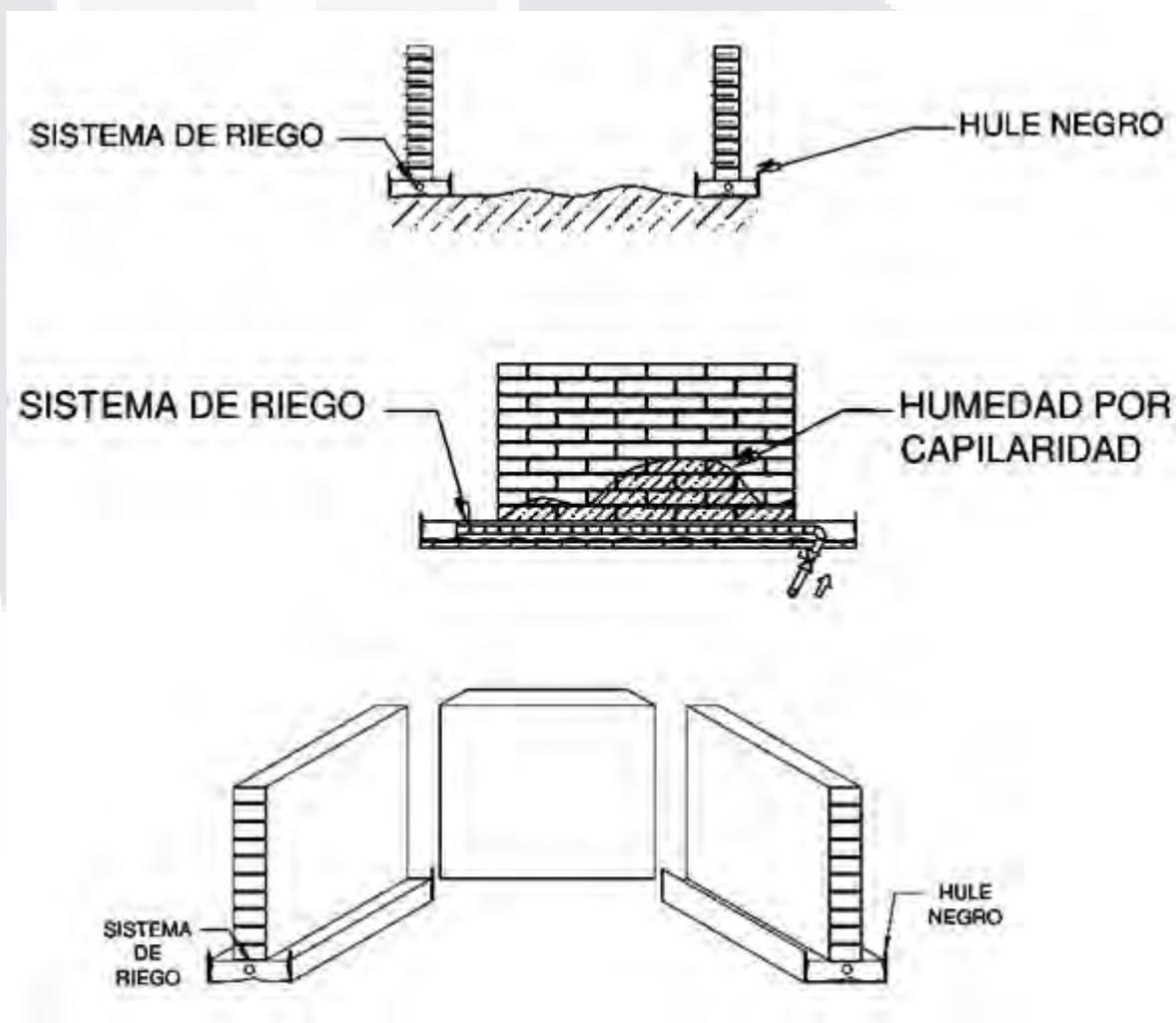


Ilustración 78 Conceptualización para humedecer muros en espacios abiertos (Serna et al., 2016).

Otra manera de inducir humedades en elementos de gran tamaño es la construcción de cubetas o recipientes de acero, donde se pueden incluir plataformas para suspender las muestras y garantizar que siempre existe agua en la base de las probetas. Además, estos recipientes permiten transportar las muestras hasta su lugar de reposo o el sitio donde se realizan los respectivos registros. En el caso de la experimentación que se expone en la Ilustración 79, los especímenes de estudio son muros de ladrillo rojo y muros de piedra labrada; el sitio de reposo fue un sótano, donde por su naturaleza aislada le permite mantener un ambiente controlado (Frenzel et al., 2023).



Ilustración 79 Inducir humedades en muros mediante recipientes de acero (Frenzel et al., 2023).

5.1.3. Alternativas para el secado de probetas

Como se ha mencionado en el subtítulo 5.1.1 (Desarrollo básico de ciclos de cristalización de sulfato), parte importante de la cristalización de los minerales depende del proceso de secado de los especímenes, pues gracias a esta diferencia radical de humedad se permite que las sales contenidas se cristalicen de manera acelerada, en comparación con el proceso de secado que se produce en un medio natural.

La metodología convencional, plantea la utilización de un horno en laboratorio, proporcionando ventajas de estandarización y control al momento de desarrollar las pruebas. Sin embargo, existen alternativas para propiciar estos cambios en la humedad y propiciar la migración de sales dentro de la red porosa de los materiales rocosos.

La ventilación forzada en especímenes de laboratorio permite desarrollar eflorescencias de manera controlada, evidenciando que es posible desarrollar la formación de eflorescencias por este mecanismo. Controlar el caudal de viento permite controlar la aparición de cristales, a mayor caudal será más representativa la formación de cristales, aquellos que se forman más rápido suelen retirarse con mayor facilidad que los que se han formado por una ventilación natural (Mayo & Lasheras, 2012) (Ilustración 80).

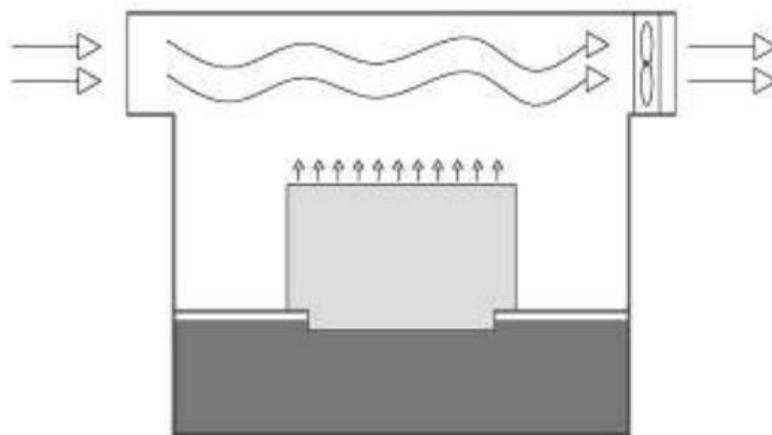


Ilustración 80 Generación de eflorescencias mediante secado por viento (Mayo & Lasheras, 2012).

5.2. Metodología experimental

El planteamiento metodológico tiene el mismo concepto que los ensayos de envejecimiento acelerado por CCSS: saturación, secado y registro. Para esta investigación se diseña una extrapolación de dicha técnica para aplicarla a escala real 1:1; debido a que las dimensiones convencionales normativas comprenden cubos de 5 a 7.5 cm de lado (manipulables y acordes a los instrumentos para su desarrollo). En su lugar se plantea ensayar muros de mampostería mixta de ladrillo y piedra, esperando que las eflorescencias desarrolladas generen un deterioro representativo, suficiente para ser registrado y con ello hacer valoraciones.

5.2.1. Emplazamiento y auxiliares

La experimentación se ha llevado a cabo a la intemperie, por lo que es necesario preparar el terreno con una membrana impermeable para evitar fuga de la salmuera hacia el suelo; se crearon fronteras con ladrillos para delimitar la ubicación de cada uno de los muros a tratar y contener la salmuera de Sulfato de Sodio (SFS) en la base de cada espécimen; por último, para evitar la posible contaminación entre salmueras se han separado en dos grupos o plataformas donde cada una contiene cuatro especímenes.

Cada plataforma necesita un espacio de 4.00 m de largo y 1.50 m de ancho donde se pueden ubicar cuatro muros con una separación de 1.0 m entre ellos, distancia suficiente para obtener las fotografías necesarias (Ilustración 81).

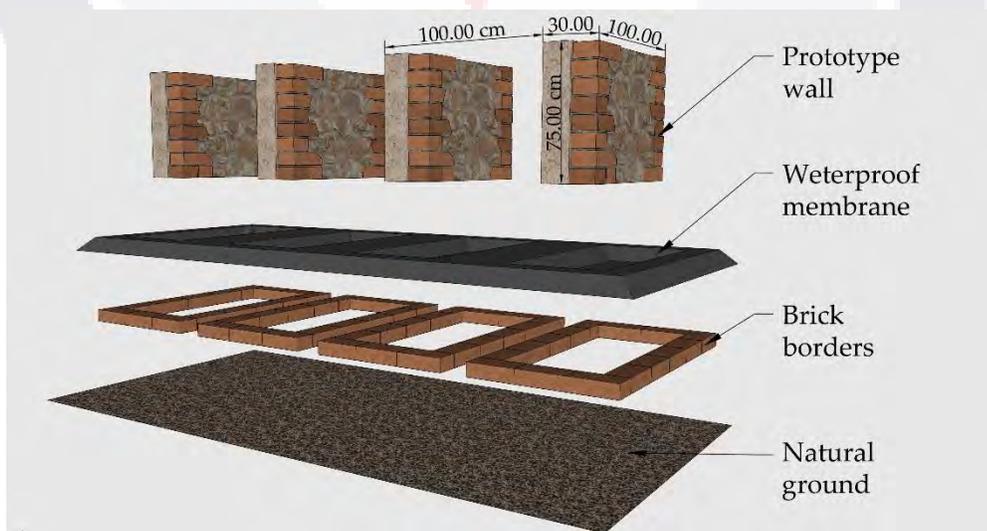


Ilustración 81 Emplazamiento y disposición del deshidratador solar. Elaboración propia.

Debido a que es necesario mejorar la ventilación y ganancia térmica: se han fabricado dos deshidratadores solares, pues se sabe que las ganancias térmicas por radiación solar se acumulan en su interior, induciendo que el aire circule por convección (UNAM, 2023); la construcción de este último se basa en una estructura de tuberías de PVC hidráulico y una cubierta envolvente de caucho translúcido para asegurar las ganancias de calor.

Con el fin de mejorar el funcionamiento del deshidratador es necesario comprender la ubicación geográfica, debido a que la experimentación se lleva a cabo en una zona de uso horario GMT -6.00, una latitud de 19.8547 y longitud -104.2320 (SunEarthTools, 2023). En ella se identifica que el sol tiene una inclinación hacia el sur, orientación en la que se obtiene la mayor incidencia solar durante el día (Ilustración 82).

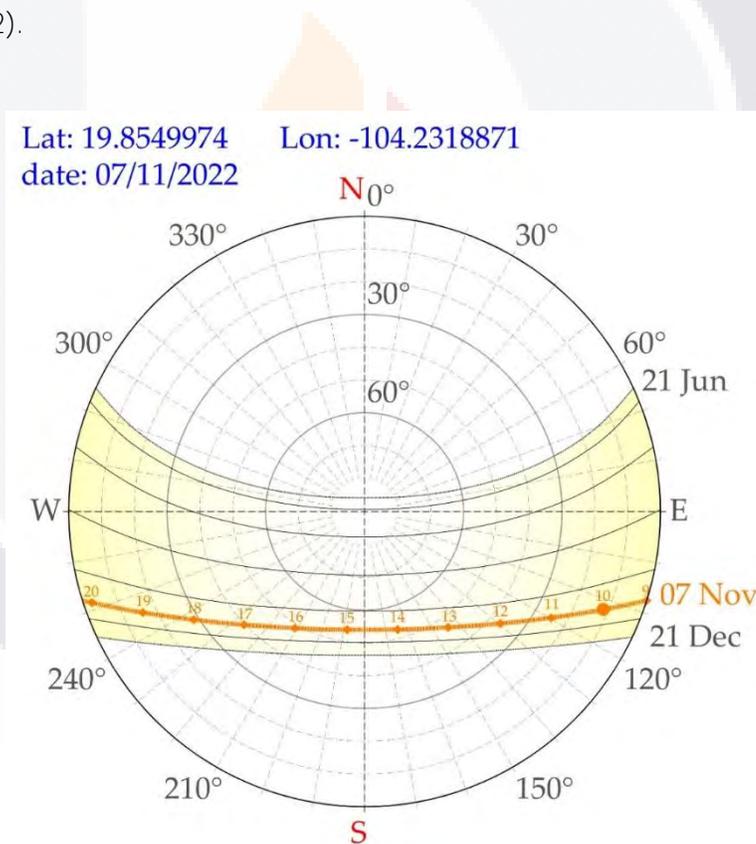


Ilustración 82 Grafica solar del área de estudio experimental (SunEarthTools, 2023).

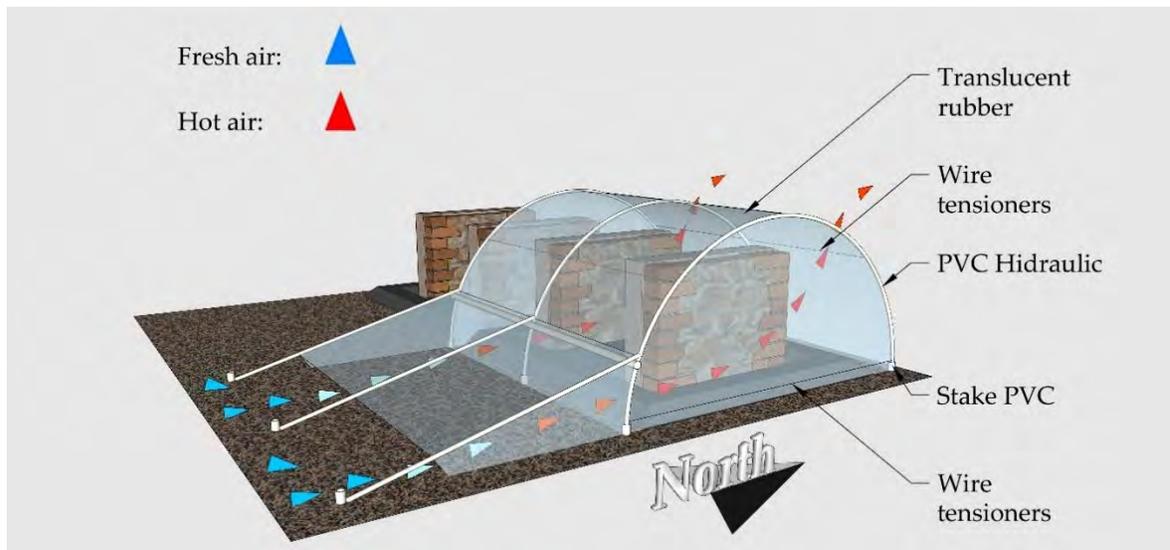


Ilustración 83 Disposición y funcionamiento del deshidratador solar. Elaboración propia.

La orientación asignada también debe garantizar la circulación de viento entre los muros, por ello se han dispuesto con una orientación longitudinal Norte-Sur, produciendo que ambas caras reciban la misma radiación solar durante el día, la mitad del día a la sombra y el resto del día al sol directo, siendo el lateral sur el que recibirá radiación directa en el transcurso del día (Ilustración 83).

5.2.2. Materiales de estudio que conforman los muros

Si bien los materiales a utilizar, idealmente deberían corresponder con los materiales originales del templo o presentar similitudes significativas con los mismos, esto no fue posible debido a que: al momento de esta investigación no se contaba con un estudio previo de dicha edificación; en su contexto histórico no se encuentran estimaciones del origen de sus materiales; para seleccionar materiales similares es necesario un reconocimiento de la zona y sus alrededores, para identificar bancos de materiales y comparar sus cualidades. Actividades que por su naturaleza implican una investigación específica por separado y está fuera de los alcances y objetivos de este estudio.

Lo anteriormente mencionado no tiene mucha relevancia en el desarrollo experimental de esta investigación, puesto que se da por entendido que: la metodología propuesta tiene como objetivo evaluar los sistemas constructivos en sí y ensayar su durabilidad considerando el comportamiento de un conjunto de materiales presentes en un mismo elemento, considerando que estos tienen

características físicas y durabilidades diferentes, no obstante, si se han considerado materiales que se estima tienen cualidades similares a las del templo.

De tal manera que el conjunto de materiales para fabricar las probetas de estudio consiste en: ladrillo rojo horneado, piedra braza y un mortero elaborado a base de: una proporción de cemento, dos de cal y ocho de arena (proporción

Tabla 8 Propiedades físicas de los materiales para los especímenes. Elaboración propia.

Material	Porosidad (%)	Absorción (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad matriz (g/cm ³)
Ladrillo rojo	43.93	23.69	1.50	2.69
Mortero	25.92	11.22	2.31	3.11
Piedra braza	12.54	4.84	2.58	2.96

1:2:8), sus propiedades físicas se describen en la (Tabla 8).

Estos materiales se utilizaron para construir muros de mampostería combinada en representación del sistema constructivo que conforman los muros del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria, dicha edificación histórica patrimonial que se ha descrito anteriormente en el capítulo 4 (EL TEMPLO DE LA CANDELARIA EN VILLA DE PURIFICACIÓN). Dicha tipología consiste en la combinación de ladrillos y piedras, utilizando el ladrillo como confinamiento. De tal manera se construyeron ocho muros de mampostería con dimensiones de 30 cm de espesor, 100 cm de largo y 75 cm de alto, con un volumen estimado de 225,000 cm³; a continuación, se les denominara como espécimen (Ilustración 84).

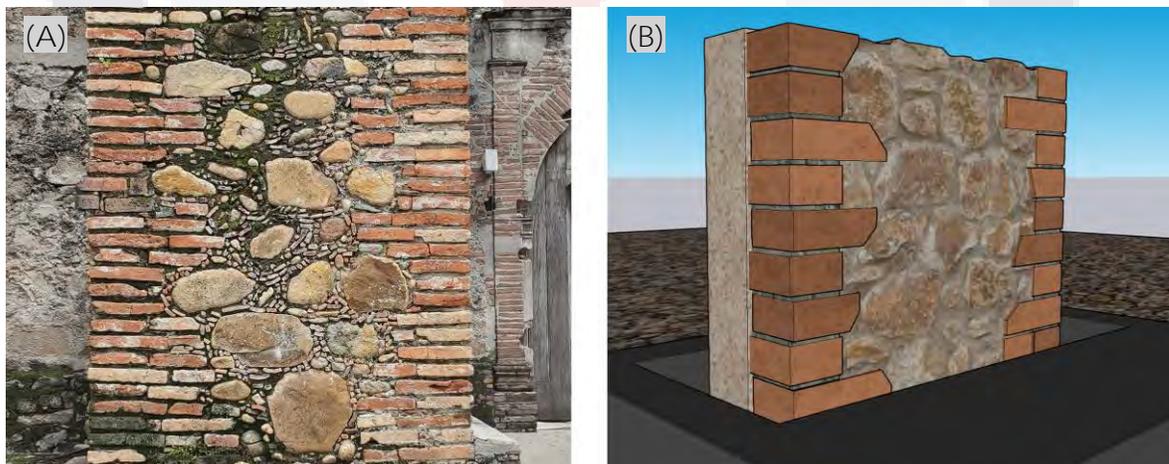


Ilustración 84 (A) Tipología de mampostería. (B) Conceptualización para construir especímenes. Elaboración propia.

5.2.3. Instrumentos para registrar humedad y temperatura

Para el seguimiento de la temperatura se ha optado por implementar una cámara termográfica, esto es un dispositivo externo para teléfono inteligente, controlada mediante la aplicación mobilR (Guide, 2022), con las siguientes características: IR Resolución: 120*90, campo de visión: 50°, rango de medición de temperatura: -20 ~ 120 grados Celsius, precisión de medición de ± 3 (en un entorno de 10 ~ 26 °C) (Ilustración 86).

Es recomendable identificar la distancia de captura de la cámara, previo a la construcción de especímenes fijos, puesto que el ángulo de apertura o apertura visual es distinto al de la cámara integrada al teléfono inteligente (Ilustración 85).

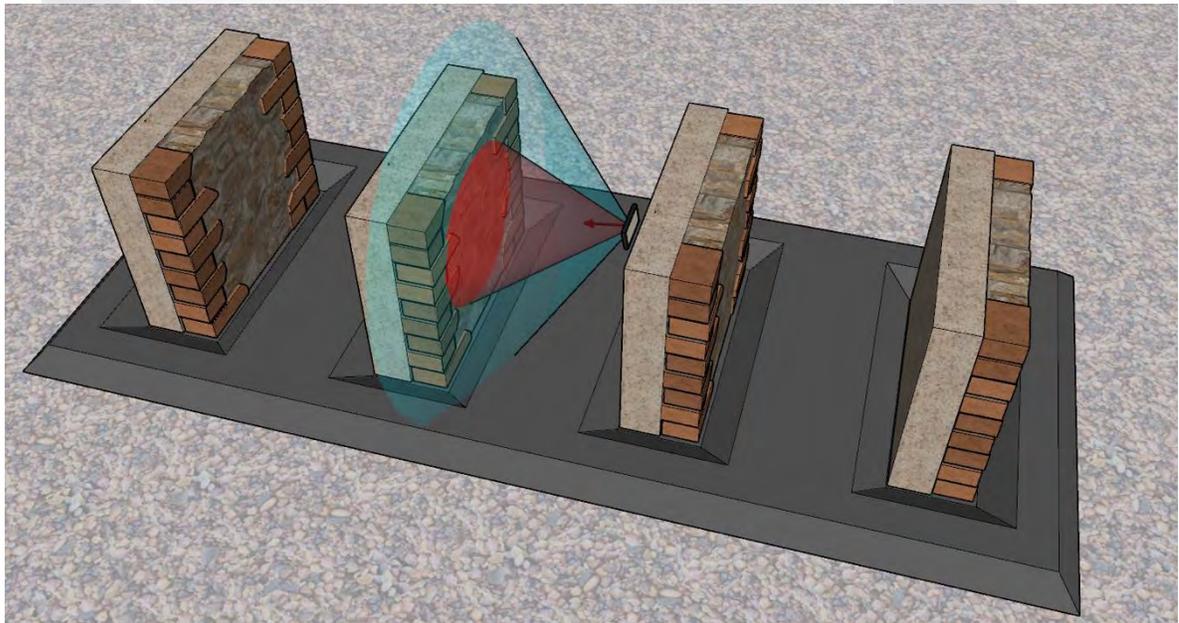


Ilustración 85 Apertura visual de la cámara integrada (azul) y la cámara termográfica (rojo). Dada la separación entre muros, la cámara termográfica no consigue una imagen perpendicular completa del espécimen. Elaboración propia.

En cuanto al registro de humedad se utiliza un higrómetro para sólidos con pines o puntas metálicas, (no se recomienda el higrómetro con sensor de placa pues no es eficiente en superficies irregulares). El higrómetro utilizado tiene las siguientes características: rango de humedad registrable 0% a 70%; temperatura de operación de 0° a 40° C; precisión $\pm 0.5\%$, longitud sonda 1.10 cm (Ilustración 86).



Ilustración 86 A) Cámara termográfica (Guide, 2022); B) Higrómetro para sólidos. Elaboración propia.

5.2.4. Ensayos de cristalización en muros

Los ocho especímenes fueron sometidos a ocho CCSS. A continuación, se describe como se han adaptado y aplicado cada uno de los procesos necesarios para desarrollar dicha metodología (1) saturación, (2) secado y (3) registro de datos. Dichos tratamientos se han diferenciado en grupos para encontrar los mejores resultados, estos se han dispuesto como se indica en la (Tabla 9):

Tabla 9 Disposición y niveles de tratamientos experimentales. Elaboración propia.

Tratamientos o entradas	Salmuera al 5%	Salmuera al 10%	subtotal
Secado con deshidratador	muros 1 y 2	muros 5 y 6	4 muros
Secado a intemperie	muros 3 y 4	muros 7 y 8	4 muros
	4 muros	4 muros	8 muros

Para realizar la saturación se han humedecido los especímenes por capilaridad inundando su base, para ello se ha calculado un estimado del agua necesaria para cada uno; esto se obtiene al ponderar la absorción de los tres materiales: partiendo del supuesto de que cada muro está conformado por un 15% de ladrillo, 25% de mortero y el 60% de piedra, entonces podemos calcular la absorción total del muro:

$$\text{absorción total} = (15\% * 23.69\%) + (25\% * 11.22\%) + (60\% * 4.84\%)$$

$$\text{absorción total} = 9.26\%$$

Una vez obtenida la absorción total del muro, se multiplica por el volumen idealizado del mismo:

$$\text{agua necesaria} = (225,000 \text{ cm}^3)(9.26\%)$$

$$\text{agua necesaria} = 20,841.75 \text{ cm}^3$$

$$\text{agua necesaria} = 20.84 \text{ L}$$

Con esto se elaboran los dos tipos de salmueras para humedecer los especímenes, una de ellas con una saturación del 5%, esto es: 20 litros de agua y 1 Kg de SFS. La segunda del 10% contiene: 20 L de agua y 2 kg de SFS. Esta salmuera se aplica en la base de cada espécimen, colocando 5 litros cada 30 minutos durante dos horas y se dejan reposar durante un día antes de iniciar el proceso de secado (Ilustración 87).

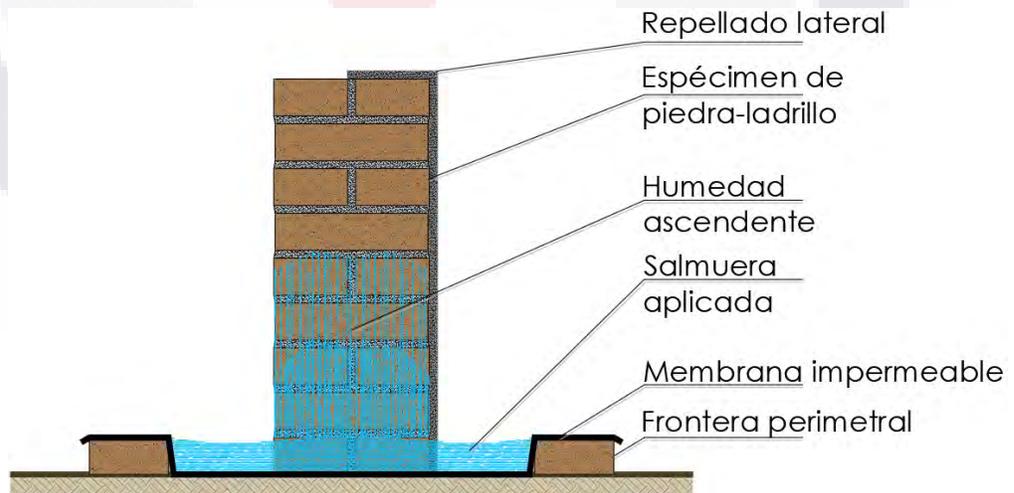


Ilustración 87 Mecanismo de absorción capilar en especímenes, representación en sección. Elaboración propia.

El secado se puede acelerar al utilizar un sistema de ventilación, propiciando la formación de cristales (Mayo & Lasheras, 2012), otro factor que favorece el desarrollo de las eflorescencias es la ganancia de temperatura (Angeli et al., 2010; Lezzerini et al., 2022); por lo cual en esta experimentación se ha implementado el uso del deshidratador solar, herramienta que se ha descrito en el apartado 5.2.1(Emplazamiento y auxiliares), este instrumento se adaptó a la escala del experimento; así mismo se necesita un tratamiento de contraste que consiste en el secado a intemperie o condiciones ambientales naturales.

Se ha considerado suficiente para el secado el transcurso de seis días para ambos tratamientos, esto se traduce en una semana por ciclo, dejando el séptimo día de la semana para el levantamiento y registro de datos, así como iniciar un nuevo ciclo como se plantea en la Ilustración 88.

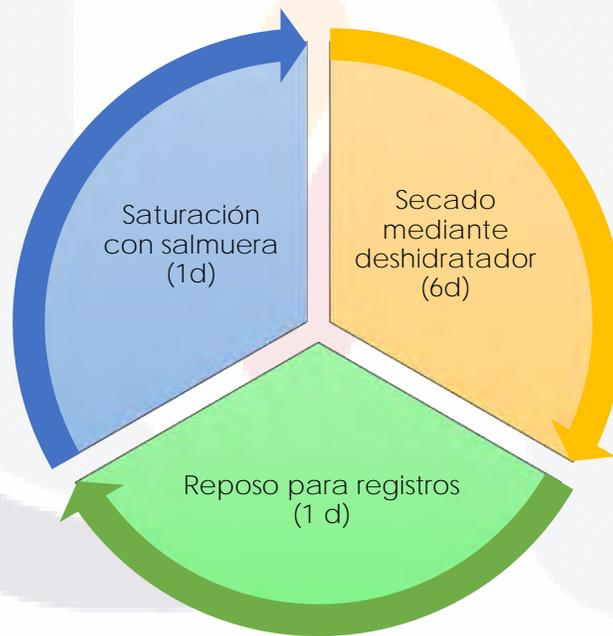


Ilustración 88 Tiempos para desarrollar CCSS en los especímenes. Elaboración propia.

5.2.5. Recolección de datos y proceso de modelos.

El registro de datos abarca distintas mediciones, tales como: un censo de humedad mediante el higrómetro para sólidos, la recolección de una fotografía térmica por cada lado del espécimen, así como la elaboración de un modelo mediante fotogrametría, esperando cuantificar el volumen durante el transcurso de la experimentación.

Cabe recalcar que los especímenes son una representación de edificaciones patrimoniales, cuyo volumen está delimitado por una superficial libre, por lo que supone una dificultad para registrar datos por medios convencionales, por ello se incorpora el uso de fotogrametría digital considerada como una técnica confiable para representar el estado real de formas complejas (AV3 Aerovisual, 2023; Janvier et al., 2016). Se espera que la degradación sea significativa; pues se sabe que la fotogrametría llega a tener errores que van del 6% en condiciones desfavorables como son formas regulares y mala iluminación (Figueroa C. & Pacheco M., 2016); estos resultados se pueden mejorar hasta obtener una precisión del 2% en cuerpos irregulares, opacos e iluminación controlada (Vizcaíno & Soto, 2018).

Para el desarrollo de la técnica de fotogrametría, cada pared fue procesada por separado, requiriendo la captura de 42 imágenes para crear cada modelo. El proceso de digitalización se realizó mediante el software AMS. Este proceso es similar al utilizado para digitalizar el templo, descrito en el apartado 4.3.4 (Proceso de fotogrametría digital dentro del software.), la adaptación se ejemplifica en la Ilustración 89.

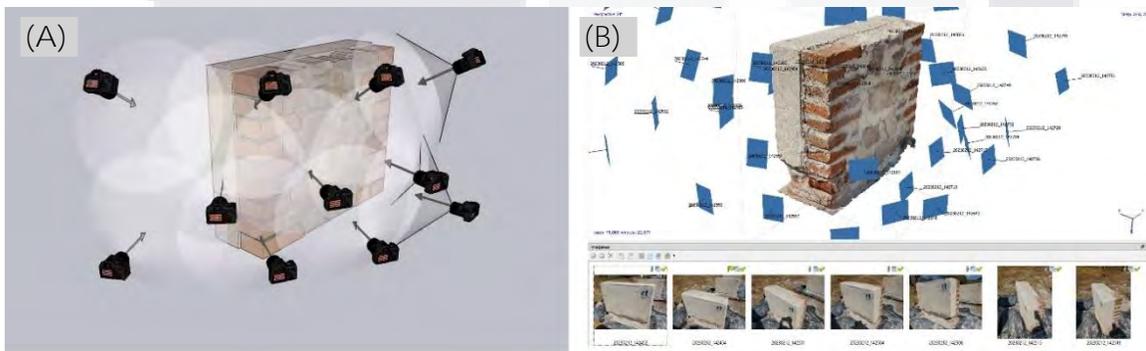


Ilustración 89 Esquema de capturas fotográficas (B) Modelado en Agisoft Metashape. Elaboración propia.

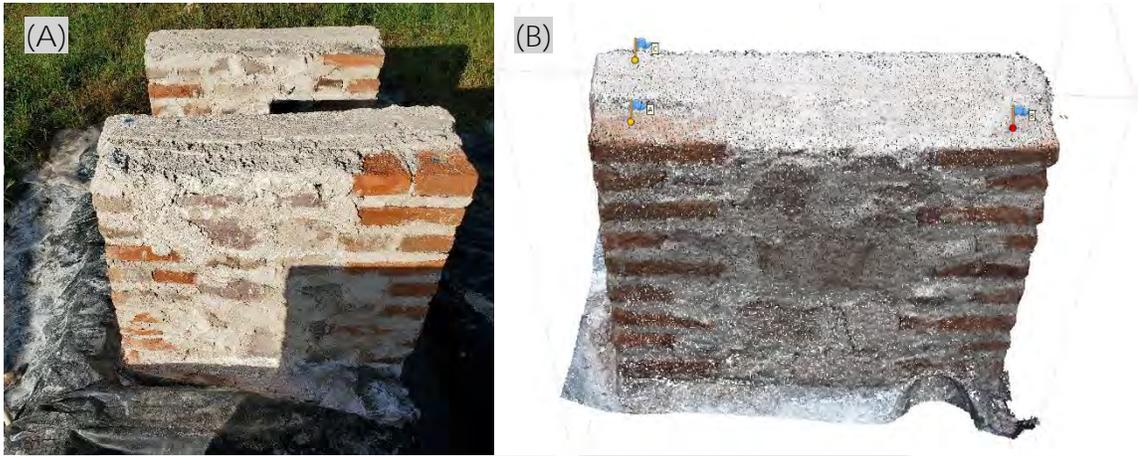


Ilustración 90 (A) Marcadores en especímenes (B) Reflejo de marcadores en AMS. Elaboración propia.

En este caso se incorporaron tres referencias en la cara superior de todos los especímenes, indicados con un punto en color azul; estos marcadores fueron ubicados mediante flexómetro, cuyas coordenadas X, Y, Z son: A) 0, 0, 0; B) 0.80, 0, 0; C) 0, 0.20, 0 (Ilustración 90).

Los modelos resultantes cuentan con segmentos del entorno que se fusionan con la base del muro, para ello se elaboró un modelo o capa de recorte en SKP, que permite seccionar los muros con la herramienta intersecar caras; dicho corte se aplica siempre en la misma ubicación gracias a las coordenadas del modelo (Ilustración 91). Dicho recorte y algunos errores nativos de la fotogrametría requieren una reparación del modelo para ser considerado como un sólido.

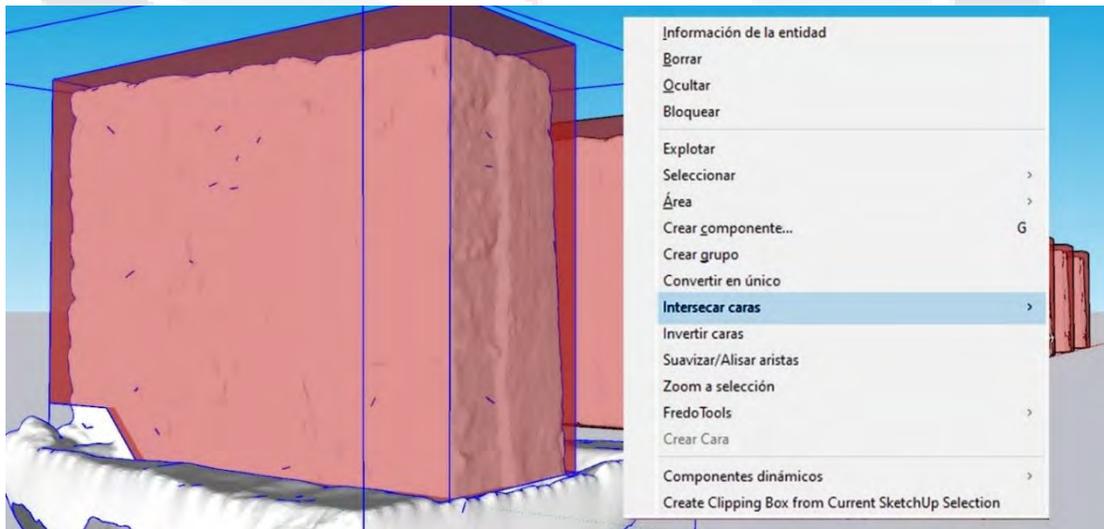


Ilustración 91 Recorte de muros mediante SKP. Elaboración propia.

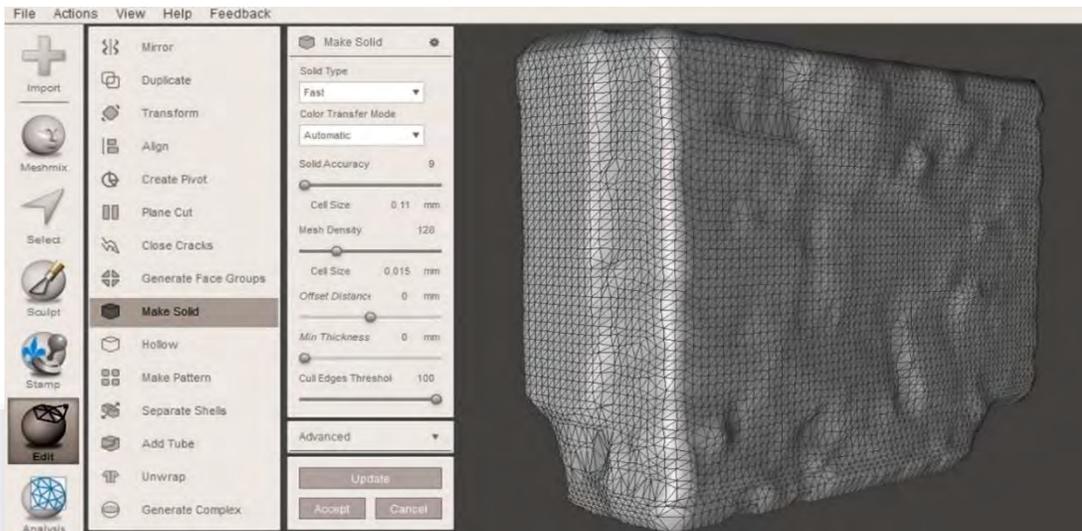


Ilustración 92 Reparación de modelos de muros, mediante Meshmixer. Elaboración propia.

Para agilizar el proceso de reparación de los modelos y convertirlos a sólidos se utilizó Autodesk Meshmixer (Autodesk, 2021). Específicamente una herramienta encontrada en el menú: Editar, que desglosa la función para generar sólidos y esta a su vez contiene los parámetros de control, donde se indicó una malla con polígonos de 1 cm de lado en promedio (Ilustración 92).

Para finalizar la cuantificación volumétrica se regresa a SKP (Trimble, 2023), utilizando como unidad de medida: centímetros cúbicos con dos decimales de precisión. En donde se verifican los modelos mediante una extensión llamada SolidInspector (Thomassen, 2021), y así obtener la cuantificación del volumen (Ilustración 93).

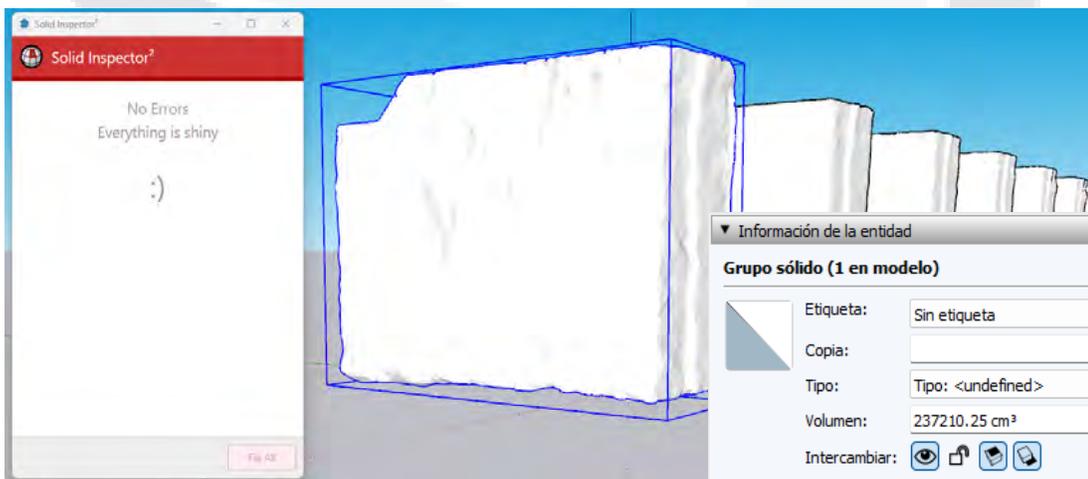


Ilustración 93 Verificación de modelo por SolidInspector, para cuantificar el volumen. E. propia.

Al finalizar la experimentación y como un valor adicional de control, se registró el peso del material desprendido de los especímenes como resultado del deterioro de las eflorescencias, dicho material se precipita y acumula sobre el fondo impermeable, donde fue recogido para pesarlo en una báscula con precisión de dos decimales.

Además, para evaluar la pertinencia del uso del deshidratador, se monitorearon los valores de humedad y temperatura, registrando los valores promedio para cada cara de los especímenes. Para obtener la humedad promedio se registraron 12 puntos distribuidos en cada cara, mientras que la temperatura se obtuvo a través de marcadores dedicados del software controlador de la cámara termográfica, procurando que la adquisición de la imagen térmica fuese lo más perpendicular posible al muro objetivo (Ilustración 94).

El censo de temperatura y humedad se llevó a cabo en dos etapas diferentes de los CCSS, primero en el estado seco de los materiales (Ilustración 95) y un segundo levantamiento el día posterior a la aplicación de la salmuera (Ilustración 96), esto permite evaluar las diferencias de temperatura y humedad entre el estado seco y el estado húmedo o saturado.

Los resultados fueron colocados en registros de evidencias, separando del lado izquierdo las condiciones de los materiales aparentes y al derecho la cara repellada del espécimen. A la par fue calculado el promedio de la humedad y la temperatura (Ilustración 95, Ilustración 96), también se observa en las bitácoras de registros (ver Anexo B, Bitácoras de registros, espécimen 1, p165).

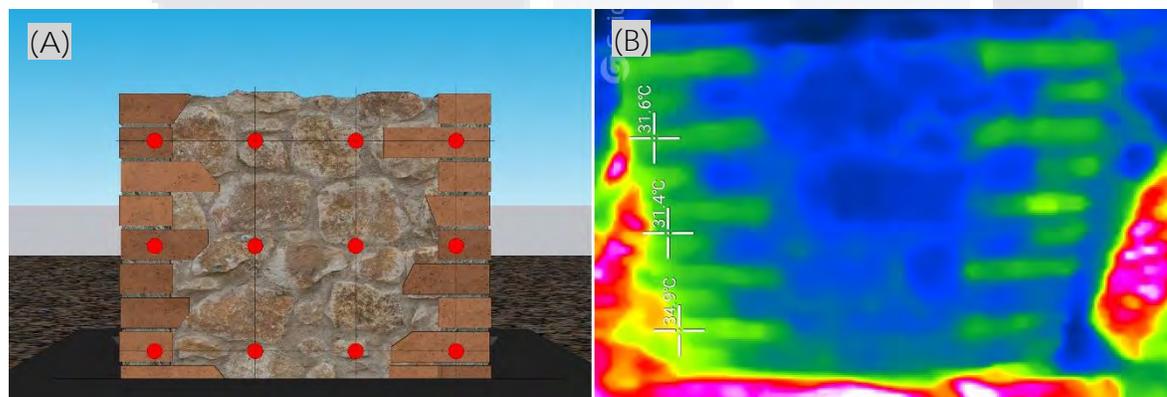


Ilustración 94 (A) Puntos para censar humedad. (B) Ilustración térmica con marcadores.

REGISTRO DE EVIDENCIAS

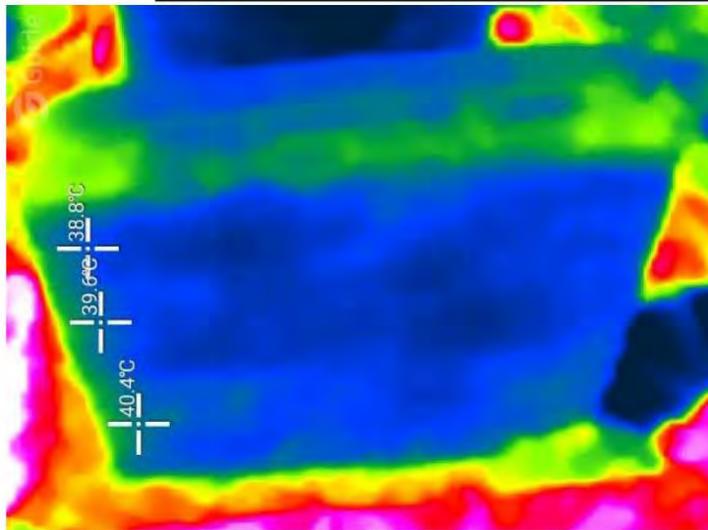
MURO 1_C1 APARENTE

	HUMEDAD			
N3	7.5	12.5	16.5	2
N2	3	29.5	29.5	12.5
N1	10	10.5	10.5	12.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

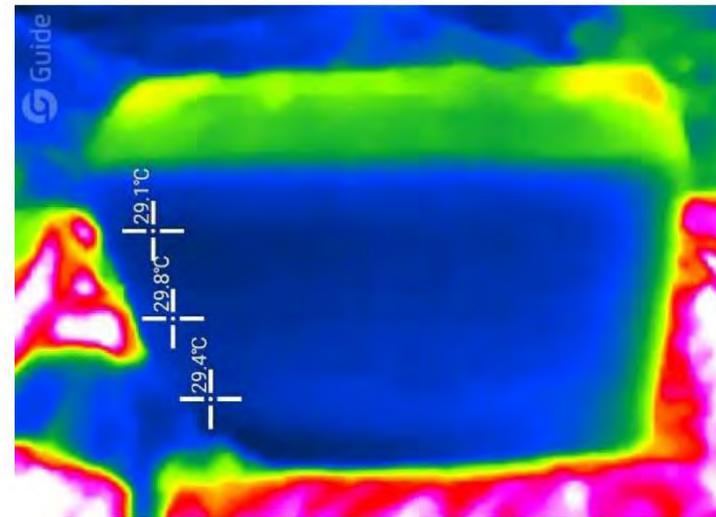
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	16	21	17.5	18
	16.5	17.5	18.5	17
	17.5	19.5	18	21.5
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 39.6 °C
H M: 13.04 %



T M: 29.43 °C
H M: 18.2 %
240024.94 CM2
FECHA: 07/11/2022

Ilustración 95 Registro de evidencias estado seco del muro. Elaboración propia.

REGISTRO DE EVIDENCIAS

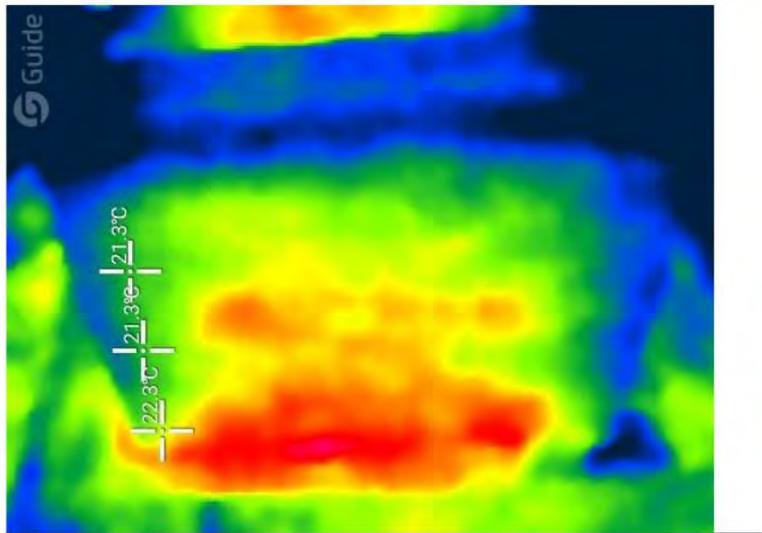
MURO 1_CICLO 1.5 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	21.5	25	21.5	22
N2	21	27	21	21.5
N1	20.5	19.5	21.5	19.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

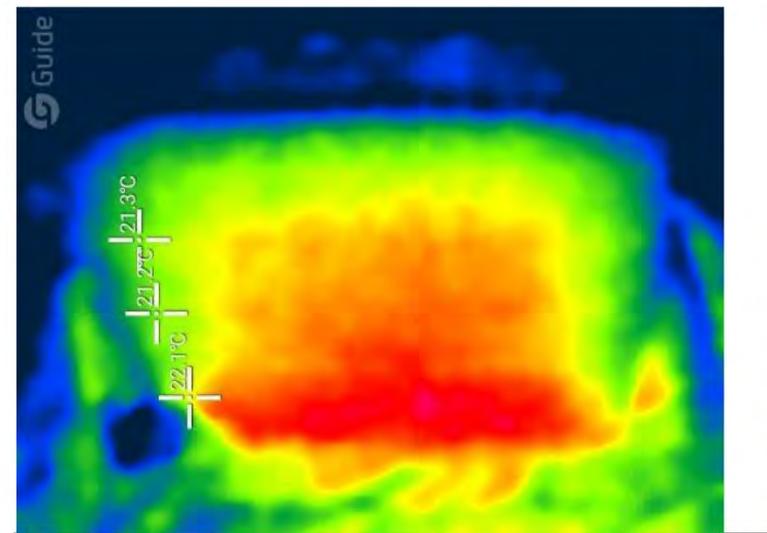
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	23	24	26	26.5
	21.5	25	23	23
	26	51	23.5	63
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 21.63 °C
H M: 21.79 %



T M: 21.53 °C
H M: 29.62 %

FECHA: 08/11/2022

Ilustración 96 Registro de evidencias estado húmedo del muro. Elaboración propia.

5.3. Discusión de resultados, experimentación con muros

5.3.1. Descripción superficial

Como resultado de la experimentación se han aplicado ocho CCSS, uno cada semana durante dos meses, dando un total de 8 ciclos. Con ello se ha obtenido una degradación progresiva de los muros que se ejemplifica con una colección fotográfica del espécimen cinco (Tabla 10). Como descripción general se aprecia que la eflorescencia sólo afectó los primeros 22 cm de altura desde la base.

Por la cara de los materiales expuestos, es necesario visualizarla como dos regiones, una de ladrillos y otra de piedra: en ambas se aprecia a partir del ciclo dos la aparición de manchas blancas en la zona inferior, en la región de ladrillos esta mancha crece progresivamente hasta llegar a la tercera hilada de ladrillos, donde en el ciclo ocho se convierte en erosión por desprendimiento de partículas en los ladrillos y mortero; sucede algo similar para la región de piedra donde sólo se aprecian afectaciones hasta los primeros 15 cm de altura principalmente en el mortero y la erosión sólo afecta a este último, dejando las piedras prácticamente intactas.

Para la cara posterior que está recubierta o repellada con mortero, se considera como si fuese un sólo material: en ella la aparición de manchas blancas es menor, en cambio se tiene una erosión notable a partir del ciclo cuatro; la degradación en volumen resulta más significativa y fácil de apreciar. Cabe señalar que la zona de mortero que cubre las regiones de ladrillo es donde se consigue afectar en mayor medida el recubrimiento.

Tabla 10 Progresión de CCSS en el espécimen 5, vista por ambas caras. Elaboración propia

	Reposo, Ciclo 0	Ciclo 2	Ciclo 4	Ciclo 6	Ciclo 8
Materiales expuestos					
Materiales repellados					

Como una primera evaluación y de manera superficial, se puede valorar visualmente los resultados entre cada grupo de los distintos tratamientos, mediante una imagen lateral obtenida de cada espécimen. Los grupos corresponden a los establecidos en la (Tabla 9, pag.109).

Comparando los tratamientos según la concentración de salmuera: Se aprecia una mayor degradación en aquellos muros tratados con una concentración de SFS al 10% (5, 6, 7 y 8), donde los daños representan erosiones importantes en los ladrillos, repellido y socavación en las juntas; en comparación con aquellos de menor concentración, donde principalmente se presentan manchas y apenas presentan una erosión somera (1, 2, 3, 4) (Tabla 11).

En cuanto al método de secado, se puede observar que: el secado mediante el deshidratador solar ha favorecido la degradación (1,2 y 5,6). Pues las afectaciones llegan a mayor altura y se perciben con mayor profundidad en comparación de los muros secados a intemperie donde las afectaciones son más bajas y de menor profundidad respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11 Estado final de las muestras según su grupo de tratamiento, vista lateral.
Elaboración propia

Entrada o tratamientos	Salmuera al 5%		Salmuera al 10%	
Secado mediante deshidratador solar	1 	2 	5 	6 
Secado a intemperie	3 	4 	7 	8 

5.3.2. Seguimiento volumétrico mediante fotogrametría

Como resultado del seguimiento volumétrico por fotogrametría, se obtuvo un total de nueve modelos por espécimen, esto es, un modelo por cada ciclo partiendo del estado de reposo o ciclo cero, por los ocho especímenes, generando un total de 72 modelos sólidos.

Al obtener el volumen de estos modelos, se genera una representación gráfica del comportamiento volumétrico expresado en centímetros cúbicos para cada ejemplar, demostrando las alteraciones registradas por fotogrametría en el transcurso de la experimentación (Ilustración 97).

En dicha gráfica se aprecia que el comportamiento del volumen presenta ganancias y decrementos de manera aleatoria, esto supone en una primera interpretación que de alguna manera existen errores de medición o registro por parte de la técnica de fotogrametría, pues se espera que el valor obtenido tenga un comportamiento inicial de ganancia volumétrica y posteriormente sólo existan decrementos.

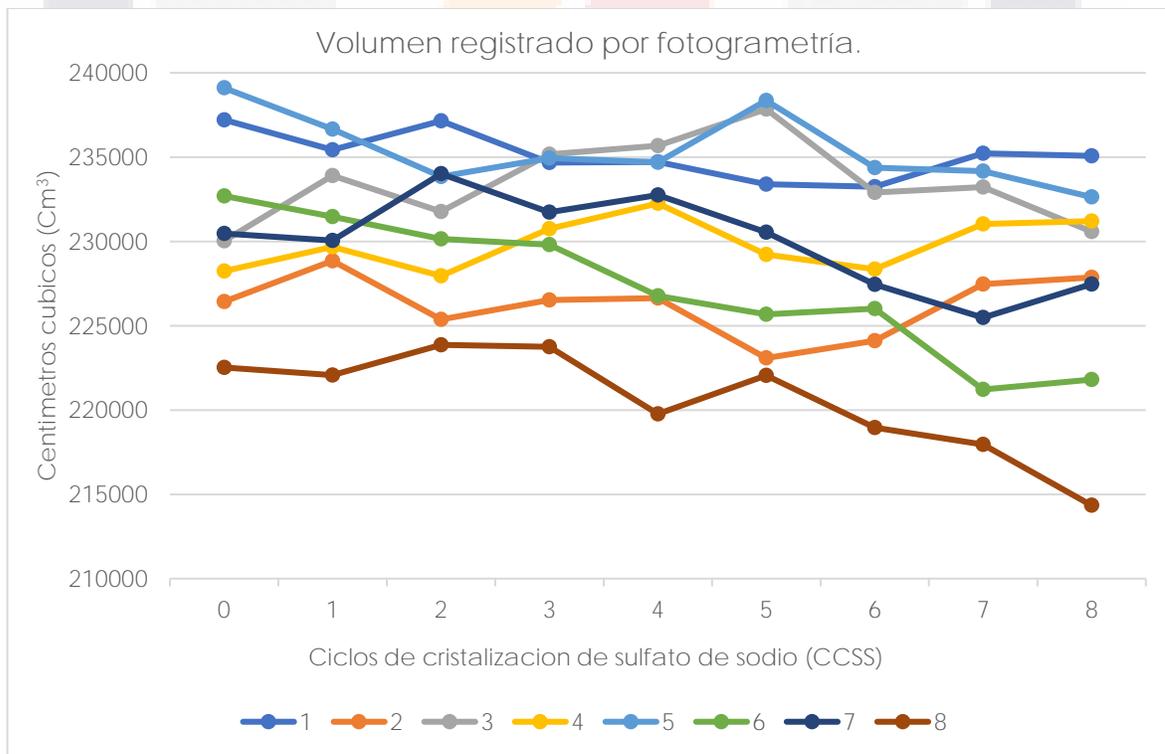


Ilustración 97 Volumen de los especímenes registrado por fotogrametría. Elaboración propia.



Ilustración 98 (A) Expansión del repellado previo al desconchado (B) Formación de crestas. E. propia.

Cabe señalar que el desarrollo de eflorescencias genera cambios en el volumen de los materiales (Ilustración 98), esto puede tener distintas explicaciones: 1) algunos materiales tienen propiedades expansivas por cambios de humedad; 2) el desarrollo de cristales de SFS en la red porosa de los materiales genera una presión interna propiciando la expansión (Wedekind et al., 2013); 3) las eflorescencias generan la aparición de crestas o descamación (Janvier et al., 2016); 4) el desprendimiento de segmentos importantes que siguen adheridos al muro.

De igual manera es preciso indicar que existe un margen de error del 2% propio de la técnica de fotogrametría utilizada para registrar el volumen, además se considera que en algunas ocasiones las condiciones de iluminación exterior no fueron favorables (Ilustración 99). Aun así, existe una tendencia leve a registrar un decaimiento en los registros volumétricos de los especímenes.



Ilustración 99 (A) Destellos por sol en el fondo (B) Alto contraste por iluminación solar. E. propia.

Buscando entender de mejor manera estos resultados volumétricos, se vio la necesidad de reemplazar estos valores de volumen con cambios porcentuales: donde se considera el Ciclo 0 como el valor real inicial y la degradación como un valor positivo porcentual (Ilustración 100), con esto es posible interpretar y explicar de mejor manera la degradación registrada por fotogrametría:

En el caso de las muestras tratadas con una solución de salmuera al 5%, es evidente que las muestras 1 y 2 presentan variaciones iniciales de volumen, posiblemente debido a errores de registro fotogramétrico. Es en el ciclo 5 donde se hace evidente una similitud entre ambos registros, reflejando un aumento de volumen que se alinea con la condición real de los muros que se han expandido debido al desconchado. Para los casos 3 y 4, la descripción volumétrica no parece relacionarse claramente con su estado real, ya que estos muros experimentaron sólo un ligero desconchado y no deberían presentar tales alteraciones.

Por otro lado, las paredes tratadas con una solución de salmuera al 10% muestran gráficas más compatibles entre sus pares. En los casos 5 y 6 se observan alteraciones iniciales, que posiblemente podrían ser un ajuste en la precisión del volumen, ya que el deterioro real comenzó a partir del ciclo 4. En este caso, la gráfica presenta una mayor similitud con el estado real de las paredes. Para los casos 7 y 8, se observan alteraciones técnicas similares y un potencial aumento de volumen debido a incrustaciones entre los ciclos 2 y 5. A partir de ese momento, la degradación registrada por fotogrametría corresponde a la degradación observada visualmente, del ciclo 5 al 8.

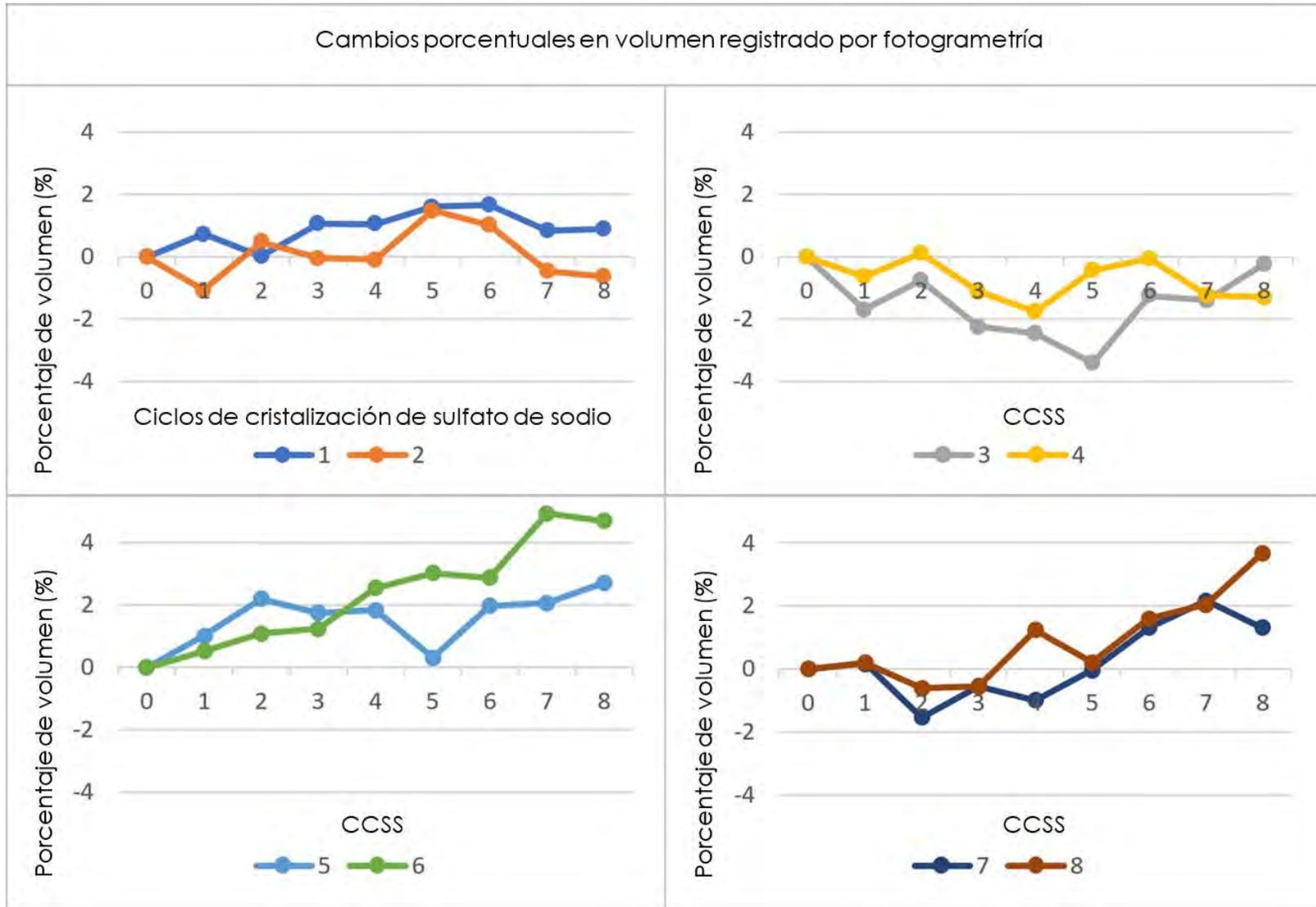


Ilustración 100 Cambios porcentuales en volumen, muros registrados por fotogrametría. Elaboración propia.

5.3.3. Monitoreo de la humedad y temperatura

La humedad es un factor relevante para la técnica de envejecimiento acelerado, ya que la formación de cristales del SFS se logra mediante el secado (López A. et al., 2008). Por tanto, se registra el comportamiento de la humedad entre las etapas de saturación (indicadas con números con fracción 0,5, 1,5, 2,5, etc.) y las etapas de secado (números enteros 1, 2, 3, etc.). Los datos están representando la humedad promedio de los dos grupos de muestras: mediante una línea poligonal para las secadas con deshidratador solar (en color naranja) y otra poligonal para las tratadas al aire libre (en color azul) (Ilustración 101).

Es importante señalar que la humedad se ve afectada por cuestiones ambientales externas, esto puede generar datos inconsistentes, como mayor humedad en la etapa seca que en la etapa saturada, como el punto de origen 0 y el ciclo 3. En general, existe una clara diferencia entre la etapa saturada y seca, siendo el tratamiento mediante el deshidratador solar el que consigue mayor contraste. Además, en las etapas secas siempre se registra un menor porcentaje de humedad que en las tratadas al aire libre.

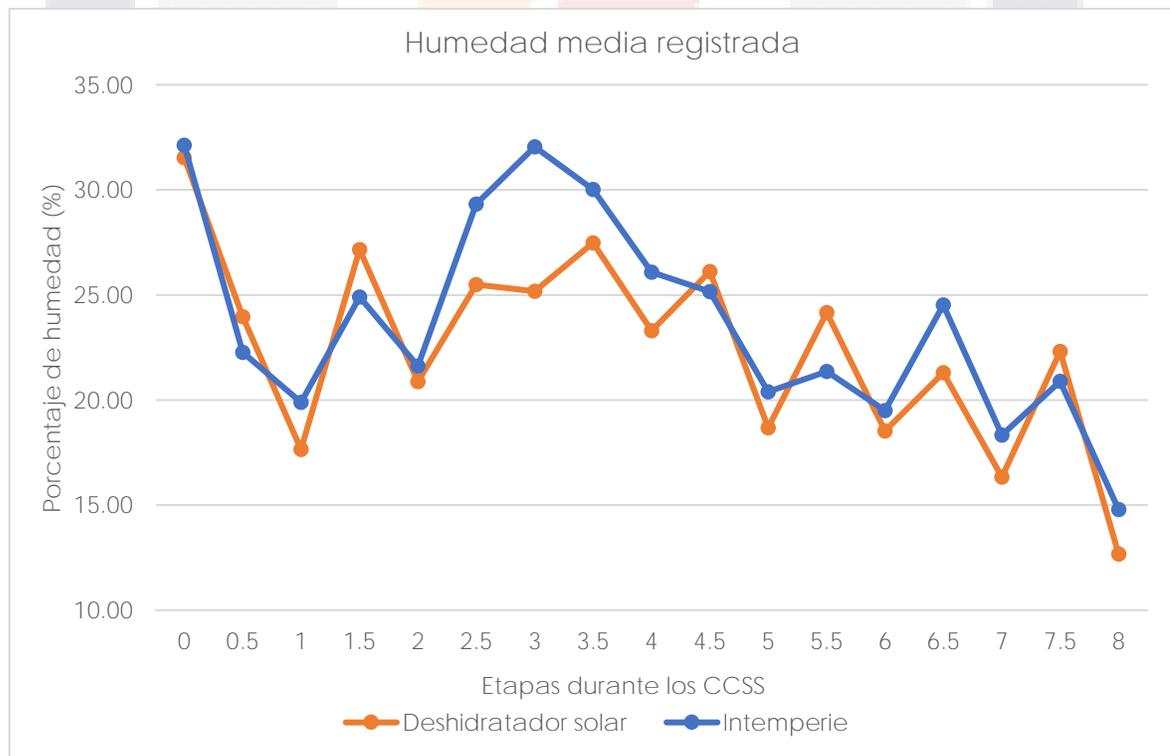


Ilustración 101 Humedad media registrada en los muros. Elaboración propia.

Se calculó la diferencia de los promedios de humedad entre la etapa saturada y la etapa seca, obteniendo la siguiente gráfica (Ilustración 102). Se puede observar que: en general, el grupo tratado mediante el deshidratador solar obtiene una mayor pérdida de humedad y siempre está por debajo del 0%.

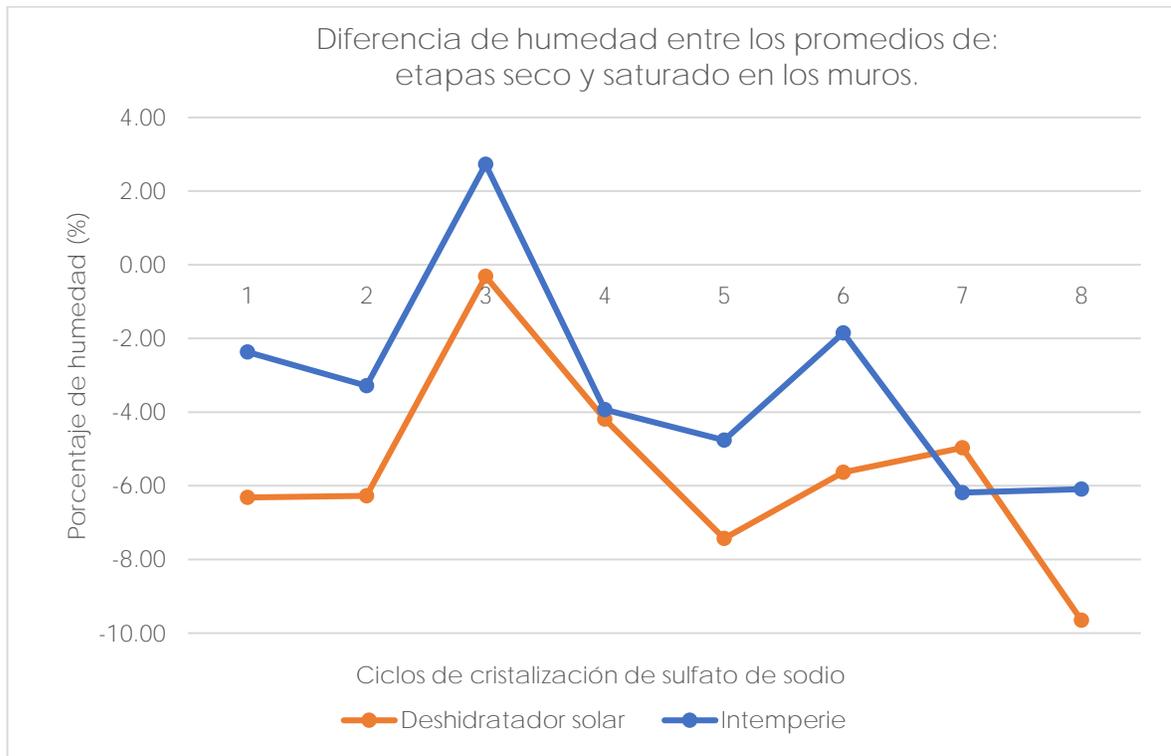


Ilustración 102 Diferencia entre promedios de humedad: etapas seco y saturado en los muros. Elaboración propia.

La temperatura también es un factor relevante para desarrollar eflorescencias (Angeli et al., 2010). El comportamiento de la temperatura se registró de manera similar a la humedad: durante la etapa de saturación (indicada con números con fracción 0,5, 1,5, etc.) y la etapa seca (números enteros 1, 2, 3, etc.). Los datos representan la temperatura promedio en ambos grupos de ejemplares: uno para los secados mediante deshidratador solar (naranja) y otro para los tratados a intemperie (azul) (Ilustración 103).

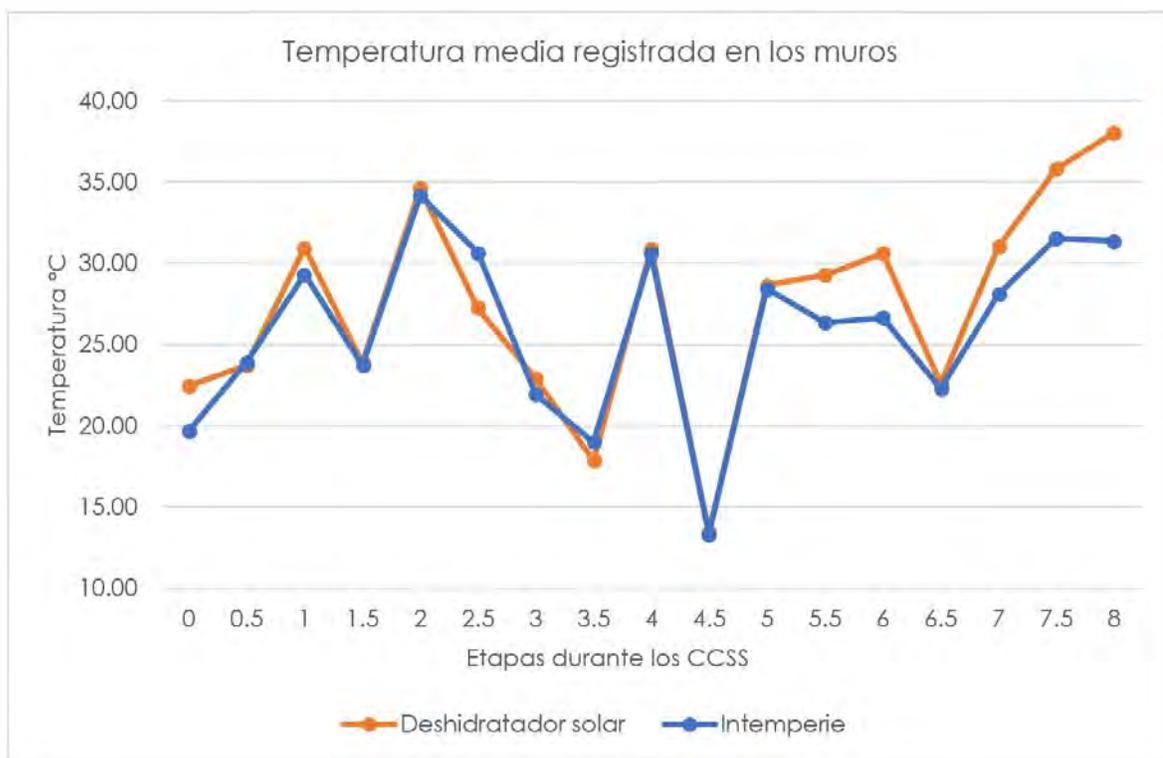


Ilustración 103 Temperatura media registrada en los muros. Elaboración propia.

La temperatura está influenciada por factores ambientales externos, lo que hace que sea difícil discernir diferencias entre las etapas saturada y seca. Sin embargo, en casos específicos se pueden observar las tendencias de temperatura esperadas, como sucede en las transiciones del punto 0,5 al 2,5 y del 3,5 al 5,5, donde se registran ganancias de temperatura durante la etapa seca y disminuciones durante la saturación. En particular, el tratamiento con deshidratador solar da como resultado constantemente temperaturas más altas al finalizar el proceso de secado (indicadas por números enteros: 0, 1, 3, 6, 7 y 8) en comparación con las muestras tratadas en condiciones al aire libre.

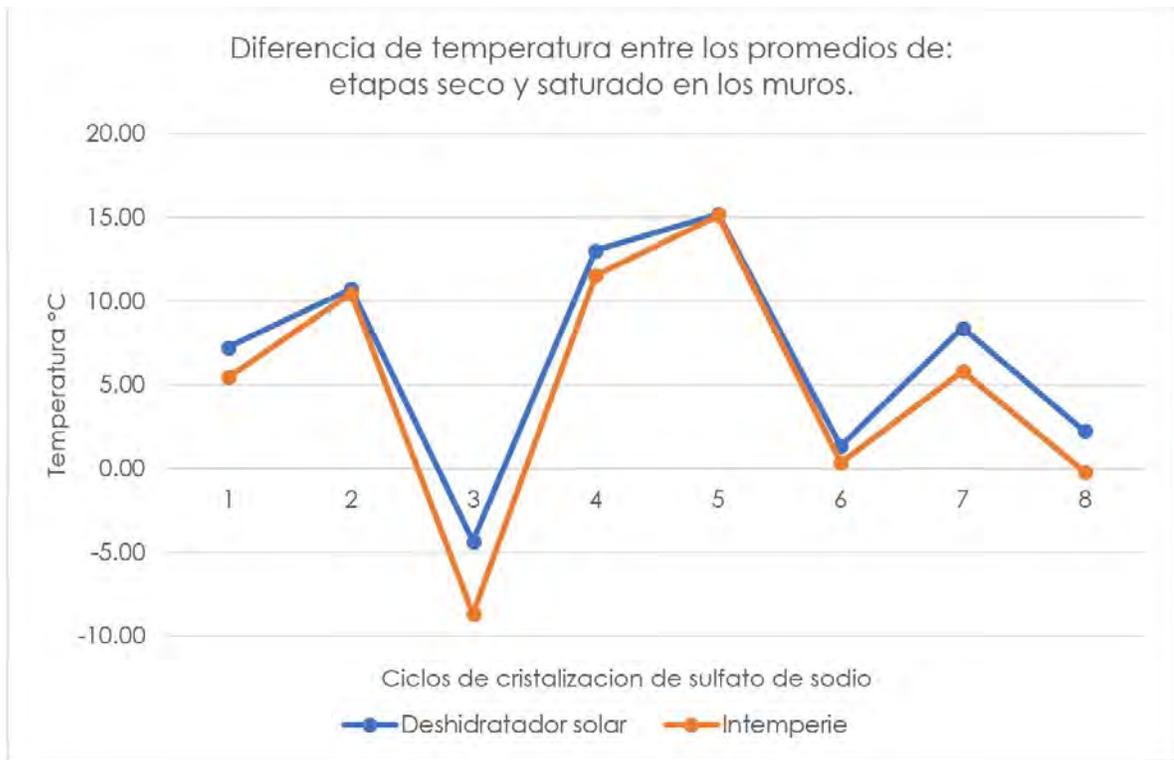


Ilustración 104 Diferencia de temperatura entre las etapas seco y saturado en los muros. Elaboración propia.

Se ha calculado la diferencia en la temperatura medias entre la etapa saturada y seca, dando como resultado el siguiente gráfico (Ilustración 104). En general, el grupo tratado con un deshidratador solar experimenta un mayor aumento de temperatura en comparación con los ejemplares tratados a intemperie.

5.3.4. Correlación entre saturación de sulfato y proceso de secado

Para evaluar la correlación entre el aumento de la concentración de SFS en la salmuera y los diferentes procesos de secado aplicados a las muestras para inducir la degradación, estas variables se analizaron utilizando un diseño factorial de dos tratamientos a dos niveles, conocido como diseño factorial 2² (Melo et al., 2020). Dado que los valores de volumen obtenidos mediante fotogrametría pueden no parecer representativos, se adaptó este apartado de análisis para estudiarlo mediante la cuantificación del material desprendido en cada muestra (Tabla 12). Para lograr esto, una vez finalizada la experimentación se registró el peso del material precipitado en la base de cada muro (Ilustración 105).

Tabla 12 Degradación final de los especímenes registrada en kilogramos. Elaboración propia.

Tratamientos o entradas	Salmuera al 5% (B-)	Salmuera al 10% (B+)
Deshidratador solar (A+)	2.08 Kg	6.51 Kg
	1.77 Kg	8.52 Kg
Secado a intemperie (A-)	1.37 Kg	4.23 Kg
	1.29 Kg	5.18 Kg



Ilustración 105 Residuos de materiales precipitados en la base de los especímenes. Elaboración propia.

Tabla 13 Contrastes para evaluar la correlación entre tratamientos. Elaboración propia.

(A) Secado	(B) Salmuera	Tratamiento	Replicas (Kg)		Suma (Kg)	Estimación de efectos	Suma de Cuadrados
			I	II			
Intemperie (-)	5% (-)	1	1.37	1.29	2.66	-	-
Deshidratador (+)	5% (-)	A	2.08	1.77	3.84	1.70	5.80
Intemperie (-)	10% (+)	B	4.23	5.18	9.40	4.48	40.18
Deshidratador (+)	10% (+)	AB	6.51	8.52	15.03	1.11	2.47

Para analizar cómo interactúan las variables independientes (tratamientos) sobre la variable dependiente (degradación de los especímenes), se deben ordenar los tratamientos según el procedimiento de análisis factorial en una tabla de contrastes; en este orden, 1 corresponde al cuadrante donde los tratamientos se encuentran en su nivel más bajo; mientras que AB corresponde al cuadrante donde los tratamientos se encuentran en su nivel más alto, de tal manera como se presenta en la Tabla 13. En esta misma tabla, se ha calculado la estimación de efectos para cada factor. Donde se aprecia que el factor A, con un valor de 1.70, es de menor importancia en comparación con el factor B, que tiene un valor de 4.48 siendo el más significativo; finalmente, el factor AB, con un valor de 1.11, representa la interacción de ambos factores y demuestra que existe una sinergia positiva con una magnitud similar a la del factor A.

Para continuar con el método estadístico, se elabora el análisis de varianza mediante la tabla ANOVA. En esta (Tabla 14) se puede apreciar en la suma de cuadrados que el error es mayor al valor obtenido de la interacción o factor AB; de la misma manera se aprecia que el valor de F en la interacción es menor que el valor de F crítico. Esto supone que no se cuenta con suficiente información estadística para asegurar que la interacción entre ambos tratamientos sea significativa.

Tabla 14 Análisis de varianza. Elaboración propia.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
A	5.79531013	1	5.79531013	9.1368055	0.03905891	7.70864742
B	40.1811301	1	40.1811301	63.349012	0.00134988	7.70864742
AB	2.46753113	1	2.46753113	3.89027532	0.11984266	7.70864742
Error	2.5371275	4	0.63428188			
Total	50.9810989	7				

El método también implica la representación de la suma de las réplicas mediante una gráfica, en la cual se evalúa la correlación de los factores y sus resultados. Las líneas de la gráfica tienen una pendiente ascendente, demostrando una correlación positiva entre los tratamientos (Ilustración 106). Al igual que en las interpretaciones numéricas, la gráfica muestra que el factor B es el más representativo, indicando que una mayor concentración de SFS resultará en una mayor degradación de los especímenes. Además, cuando ambos tratamientos coinciden con sus valores elevados, se observa la mayor degradación (la línea naranja alcanza el valor más alto). Finalmente, aunque la interacción entre ambos factores no se manifiesta mediante una intersección de las líneas dentro del rango de observaciones, se aprecia una clara tendencia o proyección hacia la intersección (la cual no puede conseguirse por la naturaleza del factor A que solo tiene valores de 1 y 0, esto es, utilizar o no el deshidratador solar).

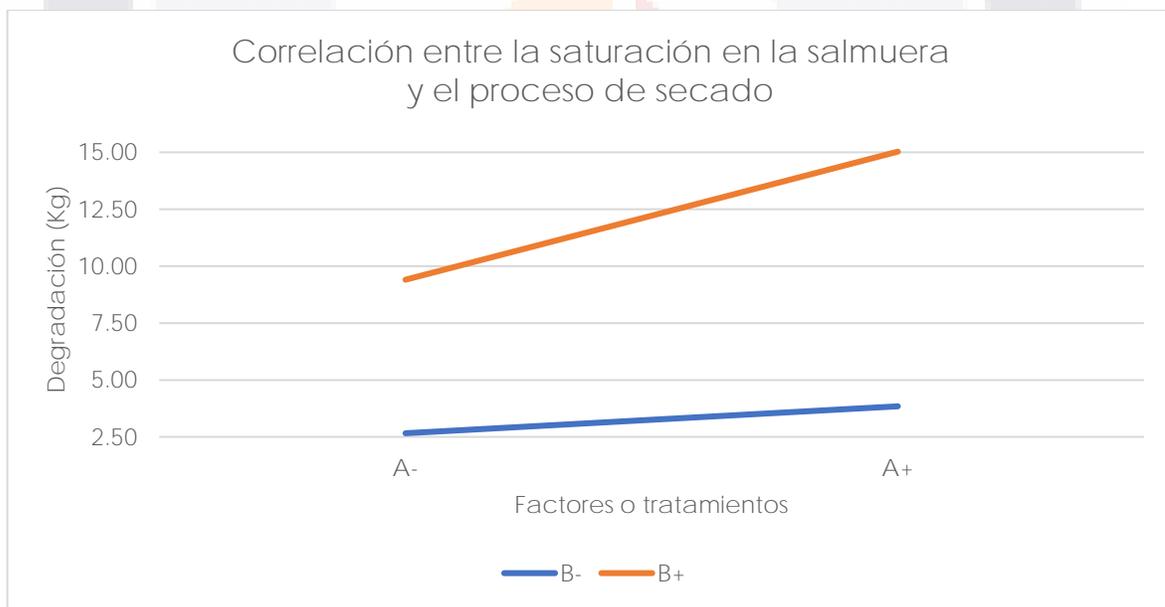


Ilustración 106 Correlación entre la saturación en la salmuera y el proceso de secado. Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones generales

Se ha identificado que las humedades no son una problemática delimitada a un origen y una manifestación específicos, sino que más bien: es un amplio conjunto de fuentes de humedad proporcionadas por distintos agentes naturales y/o antrópicos; que al momento de interactuar con los materiales que conforman las edificaciones, estas humedades dan origen a múltiples patologías, mediante distintos mecanismos físicos y procesos químicos que cumplen de una u otra forma los ciclos del agua y de algunos minerales. Además, se ha reconocido que actualmente los estudios referentes a las humedades pueden llegar a ser tan complejos que requieren investigaciones interdisciplinarias, por lo que incluso diversos autores consideran la necesidad de integrar distintos, instrumentos, técnicas y metodologías para garantizar un correcto diagnóstico (Casas, 2018; Franzoni et al., 2023, 2023; Lubelli et al., 2004; Štastný et al., 2021).

Por lo tanto, se puede validar la hipótesis general: pues el conocimiento actual disponible en libros, artículos científicos y tesis relacionados con el diagnóstico y caracterización de las humedades como una patología está ampliamente estudiado, con lo cual fue suficiente para describir las afectaciones del patrimonio edificado, así como para desarrollar la caracterización del estado actual de la edificación de interés y al mismo tiempo fue suficiente para obtener la información necesaria que permitió desarrollar la metodología experimental propuesta.

Con ello fue posible delimitar e identificar, las zonas afectadas por humedad en el TNSC, destacando la presencia de colonizaciones biológicas, manchas y eflorescencias, que afectan principalmente los materiales deleznable del inmueble como sus ladrillos y morteros. De igual manera, el conocimiento actual proporcionó información suficiente para desarrollar la experimentación propuesta, se identificó que el envejecimiento acelerado se puede conseguir mediante ciclos de cristalización de sulfato de sodio, y que los procesos de secado se pueden adaptar incorporando sistemas de ventilación o ganancias térmicas.

6.2. Conclusiones particulares: El Templo de la Candelaria

En cuanto a la caracterización del TNSC, considerando que esta investigación comprende actividades preliminares y cubre aspectos generales, se llega a suponer que existe una carencia en la documentación del inmueble, tanto en la contextualización histórica, como en la descripción arquitectónica e identificación de sus materiales y elementos constructivos.

Respecto a su contextualización histórica, la carencia de información y disponibilidad de esta misma no es una característica solamente del templo, sino, que es una condición que comparte con las poblaciones del municipio y posiblemente de otras regiones rurales similares a esta Villa de Purificación. Que, por cuestiones del azar no han sido de interés para los escritores durante la época colonial o para los historiadores e investigadores contemporáneos. Pues antiguamente los escritores acompañaban a aquellos conquistadores donde se esperaban grandes hazañas como Hernán Cortez o Nuño de Guzmán quienes encabezaban las misiones de conquistas (Regalado, 2008; Torales & Lazos, 2016); mientras que en la historia moderna, las investigaciones están centradas en aquellos sitios de mayor desarrollo y densidad poblacional, quizás no por elección sino por las condiciones demográficas; pues a menor población menor será la posibilidad que alguno de sus habitantes llegue a convertirse en un investigador y aun si lo consiguiera, este se encontrara en un centro académico distante, donde posiblemente existirán otras prioridades.

Aun así cabe recalcar que esta tesis delimitada por sus alcances, no cuenta con la debida profundidad de investigación histórica, se considera que puede existir evidencia de la construcción e intervenciones del templo en otros acervos históricos, o identificar información entre los vecinos de la comunidad; cuya información pudiera ayudar a documentar y describir de mejor manera su contexto histórico y contemporáneo.

En cuanto a la descripción gráfica mediante la representación arquitectónica desarrollada por fotogrametría, los resultados demuestran que es posible llevar a cabo un levantamiento utilizando esta técnica y la secuencia de actividades aquí planteadas. Con lo cual se puede validar una de las hipótesis secundarias establecidas en el planteamiento del problema: la implementación de la fotogrametría digital de corto rango resulta ser una técnica útil para describir la configuración arquitectónica de los elementos de interés de una edificación de gran tamaño. Permitiendo un estudio detallado del estado actual del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria.

Pues la técnica de fotogrametría al permitir incluir puntos referenciados cuyas ubicaciones se conocen previamente (marcadores asignados mediante una estación topográfica), permite verificar las dimensiones proporcionadas por la nube de puntos que desarrolla el software Metashape (Agisoft, 2020). Con lo cual es posible acercarse a las dimensiones reales de los elementos que conforman la edificación de estudio. De igual manera es rescatable que mediante esta técnica de levantamiento de datos, fue posible apreciar que las torres no cuentan con una traza perfectamente perpendicular al resto de la nave del templo.

Otra de las ventajas identificadas en esta técnica de fotogrametría, es la asignación de colores en la nube de puntos, que facilita la representación de elementos de menor tamaño como fue en este caso la representación de sus detalles como las piedras aparentes, cambios de materiales, elementos faltantes y algunas marquesinas.

De tal manera que la utilización de fotogrametría cuenta con ciertas ventajas que pueden ayudar a la representación del estado actual de cualquier otra edificación, si bien esto es posible realizarlo mediante otros equipos más precisos (equipos topográficos o escáner laser) o técnicas más accesibles (cámara fotográfica y flexómetro). El objetivo de esta tesis es describir la capacidad y confiabilidad que se puede lograr con esta metodología, para aquellos que busquen desarrollar un levantamiento similar, cuenten con alternativas que se ajusten a sus capacidades técnicas y económicas.

Ahora bien, referente a la problemática de las humedades que deterioran a este inmueble histórico; se ha identificado desde el contexto geográfico del templo, que las condiciones ambientales pertenecientes a una selva tropical semi húmeda, proporciona algunas condiciones ambientales que favorecen la presencia de humedad y sus manifestaciones como patología. Primero y de manera general existe una concentración de alteraciones en su base, posiblemente producto de la humedad capilar y filtración pluvial (Casas Figueroa, 2018; Serna et al., 2016). Segundo, se identificaron regiones elevadas donde se estima que la humedad es proporcionada por la humedad ambiental y meteorológica (Speri et al., 2017), estas humedades filtradas se ven favorecidas en zonas con una baja exposición solar que retarda la evaporación, desarrollando mayor cantidad de colonizaciones biológicas (Ilustración 107).

En general se aprecia que el comportamiento de estas patologías en el templo son un reflejo del entorno (Ilustración 30 p57), donde la temporada lluviosa propicia el reverdecimiento de los valles y montañas, así como de la aparición de colonizaciones biológicas en los materiales porosos del templo; posteriormente la temporada de sequías de altas temperaturas propicia la evaporación de la humedad cumpliendo el ciclo del agua, que para el edificio se traduce en la migración de humedad, minerales y la muerte de vegetación, que todo esto se convierte en erosión, manchas y depósitos.

De manera generalizada y desde una perspectiva superficial estos eventos cumplen en gran medida con los procesos necesarios para el desarrollo de ciclos de cristalización de sulfato de sodio implementados en la campaña experimental para un envejecimiento acelerado, donde la saturación de las muestras representa las estaciones lluviosas y los procesos de secado representan las estaciones secas. Posiblemente estos acontecimientos y conocimientos fueron en algún momento para el desarrollo conceptual de esta metodología para el ensayo de materiales.

Conocer las propiedades físicas de los materiales ayuda a reforzar estas conclusiones, puesto que, en aquellos materiales porosos con alta absorción como los ladrillos y morteros, es donde se aprecia la proliferación de plantas, musgos y posiblemente microorganismos (Berenguel P., 2014; ICOMOS, 1996); además que son estos mismos materiales los que se ven erosionados por raíces, eflorescencias y arrastre de partículas. Produciendo la socavación que facilitará el desprendimiento de piezas de otros materiales como pequeñas piedras, segmentos de ladrillos o rajuela. En cambio, las piedras que son de mayor densidad y baja porosidad, sólo se ven afectadas por las manchas de patina y la oxidación superficial de sus minerales.

En resumen, la degradación en la fachada sur de esta edificación histórica se debe en gran medida a los distintos mecanismos de manifestaciones de la humedad, como resultado de la combinación de materiales porosos de buena absorción, en conjunto con una alta presencia de humedad y regiones de baja exposición solar.



Ilustración 107 Las regiones de baja exposición solar desarrollan más vegetación. Elaboración propia.

6.3. Conclusiones particulares: Ciclos de cristalización en muros

De igual manera, los conocimientos obtenidos de las fuentes bibliográficas fueron aplicados en el desarrollo de la metodología experimental necesaria para cubrir uno de los ejes centrales de esta investigación; donde se destaca la necesidad de incorporar conocimientos alternativos a la edificación, como en este caso el uso de mecanismos de cristalización de sulfatos y elementos como el deshidratador solar. Esto permitió desarrollar el envejecimiento acelerado en muros de mampostería a escala real, demostrando que es posible implementarlo como una metodología de ensayo mediante ciclos de cristalización de sulfato de sodio. Considerando que puede implementarse en representaciones de elementos constructivos del patrimonio construido, sabiendo que este último puede estar conformado por varios materiales que interactúan de diferentes maneras ante alteraciones por humedad o eflorescencias.

Respecto al registro volumétrico por fotogrametría, se reconoce su alta capacidad para digitalizar objetos de un entorno real, pero se considera que su precisión es ineficiente para medir la degradación producida por ocho CCSS, esto puede deberse a tres factores: 1) La iluminación natural genera altos contrastes en las fotografías que terminan siendo inadecuadas para las interpretaciones del software. 2) “la degradación se asocia con un aumento de volumen debido a la hidratación y cristalización” (Balog et al., 2016) generando crestas y protuberancias que resultan en alteraciones en los registros de volumen (Janvier et al., 2016). 3) Se estima que la degradación producida por ocho CCSS representa una degradación menor al 2% en volumen, estando por debajo de la precisión de la técnica de fotogrametría según (Figueroa C. & Pacheco M., 2016; Vizcaíno & Soto, 2018).

El monitoreo de humedad y temperatura muestra que la incorporación de un deshidratador solar favorece el desarrollo de eflorescencias, ya que logra reducir el porcentaje de humedad y aumentar la temperatura en las muestras, dos factores importantes para el desarrollo de CCSS en laboratorio (Angeli et al., 2010; Mayo & Lasheras, 2012). Además, esto se puede comprobar visualmente comparando la degradación observada entre los diferentes tratamientos realizados. Se estima que estos resultados podrían mejorarse aún más integrando sistemas de ventilación o acondicionamiento mecánico.

Con dichos resultados es posible validar la hipótesis secundaria de correlación, pues se ha demostrado que existe una correlación positiva entre la concentración de SFS y el uso del deshidratador solar, donde: el uso del deshidratador (factor A) y una mayor concentración de sulfato de sodio (factor B) contribuyen a la degradación de las muestras. Siendo la concentración de sulfato de sodio la que tiene un efecto más significativo; de la misma manera, también es sinérgica la interacción de ambos (Ilustración 106, p131).

Por tanto, se estima que el experimento propuesto puede ser útil para las evaluaciones que se realicen sobre los tratamientos correspondientes al patrimonio histórico construido, ya que puede convertirse en una herramienta complementaria para evaluar la eficiencia de los sistemas correctivos que buscan abordar los problemas de humedad que atacan la base de los elementos constructivos, ya sea por filtración, capilaridad o absorción. De la misma manera, implica una optimización o alternativa en los procesos de estudio para aquellas investigaciones que tengan como objetivo comprender el comportamiento del fenómeno de la humedad o específicamente de la eflorescencia. Además replicar esta experimentación puede contribuir a reducir los tiempos de prueba; puesto que algunos autores: Kristin Balksten y Paulien Strandberg informaron que les llevó tres años y medio garantizar de que ciertas muestras de morteros de cal mejorados con cáñamo ya no transmitieran minerales eflorescentes (Balksten & Strandberg, 2021).

Esta misma situación se corroboró en la experimentación por envejecimiento acelerado, donde se consiguió degradar aquellos materiales que se utilizaron en representación del mortero y ladrillos del templo. Así mismo la experimentación deja evidencia clara que las condiciones ambientales como fue en este caso los cambios de temperatura, pueden llegar a ser representativas en la degradación de dichos materiales.

6.4. Similitudes identificadas entre la experimentación y el templo

La finalidad de la experimentación para desarrollar un envejecimiento acelerado sobre muros de mampostería se planteó con el objetivo de simular algunas de las alteraciones encontradas en el templo. En este apartado, se resumen las similitudes y diferencias encontradas en la experimentación con respecto a las observaciones realizadas sobre el templo, lo cual permite validar la última hipótesis secundaria donde: se considera que la metodología experimental aquí planteada permite reproducir de manera significativa alguna de las afectaciones identificadas en la edificación histórica de estudio.

Los ciclos de cristalización han desarrollado una degradación similar a la encontrada en la base de algunos contrafuertes y muros, donde se han socavado las juntas de mortero que unen los ladrillos. Al igual que sucede con las piedras, en la experimentación se mantienen intactas con leves manchas y en las piedras del templo no se aprecian daños significativos más allá de la coloración por oxidación y algunos depósitos (Ilustración 108).



Ilustración 108 Similitud entre la degradación ubicada en los desplantes de elementos del templo y la degradación obtenida en laboratorio. Elaboración propia.

Así como los ciclos de cristalización de sulfato de sodio, utilizados para simular el envejecimiento acelerado, dependen de ciclos de saturación y secado, el templo está situado en una región geográfica donde se experimentan cambios significativos en la temperatura y disponibilidad de agua. Esto implica una similitud en las condiciones inducidas para afectar a los especímenes, comparables a las condiciones ambientales que se presentan durante las estaciones anuales y que terminan afectando al templo.

En cambio, se observa que el desarrollo de los ciclos de cristalización se acelera y propicia una mayor degradación cuando se mejoran las condiciones de secado en los muros. Esto contrasta con el comportamiento de algunas patologías identificadas en el templo, donde se había asumido previamente que las colonizaciones biológicas se beneficiaban en mayor medida en zonas sombreadas debido a su dependencia de la conservación de la humedad para subsistir.

De tal manera que la experimentación para desarrollar un envejecimiento acelerado si permite simular las condiciones de deterioro de los materiales, pero no es representativo en cuanto a algunas de las condiciones que originan dicho deterioro como son las colonizaciones biológicas.

6.5. Nichos de investigación

Como se ha mencionado en el contenido de esta investigación, el Templo de Nuestra Señora de la Candelaria ubicado en la comunidad y municipio de Villa de Purificación, es un nicho de oportunidades tanto para la investigación histórica, social y práctica. Cabe señalar que no es la única edificación con estas características y nichos de oportunidades, en las regiones colindantes como es el municipio de Autlán de Navarro, existen un par de edificaciones históricas catalogadas por el INAH, mientras que en el municipio de Ejutla existen edificaciones cuya antigüedad se desconoce, pero juegan un papel importante en actividades socio-culturales como las peregrinaciones con destino al municipio de Talpa de Ayende, en cuyas movilizaciones se ven involucrados pobladores de distintas comunidades, que pueden provenir incluso de municipios tan distantes como Ciudad Guzmán, Jalisco o Tecomán, Colima.

Por otro lado, se estima que el envejecimiento acelerado de muros a escala real puede comprenderse como una prueba piloto necesaria para plantear a futuro el desarrollo de una técnica estandarizada, sobre la cual puedan simularse distintos ambientes y condiciones que mejoren la simulación del entorno correspondiente a las edificaciones históricas.

Así mismo, se estima que la técnica de fotogrametría pudiera llegar a obtener mejores resultados en la cuantificación volumétrica realizada sobre los especímenes de mampostería, esto al incorporar las técnicas implementadas para el levantamiento del TNSC, pues se estima que incrementando de esa manera el número de fotografías puede llegar a obtenerse una mejor representación de los modelos.

6.6.Recomendaciones

Para aquellos interesados en utilizar la fotogrametría de corto rango como una técnica para digitalizar edificaciones de gran tamaño, es conveniente tomar las siguientes observaciones, pues idealmente el objeto debe conservar el mismo aspecto en todas las fotografías obtenidas, para mejorar el proceso de digitalización:

- a) Es conveniente obtener las fotografías en horarios próximos al amanecer o el atardecer, pues una baja incidencia solar evita los altos contrastes en las fotografías.
- b) Los días con luz difusa, como los días nublados, resultan ideales para obtener las fotografías esto ayuda a minimizar sombras y elevar la calidad del modelo resultante; no obstante, es importante señalar que este factor conlleva cierta incertidumbre en cuanto a su ocurrencia.
- c) En caso de levantamientos fotográficos extensos que requieren más de un día para completarse, es adecuado determinar una hora y un periodo específico, pues la inclinación del sol varía considerablemente en el transcurso del día de este a oeste y en menor medida en el transcurso del año entre sur y norte.
- d) Delimitar el tiempo también permite capturar una estación específica del inmueble, pues en este caso se inició la obtención de fotografías al finalizar la primavera e inicio del verano; esto fue un problema pues tras las primeras precipitaciones pluviales aparecieron las colonizaciones vegetales sobre los muros, cambiando drásticamente la apariencia de la fachada sur del templo.

En caso de tener interés por replicar o adaptar procesos de los ciclos de envejecimiento acelerado se deben tener algunas consideraciones:

- a) Es conveniente contar con los instrumentos que ayudaran a realizar los registros, previo a la construcción de especímenes fijos; puesto que en este caso se presentaron dificultades para la adquisición de fotografías termográficas, cuyo ángulo de captura no permitía la obtención perpendicular de los muros intermedios.
- b) Se recomienda realizar una prueba piloto, donde se sature algún espécimen con agua convencional para evaluar y garantizar la saturación de estos.
- c) Se considera conveniente registrar periódicamente el material desprendido, para ello se puede recolectar en la base que contiene los especímenes; quizás sea conveniente considerar algún método para separar los residuos de sulfato de sodio de las partículas propias del espécimen.
- d) Posiblemente la adquisición volumétrica mediante fotogrametría pueda mejorarse y obtener una mayor precisión, si se incrementara el número de fotografías implementando de alguna manera los patrones de captura similares a los utilizados en el templo.

REFERENCIAS

- Agisoft. (2020). *Agisoft Metashape*, (2020) [Software]. [computer program].
<https://www.agisoft.com/>
- Alkhateeb, E. (2011, enero 1). *Salts Efflorescence in the Old City of Damascus; Problem Analysis and Possible Solutions*.
<https://www.researchgate.net/publication/280713566>
- Almac, U., Polat, P. I., & Ahunbay, M. (2016). Numerical Analysis of Historic Structural Elements Using 3D Point Cloud Data. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 10, 233–245.
<https://doi.org/10.2174/1874836801610010233>
- Amador Tello, J. (2024, febrero). *Proceso*. De la gloria al cuestionamiento: El INAH frente a sus 85 años. <https://www.proceso.com.mx/cultura/2024/2/6/de-la-gloria-al-cuestionamiento-el-inah-frente-sus-85-anos-323483.html>
- Andaluz M., N., Marín C., C., Gisbert A., J., & Remón C., A. (1994). Diagnóstico del deterioro de edificios del Patrimonio Histórico-Artístico del sureste de la provincia de Huesca. *Lucas Mallada: revista de ciencias*, 6, 143–170.
- Angeli, M., Hébert, R., Menéndez, B., David, C., & Bigas, J.-P. (2010). Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate. *Engineering Geology*, 115(3), 193–199.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.001>
- Arriaga, de la C. J., Ramírez, F. A., & López, D. R. (2017). *Estudio geológico del deterioro de la iglesia El Señor de la Misericordia, Linares, N. L.* [Ingeniería, Universidad Autónoma De Nuevo León].
<http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/lic/1080312738>

- Ascencio, A., Amaral, A., & Tarsicio, F. (2004). *Perspectiva de Templos de Jalisco*.
- Autodesk. (2021). *Autodesk Meshmixer*, (2021) [Software]. [computer program].
<https://meshmixer.com/>
- AV3 Aerovisual. (2023, julio). ¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría? AV3 AEROVISUAL. <https://av3aerovisual.com/que-es-y-para-que-sirve-la-fotogrametria/>
- Balandrano, C. A. (2024). *Mediateca.inah*. VIII La arquitectura y el patrimonio edificado. https://mediateca.inah.gob.mx/webapps/publicaciones-digitales/80ANIV_INAH/caps/8/cap_viii.html
- Balksten, K., & Strandberg, B. P. (2021). Understanding Deterioration due to Salt and Ice Crystallization in Scandinavian Massive Brick Masonry. *Heritage*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/heritage4010022>
- Balog, A., Cobîrzan, N., Suci, R. C., Moşonyi, E., & Aciu, C. (2016). Mineralogical Assessment Regarding the Sustainability of Mortars Exposed to Sodium Sulfate Attack. *Procedia Technology*, 22, 298–303. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.101>
- Berenguel P., A. E. (2014). Patología de la edificación patrimonial en el Centro Histórico de Lima. Humedades, causas y consecuencias. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 93–108. <https://doi.org/10.21754/devenir.v1i1.239>
- Brea, T. R., Lamas, B. P., & Hermo, B. S. (2008). Artificial weathering of granite. *Materiales de Construcción*, 58(289–290), Article 289–290. <https://doi.org/10.3989/mc.2008.v58.i289-290.80>
- Cañola, H., Granda, R. F., & Arroyave, R. J. (2020). Emulsión asfáltica como alternativa de reducción de la presencia de eflorescencias en morteros de

pega. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1).

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/10969>

Casas, F. L. (2018). Humedades. En *Programa Editorial Universidad del Valle*.

Programa Editorial Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.86>

CDHCU. (2018). Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticos e

Históricos. *DOF* 16-02-2018.

https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf

Cipriani, L., Fantini, F., & Bertacchi, S. (2015). The colour of stones and mosaics in

Ravenna: New images of ancient monuments using the latest generation of

unconventional photogrammetry. *EGA. Revista de Expresión Gráfica*

Arquitectónica, 20(26), 190–201. <https://doi.org/10.4995/ega.2015.4052>

Coletti, C., Cesareo, L. P., Nava, J., Germinario, L., Maritan, L., Massironi, M., &

Mazzoli, C. (2023). Deterioration Effects on Bricks Masonry in the Venice

Lagoon Cultural Heritage: Study of the Main Façade of the Santa Maria dei

Servi Church (14th Century). *Heritage*, 6(2), Article 2.

<https://doi.org/10.3390/heritage6020070>

Colina M., J. A. (Director). (2020). *Diseño experimental factorial 2^2* [YouTube].

<https://www.youtube.com/watch?v=0mAmDU7pzhs&t=66s>

CONAHCyT. (2023). Cultura. *Conahcyt*. [https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-](https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-cultura/)

[cultura/](https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-cultura/)

Congreso de Jalisco. (2014). Ley de Patrimonio Cultural del Estado de Jalisco y sus

Municipios. *NUMERO 24952/LX/14*.

- De Paz, C. (2023). Química | Química Inorgánica: Eflorescencia. *Química | Química Inorgánica*.
<https://www.fullquimica.com/2011/09/eflorescencia.html>
- D.H. (2023). *DH_mobile* [Android]. <https://app.droneharmony.com>
- Díaz Ayuso, I. (2022). *Guía de criterios de sostenibilidad en la conservación y restauración del patrimonio cultural inmueble*. Comunidad de Madrid.
<https://www.comunidad.madrid/cultura/patrimonio-cultural/guia-criterios-sostenibilidad-conservacion-restauracion-patrimonio-cultural-inmueble>
- DJI. (2023). *DJI fly* (Versión 2023) [Android]. DJY. <https://www.dji.com/mx/dji-fly>
- Dominguez Palomares, M. (2018). *Proyecto de restauración y propuesta de nuevo uso adaptativo del inmueble "Siglo XIX" en la ciudad de León, Gto.* [Universidad de Guanajuato].
<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2178>
- Figueroa C., M., & Pacheco M., J. (2016). *Evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría digital aplicadas a la caracterización geométrica de obras patrimoniales* [Maestría, UAA].
<http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/658>
- Fort González, R., Varas Muriel, M. J., Pérez-Monserrat, E. M., & Vázquez Calvo, M. del C. (2005). *Hexahidrita-epsomita en el deterioro de piedra dolomítica del patrimonio arquitectónico*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/52227>
- Franzoni, E., Berk, B., Bassi, M., & Marrone, C. (2023). An integrated approach to the monitoring of rising damp in historic brick masonry. *Construction and Building Materials*, 370, 130631. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130631>

Frenzel, D., Blaschke, O., Franzen, C., Brand, F., Haas, F., Troi, A., & Drese, K. S. (2023). Quantification of Moisture in Masonry via AI-Evaluated Broadband Radar Reflectometry. *Heritage*, 6(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/heritage6070266>

García, D. B. (2002). Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat d'Alacant / Universidad de Alicante]. En *Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales*. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5ef67e8829995218d31a5297>

Gómez, F. J., Mileto, C., Vegas, F., & Soriano, L. (2016). *Procesos patológicos en muros de adobe. Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española*.

Guide, S. (2022). *Moblr Air*, (2022) [Software]. [smartphone application]. <https://www.guideir.com/>

ICOMOS. (1996). *Principios para la creación de archivos documentales de monumentos, conjuntos arquitectónicos y sitios históricos (1996)*. 6.

ICOMOS. (2008). *ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns (English-French version)*. ICOMOS.

iglesiasymisas. (2022, diciembre 27). Parroquia Nuestra Señora de la Candelaria (Villa Purificación)—Horario de misas y servicios. iglesiasymisas.com.mx. <https://iglesiasymisas.com.mx/jalisco/villa-purificacion/parroquia-nuestra-senora-de-la-candelaria-villa-purificacion/>

IIEG, I. de I. E. y G. de J. (2023). *Municipios: Villa Purificación, Carta Municipal, 2019*, IIEG. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=135

INAH. (2022, septiembre). *Ficha del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles número I-0011500836*. Consulta Pública del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles. https://catalogonacionalmhi.inah.gob.mx/consulta_publica/detalle/27564

Jalisco, G. del E. (2023, septiembre). *Municipios de Jalisco: Villa Purificación*. <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/villa-purificacion>

Janvier, R., Brunetaud, X., Beck, K., & Mukhtar, M. (2016). The potential of laser scanning to describe stone degradation. *Science and Art: A Future for Stone*, 353–360. https://www.researchgate.net/profile/Nevin-Aly/publication/308167709_The_Effect_of_Salt_Crystallisation_on_the_Mechanical_Properties_of_Limestone_Statistical_Correlation_between_Non-Destructive_and_Destructive_Techniques/links/57deee2008ae4e6f184c31de/The-Effect-of-Salt-Crystallisation-on-the-Mechanical-Properties-of-Limestone-Statistical-Correlation-between-Non-Destructive-and-Destructive-Techniques.pdf

Korro, J., Zornoza I., A., & Valle M., J. M. (2023). Documentación de las intervenciones de conservación-restauración del patrimonio arquitectónico: Perspectiva histórica, situación actual y tendencias de futuro. *Ge-conservacion*, 24(1), Article 1. <https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1195>

Levoy, M., Pulli, K., Curless, B., Rusinkiewicz, S., & Koller, D. (2000). *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*.

<https://graphics.stanford.edu/papers/dmich-sig00/dmich-sig00-nogamma-comp-low.pdf>

Lezzerini, M., Tomei, A., Gallelo, G., Aquino, A., & Pagnotta, S. (2022). The Crystallization Effect of Sodium Sulfate on Some Italian Marbles, Calcarenites and Sandstones. *Heritage*, 5(3), Article 3.

<https://doi.org/10.3390/heritage5030076>

Lifeder. (2021, marzo 9). *Selva caducifolia*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/selva-caducifolia/>

Liu, P., Chen, Y., & Yu, Z. (2020). Effects of Erosion Form and Admixture on Cement Mortar Performances Exposed to Sulfate Environment. *Crystals*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/cryst10090774>

Locher, A., Havlena, M., & Van Gool, L. (2018). Progressive Structure from Motion. En V. Ferrari, M. Hebert, C. Sminchisescu, & Y. Weiss (Eds.), *Computer Vision – ECCV 2018* (Vol. 11208, pp. 22–38). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01225-0_2

López A., P. (2012). *Daños por cristalización de sales*. Universidad Complutense de Madrid. <https://digital.csic.es/handle/10261/46797>

López A., P., Doehne, E., Martin, W., & Pinchin, S. (2008). Magnesium sulfate salts and historic building materials: Experimental simulation of limestone flaking by relative humidity cycling and crystallization of salts. *Materiales de Construcción*, 58, 125–142. <https://doi.org/10.3989/mc.2008.v58.i289-290.77>

López, D. R., Wedekind, W., Aguillón R., A., Dohrmann, R., Molina, S., Leiser, T., Wittenborn, A., & Siegesmund, S. (2018). Thermal expansion on volcanic tuff

rocks used as building stones: Examples from Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 77(9), 338. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7533-0>

Lubelli, B., Hees, R. P. J., & Bolhuis, J. (2018). Effectiveness of methods against rising damp in buildings: Results from the EMERISDA project. *Journal of Cultural Heritage*, 31, S15–S22. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.03.025>

Lubelli, B., van Hees, R. P. J., & Groot, C. J. W. P. (2004). The role of sea salts in the occurrence of different damage mechanisms and decay patterns on brick masonry. *Construction and Building Materials*, 18(2), 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2003.08.017>

Mayo, C. C., & Lasheras, M. F. (2012). Movilidad de las eflorescencias en función del caudal de aire secante. *4.º Congreso de patología y rehabilitación de edificios*, 60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4194324>

Medina C., F., Jeremías, P., & Gutiérrez, J. (2014). *La fotogrametría digital como herramienta de trabajo para la toma de datos y catalogación de las iglesias románicas en la comarca de Las Merindades (Burgos)*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/43582>

Melo, O. O., López, L. A., & Melo, S. E. (2020). *Diseño de Experimentos: Métodos y aplicaciones* (Facultad de Ciencias). Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79912>

Microsoft, 365. (2020). *Office* (Versión 16) [Windows]. <https://www.office.com/>

Mora Navarro, G., & López Doncel, R. A. (2015). *Estudio de los mecanismos de alteración del Edificio B “Altar de cráneos” Zona Arqueológica Templo Mayor, Ciudad de México. Implicaciones petrográficas, geoquímicas y*

mecánicas [Instituto de Geología].

<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/4094>

Morales, T. A., Velasco, O. M., & Ramírez, P. J. (2020). Estudio comparativo de alteración del peso en el mármol tipo café tabaco mediante ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 24(1), 69–80.

<https://doi.org/10.29057/ICBI.V8IESPECIAL.6404>

Navarro, H. M., & Pacheco, M. J. (2013). *Levantamiento geométrico y de daños del templo de San Antonio y análisis estructural de la situación actual* [Maestría, UAA]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/1021>

Noval V., B. (2019, septiembre). *La conservación del patrimonio cultural. Valoración, identidad y uso social*. Mediateca - Instituto Nacional de Antropología e Historia.

<https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/articulo%3A20733>

Pepe, M., Alfio, V. S., & Costantino, D. (2023). Assessment of 3D Model for Photogrammetric Purposes Using AI Tools Based on NeRF Algorithm. *Heritage*, 6(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/heritage6080301>

Pérez Gracia, M. de la V. (2001). *Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico* [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93528>

Pinto Carrizo, G. L. (2017). *DocPlayer.es. Principios para la Creación de Archivos Documentales de Monumentos, Conjuntos Arquitectónicos y Sitios Históricos*

y Artísticos (1966). <https://docplayer.es/9682521-Principios-para-la-creacion-de-archivos-documentales-de-monumentos-conjuntos-arquitectonicos-y-sitios-historicos-y-artisticos-1966.html>

Regalado, P. A. (2008). *La Fundación de la Villa de la Purificación* (2a ed.). Publicaciones Iberoamericana y Europa.

Regalado, P. A. (2013). *La Villa de la Purificación: Iglesia y vida parroquial en épocas tridentinas*. H. Ayuntamiento de Villa Purificación, Jal.

Ribeiro, I., Barbosa, G., Silva, O., Araújo, D., & Lucena, A. (2018). Implantação de métodos de tratamento para combater as eflorescências. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, 1, 43. <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n38p43-53>

Sánchez L., A. V., & Soto Z., M. A. (2021). *Propuesta de una metodología para desarrollar y evaluar técnicas de fotogrametría como herramientas para la realización del mapeo de patologías en elementos patrimoniales* [Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. <http://hdl.handle.net/11317/2186>

Serna, M. S., Araiza, G. G., & Soto, Z. M. (2016). *Evaluación de sistemas correctivos para la inhibición capilar en desplante de muros de adobe en edificios patrimoniales* [Maestría, UAA]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/657>

SGM. (2023). *GeoInfoMex—El Banco de Datos del SGM*. <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/#>

Silva, E. F., Coimbra, A. C. F., Silva, M. R., & Kropp, J. (2003). National Theatre, historical monument of Brasilia. Case study. *Materiales de Construcción*,

53(271–272), Article 271–272. <https://doi.org/10.3989/mc.2003.v53.i271-272.305>

Sousa, L., Menningen, J., López-Doncel, R., & Siegesmund, S. (2021). Petrophysical properties of limestones: Influence on behaviour under different environmental conditions and applications. *Environmental Earth Sciences*, 80(24), 814. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10064-3>

Speri, L., Falchi, L., Balliana, E., Zuena, M., & Zendri, E. (2017). Behaviour of brick-NHL render systems in presence of NaCl solution. *Ge-conservación*, 11, 157–164. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.468>

Šťastný, P., Gašparík, J., & Makýš, O. (2021). Analysis of moisture and salinity of historical constructions before and after the application of REMEDIATIONS. *Journal of Building Engineering*, 41, 102785. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102785>

SunEarthTools. (2023, julio). *Outils pour les consommateurs et les concepteurs de l'énergie solaire*. https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php

Taller, A. (2014). Derecho a la preservación del patrimonio arquitectónico urbano: Un desafío para las autoridades locales. *Revista Eurolatinoamericana de Derecho Administrativo*, 1(2), 7–37.

Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias De La Tierra: Una introducción a la geología física*. Pearson Educación. <http://archive.org/details/ciencias-dde-la-tierra-tarback>

Taus L., V. (2003). *Determinación de la absorción capilar en hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados*. 10. <https://core.ac.uk/reader/153563620>

Thomassen, T. (2021). *Solid Inspector 2* (Versión 2014) [Extensión].

<https://forums.sketchup.com/t/solid-inspector/5117>

Torales, A. G. J., & Lazos, C. E. (2016). *La relación ambiente-cultura en una sociedad ranchera ante el proceso de ganaderización* [ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA].

https://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/tesis%3A3044

Tormo Esteve, S. (2016). *Aplicación de la Termografía Infrarroja como ensayo no destructivo (END) en la restauración del patrimonio arquitectónico*. 8, 69–82.

Trimble. (2023). *SketchUp*, (2023) [Software]. [computer program].

<https://www.sketchup.com/>

UDELAP. (2023). *Capítulo III: Estudio de mecánica de suelos*. Universidad de las Americas de Puebla.

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/capitulo3.pdf

UNAM. (2023, julio). *Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia – Departamento de Ecotecnologías CIECO UNAM Morelia*.

<https://ecotec.unam.mx/>

UNE. (1999). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad*.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0010084>

Uribe García, C. (2021). *Villa Purificación y sus tesoros*. Puerta Abierta.

Villa Purificación, H. A. (1996). *Plan de Desarrollo Urbano, Villa Purificación, Jal.*

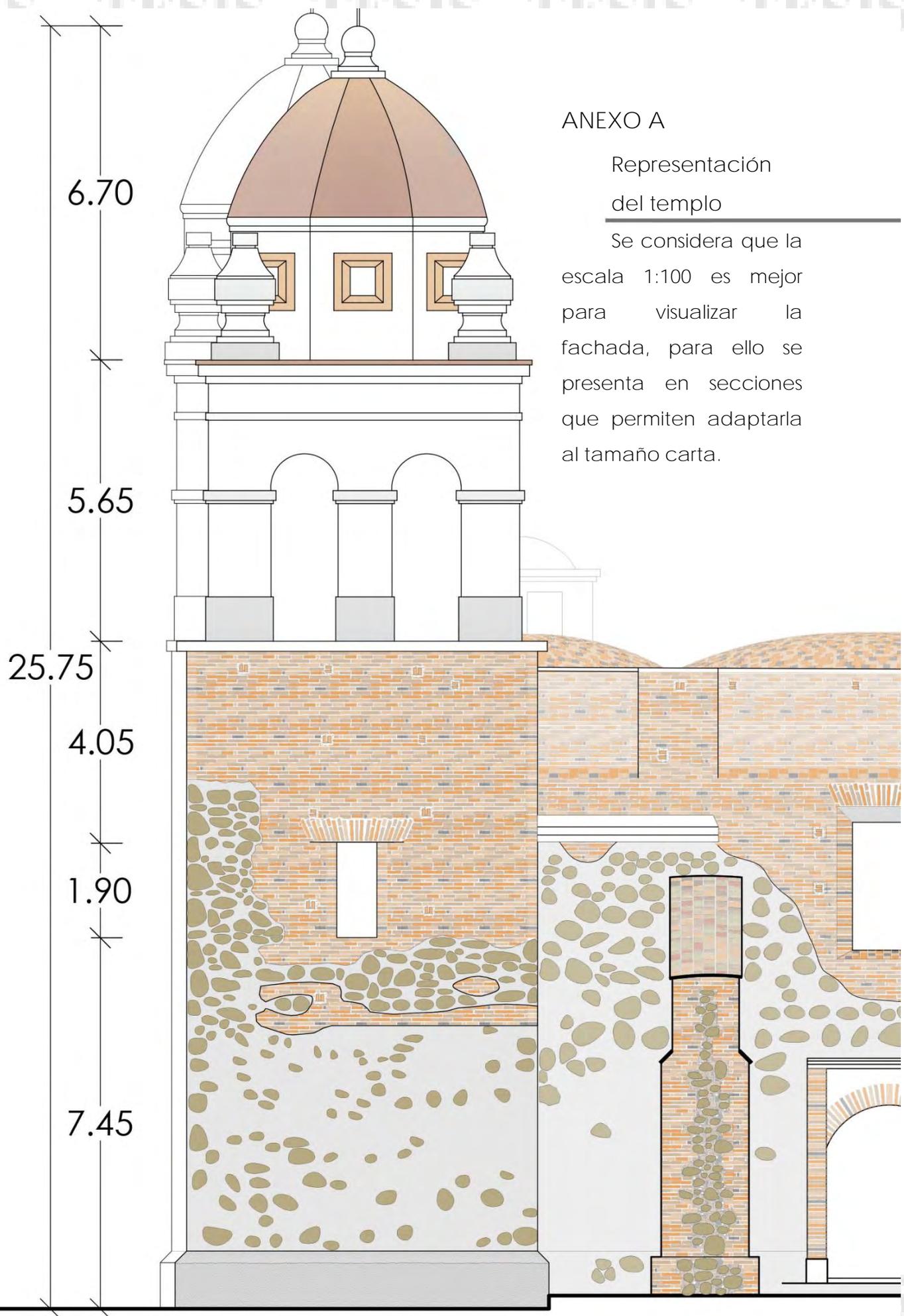
Villa Purificación, H. A. (2016). *REGLAMENTO DE DESARROLLO URBANO Y CONSTRUCCION DEL MUNICIPIO DE VILLA PURIFICACION, JALISCO.*

Villegas, D., Cámara, M., & Compán, V. J. (2014). Análisis estructural de la torre del homenaje de la Alhambra de Granada (España). *Informes de la construcción*, 66(Extra 1 (diciembre 2014)), 17.
<https://doi.org/10.3989/ic.13.101>

Vizcaíno, H. I. E., & Soto, Z. M. A. (2018). *Propuesta y evaluación de una metodología para la determinación del peso propio en elementos constructivos y ornamentales de edificios patrimoniales empleando fotogrametría digital de corto rango* [Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes].
<http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/1581/432897.pdf?sequence=1>

Wedekind, W., López-Doncel, R., Dohrmann, R., Kocher, M., & Siegesmund, S. (2013). Weathering of volcanic tuff rocks caused by moisture expansion. *Environmental Earth Sciences*, 69(4), 1203–1224.
<https://doi.org/10.1007/s12665-012-2158-1>

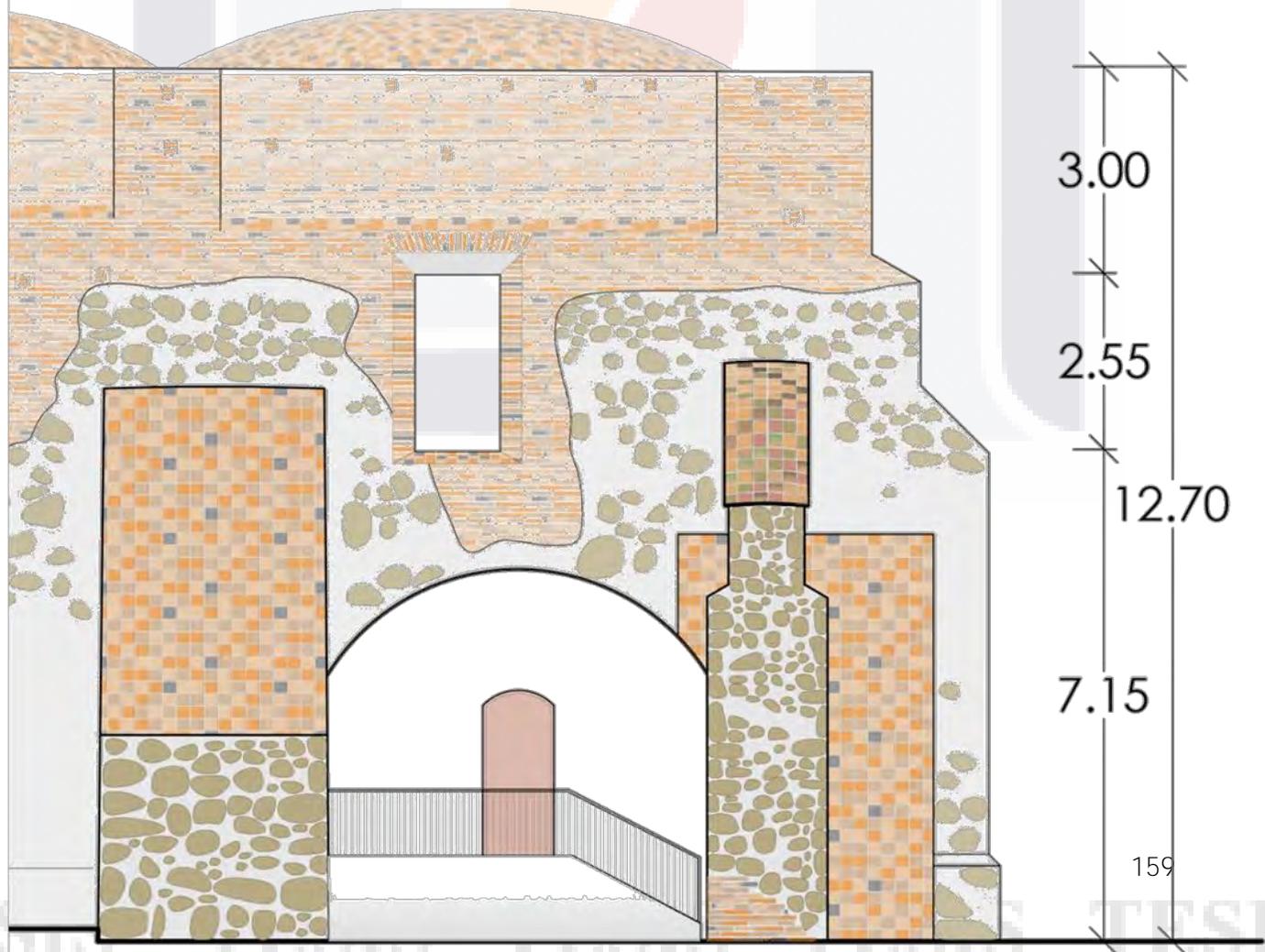
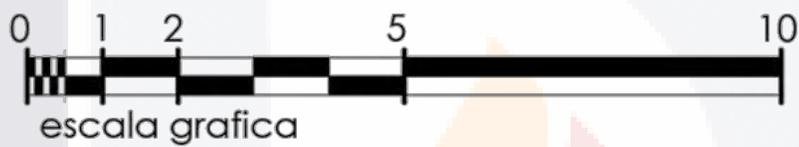
Yam, J. L. C., Carcaño, R. S., & Moreno, E. I. (2003). *Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto.*



Vista en alzado, representación arqu



arquitectónica



Super Hatch para representar materiales del templo

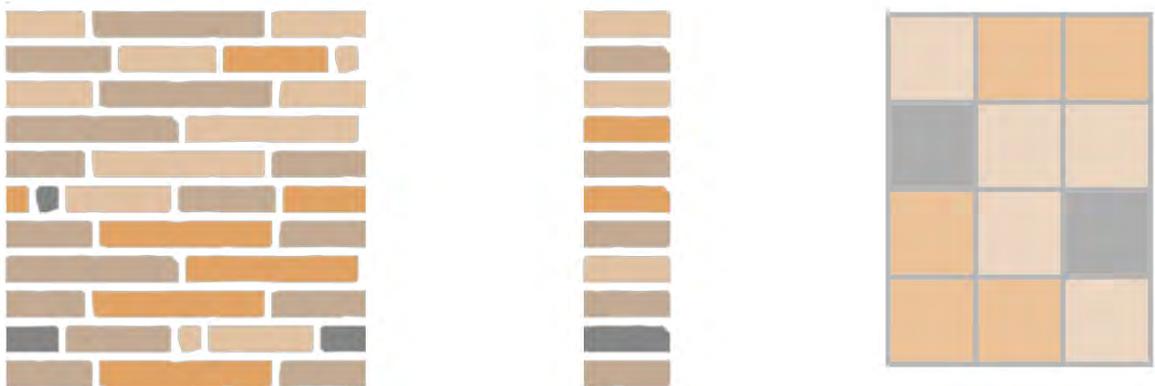
Como una de las actividades aprendidas y desarrolladas durante el doctorado, comprende la generación de superhatch o texturas mediante bloques dentro del programa ACAD. En comparación con hatch o patrón convencional, estas texturas generadas mediante superhatch tienen algunas ventajas, como el poder manipular sus colores, formas y dimensión de reproducción; además al momento de insertarlas es posible cambiar alguna de sus escalas en uno o ambos ejes. Para generar estas formas se siguen estos pasos:

- 1) Se elabora el dibujo a utilizar como textura o patrón de relleno.
- 2) Posteriormente este dibujo se convierte en bloque.

Al igual que con un relleno convencional, es necesario contar con un área delimitada y cerrada.

- 3) Se escribe el comando que lleva el mismo nombre superhatch.
- 4) Se indica la escala en los ejes X, Y, así como la rotación de ser necesario.
- 5) Para finalizar se selecciona el área a cubrir y con ello se corrobora que el patrón se repite adecuadamente.

El desarrollo de estos superhatch fue de utilidad en la representación del TNSC, para ello se elaboraron los siguientes patrones: Conjunto de ladrillos para muros continuos, columnas de ladrillo para delimitar bordes y cuadrados para representar la tecata en los elementos inclinados.



Términos geológicos y familias de rocas

- Formas anhedrales: este término se utiliza tanto en mineralogía y geología para describir cristales sin caras planas bien definidas o formas geométricas regulares. Un cristal anhedro tiene contornos irregulares y una superficie rugosa o indefinida.
- Formas euhedrales: De igual manera este termino se utiliza para describir a los cristales que tienen caras planas y formas geométricas definidas. Estos cristales exhiben una estructura cristalina bien desarrollada con caras lisas y definidas.
- Fracturas cementadas: En geología hace referencia a grietas o fisuras en la roca que han sido llenadas o cementadas con minerales posteriores a la formación del material base. Estas fracturas podrían haberse formado por procesos, como la actividad tectónica, la expansión térmica y entre otros eventos.
- Textura porcelanoide: Este término se refiere a una textura que tiene similitudes o características que se asemejan al aspecto de la porcelana; material reconocido por sus características visuales: suave, compacta y pulida.
- Maclas tipo Carlsbad: una macla se refiere a una formación cristalina en la que dos o más cristales individuales comparten algunas de sus caras en una disposición. En la macla Carlsbad, un cristal de feldespato se invierte con respecto a otro cristal de la misma especie, de modo que una mitad del cristal está orientada en la dirección opuesta a la otra mitad.
- Matriz vítrea: En geología, este término se utiliza comúnmente en relación con las rocas ígneas volcánicas, como las obsidianas. Estas rocas cuentan con una estructura amorfa parecida al vidrio, distinto a las estructuras regulares como pueden ser los cristales.

Tabla con familias de rocas (Yam et al., 2003)

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto	
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperizable en clima tropical, intemperismo esferoidal	
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos		
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico	
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento	
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava		
		Basalto	P1, V Y M	Afanítica vesicular	Derrames de lava	Alta resistencia a la compresión, porosa y resistente a la abrasión	
		Tobas	Variable	Porfídica	Pseudoestratificación	Dependiendo de la mineralogía pueden ser reactivas y algunas son muy deleznable	
Sedimentarias	Clásticas	Conglomerado	Fragmentos de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenos de causes, masiva		
		Arenisca	Qz, Pk, p1 y fragmentos de roca	Fragmentos 2mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes	Puede contener cementante sílico que es reactivo con los álcalis del cemento	
		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/6 mm de diámetro	Laminaciones masiva	Puede presentar fisibilidad, baja resistencia a la compresión, puede hidratarse a través de los materiales arcillosos	
	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva	Altamente soluble	
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación	Sus minerales arcillosos puede hidratarse fácilmente	
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva	Sus componentes mineralógicos pueden provocar la reacción álcali-carbonato (a través de la desdolomitación)	
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes	Muy ligero, baja restencia a la abrasión	
		Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	Ligero, deleznable y/o frágil, produce problemas durante la hidratación del cemento pórtland	
	Metamórficas	Foliadas	Pizarra pilita	Qz, micas, clorita, sericita.	Foliada de grano fino	Foliación	Deleznable
			Esquisto	Micas, Fk, clorita Qz, calcita y feldespatos	Foliada de grano medio	Foliación	A veces muy deleznable
Gneiss			Qz, feldespatos ferromagnesianos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva		
No foliadas		Homfels	Mica, granate, Px cuarzo, feldespatos	Afanítica	Masiva	Puede presentar sílice del tipo reactivo con los álcalis del cemento	
		Cuarcita	Qz, feldespatos sillimanita	Granoblástica	Masiva	Demhornfles	
		Mármol skarn	Calcita, Px y AN.	Granoblástica	Masiva		

ANEXO B

Concentrado de registros: experimentación envejecimiento acelerado

MURO	CICLO DE REGISTRO								
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	
1	T M APARENTE	23.20	34.13	39.60	21.63	37.85	34.20	25.50	16.10
	H M APARENTE	29.00	17.04	13.04	21.79	11.13	20.50	14.58	21.79
	T M REPELLADO	23.20	16.03	29.43	21.53	37.96	23.60	23.60	17.60
	H M REPELLADO	33.40	26.04	18.20	29.62	19.95	30.54	27.58	33.58
	VOLUMEN	237210.25		235438.68		237156.79		234671.14	
2	T M APARENTE	23.80	33.13	38.16	22.53	38.16	39.20	25.30	17.60
	H M APARENTE	28.98	16.12	11.12	22.41	12.54	25.08	25.83	24.00
	T M REPELLADO	16.70	16.33	30.46	20.73	28.86	38.13	21.63	16.13
	H M REPELLADO	33.40	22.33	10.04	28.13	18.41	30.20	29.50	30.04
	VOLUMEN	226430.74		228850.18		225380.20		226515.92	
3	T M APARENTE	22.90	34.10	37.10	19.60	37.80	40.03	23.60	17.40
	H M APARENTE	29.06	11.75	9.10	23.41	17.60	20.20	27.04	23.54
	T M REPELLADO	15.80	19.30	28.40	18.40	37.90	37.70	21.06	15.30
	H M REPELLADO	34.13	27.29	25.60	29.75	23.50	31.20	36.30	32.90
	VOLUMEN	230034.01		233906.17		231775.14		235164.29	
4	T M APARENTE	22.70	29.90	38.20	19.06	35.20	41.60	23.50	14.40
	H M APARENTE	29.00	18.00	14.20	16.30	16.80	22.45	29.60	27.30
	T M REPELLADO	15.80	12.20	28.80	18.30	34.20	39.40	19.60	14.40
	H M REPELLADO	33.40	26.91	24.50	21.30	21.30	31.20	32.90	33.50
	VOLUMEN	228241.51		229682.31		227952.35		230756.33	
5	T M APARENTE	32.63	25.96	38.20	35.00	38.16	21.53	22.76	19.60
	H M APARENTE	30.55	30.16	20.00	23.75	23.13	20.00	24.15	26.00
	T M REPELLADO	17.76	17.75	18.46	16.33	30.46	21.23	20.96	18.40
	H M REPELLADO	33.54	30.62	28.33	28.34	25.37	28.33	27.25	27.62
	VOLUMEN	239101.18		236663.92		233836.32		234935.48	
6	T M APARENTE	25.90	33.10	35.10	34.10	37.10	20.10	23.90	19.06
	H M APARENTE	28.75	23.00	17.54	28.80	29.30	19.21	23.13	25.65
	T M REPELLADO	16.40	13.30	18.30	19.30	28.40	19.90	19.60	18.30
	H M REPELLADO	34.62	26.41	22.92	34.38	27.17	30.06	29.38	31.20
	VOLUMEN	232694.23		231474.34		230146.40		229807.85	
7	T M APARENTE	26.30	34.10	32.40	33.20	38.20	21.60	23.30	19.60
	H M APARENTE	30.04	25.41	24.76	21.92	18.45	17.60	28.20	28.20
	T M REPELLADO	15.30	19.30	19.60	12.20	28.80	21.50	20.70	22.20
	H M REPELLADO	39.00	26.90	21.13	29.00	36.42	43.20	35.90	35.90
	VOLUMEN	230463.94		230046.81		234010.60		231725.35	
8	T M APARENTE	24.53	29.93	34.13	39.60	32.90	22.53	22.76	25.40
	H M APARENTE	22.91	17.29	15.70	23.79	17.12	23.25	30.30	26.41
	T M REPELLADO	14.13	12.26	16.03	29.43	28.50	20.73	20.96	23.40
	H M REPELLADO	39.41	24.58	24.20	33.79	21.79	45.45	36.12	32.45
	VOLUMEN	222522.08		222075.17		223862.24		223746.52	

T M TEMPERATURA MEDIA, CARA APARENTE
H M HUMEDAD MEDIA CARA APARENTE
T M TEMERATURA MEDIA CARA REPELLADA
H M HUMEDAD MEDIA CARA REPELLADA
VOLUMEN VOLUMEN POR SOFTWARE

Concentrado de registros: experimentación envejecimiento acelerado

MURO	CICLO DE REGISTRO									
	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	
1	T M APARENTE	41.50	12.07	25.13	33.46	39.66	23.80	31.10	39.53	39.53
	H M APARENTE	14.87	24.20	15.95	21.95	14.45	21.75	15.29	18.04	11.38
	T M REPELLADO	28.40	11.80	29.26	25.20	23.86	21.30	32.46	32.33	32.33
	H M REPELLADO	27.37	28.87	22.00	27.62	22.41	22.95	17.08	29.70	14.79
	VOLUMEN	234715.97		233399.72		233242.79		235224.63		235065.41
2	T M APARENTE	38.13	12.60	26.76	34.26	38.83	22.13	31.73	38.43	41.93
	H M APARENTE	16.16	21.33	15.12	24.62	13.37	21.70	12.62	16.29	8.83
	T M REPELLADO	29.06	13.30	26.73	24.96	22.73	23.06	31.93	32.86	36.30
	H M REPELLADO	26.41	26.04	18.70	32.58	20.16	26.50	15.58	28.41	12.75
	VOLUMEN	226630.18		223080.72		224101.35		227462.09		227859.93
3	T M APARENTE	38.40	13.60	25.30	33.80	37.40	22.10	27.60	38.30	38.50
	H M APARENTE	17.84	21.90	17.10	15.04	15.20	17.20	16.00	16.50	11.00
	T M REPELLADO	28.70	13.50	30.50	25.10	17.80	22.70	28.40	31.30	32.40
	H M REPELLADO	26.20	29.30	21.70	26.30	20.60	21.20	17.50	20.60	13.90
	VOLUMEN	235683.05		237844.84		232901.07		233216.26		230573.37
4	T M APARENTE	39.40	13.50	25.30	33.80	34.40	21.90	27.10	38.50	37.53
	H M APARENTE	19.00	20.20	17.20	12.10	13.80	22.70	14.29	16.20	10.60
	T M REPELLADO	26.90	12.50	30.20	24.10	18.20	22.70	28.10	30.80	33.80
	H M REPELLADO	26.50	24.10	22.20	27.80	23.50	25.40	21.00	27.10	18.60
	VOLUMEN	232252.93		229221.67		228361.10		231035.86		231193.98
5	T M APARENTE	34.60	14.23	28.66	32.70	39.33	22.33	29.96	38.90	40.63
	H M APARENTE	23.70	19.66	15.79	10.91	12.25	15.88	12.33	18.88	11.30
	T M REPELLADO	21.63	16.33	31.76	25.13	21.63	22.96	30.36	32.56	36.80
	H M REPELLADO	23.83	28.95	20.66	27.45	23.25	28.21	22.21	28.50	15.20
	VOLUMEN	234703.28		238350.93		234370.70		234161.79		232628.70
6	T M APARENTE	32.80	12.80	29.80	33.60	38.10	22.70	31.06	39.90	40.70
	H M APARENTE	22.67	24.70	17.20	15.90	12.20	13.70	15.60	18.40	10.10
	T M REPELLADO	21.06	14.50	31.10	25.00	20.90	22.60	29.70	31.90	35.90
	H M REPELLADO	31.33	35.20	24.08	32.30	30.20	19.70	19.90	20.30	17.00
	VOLUMEN	226759.89		225671.21		226012.28		221215.98		221794.99
7	T M APARENTE	23.60	13.40	28.40	13.00	34.40	22.20	28.40	38.30	37.70
	H M APARENTE	23.50	20.70	17.10	17.00	14.30	22.04	14.40	13.80	10.80
	T M REPELLADO	19.60	14.10	29.70	23.80	18.70	22.40	28.06	4.80	32.30
	H M REPELLADO	39.02	28.60	26.50	28.20	26.10	31.96	24.50	29.50	20.30
	VOLUMEN	232740.81		230540.67		227452.62		225478.26		227458.62
8	T M APARENTE	38.50	12.60	28.50	33.90	35.83	22.03	27.80	39.30	24.50
	H M APARENTE	28.12	21.50	18.20	15.41	13.41	22.04	14.45	13.83	11.91
	T M REPELLADO	29.20	13.40	29.56	23.16	16.66	22.30	29.23	31.10	14.13
	H M REPELLADO	28.54	34.95	23.16	29.00	29.12	33.62	24.54	29.58	21.25
	VOLUMEN	219771.08		222056.41		218960.43		217956.86		214342.08

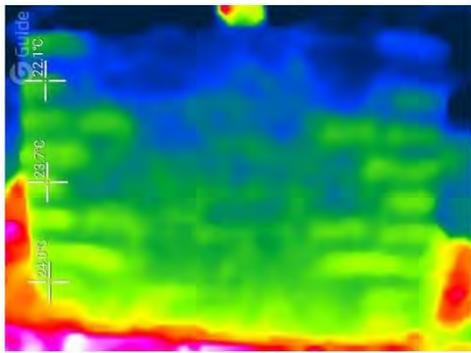
T M TEMPERATURA MEDIA, CARA APARENTE
H M HUMEDAD MEDIA CARA APARENTE
T M TEMPERATURA MEDIA CARA REPELLADA
H M HUMEDAD MEDIA CARA REPELLADA
VOLUMEN VOLUMEN POR SOFTWARE

Bitácoras de registros, espécimen 1

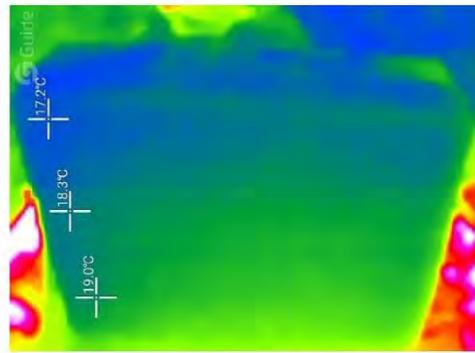
A continuación, se presenta como ejemplo el seguimiento del espécimen No 1, en los registros de evidencias se nombra Muro 1, los datos presentan los valores de cada cara del muro (aparente/repellado): la humedad obtenida por higrómetro y la temperatura mediante cámara termográfica. En los ciclos correspondientes aparece el volumen estimado mediante fotogrametría.

REGISTRO DE EVIDENCIAS								
MURO 1_CICLO 0 / APARENTE				/ REPELLADO				
	HUMEDAD				HUMEDAD			
N3	21.5	42.5	23.0	23.0	31.0	39.0	41.0	34.5
N2	22.0	24.5	25.0	28.5	28.5	33.0	34.0	26.0
N1	26.5	21.5	44.5	45.5	33.0	35.5	23.0	42.0
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 23.2 °C
H M: 29 %



T M: 23.2 °C
H M: 33.4 %
VOLUMEN: 237210.25 CM2
FECHA: 31/10/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

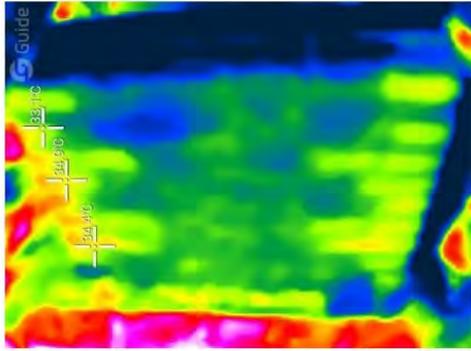
MURO 1_CICLO 0.5 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	17.0	16.0	18.0	12.0
N2	12.0	14.5	12.0	7.5
N1	20.0	31.5	24.5	19.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

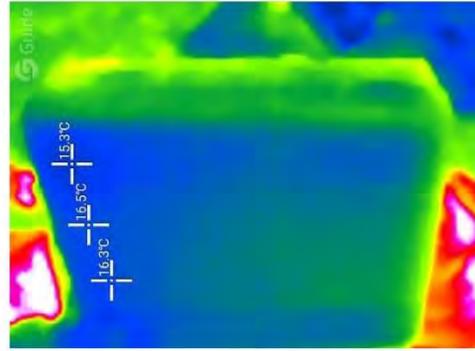
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	31.0	39.0	37.0	34.5
	11.5	10.0	18.0	10.5
	19.0	35.0	33.0	34.0
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 34.13 °C
H M: 17.04 %



T M: 16.03 °C
H M: 26.04 %

FECHA: 01/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

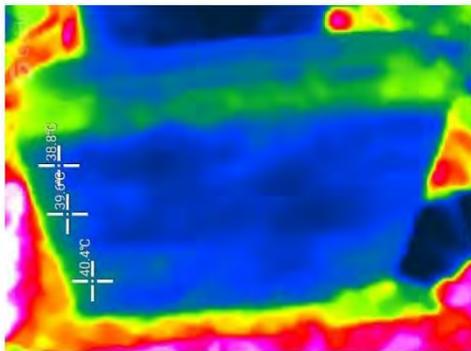
MURO 1_CICLO 1 APARENTE

	HUMEDAD			
N3	7.5	12.5	16.5	2
N2	3	29.5	29.5	12.5
N1	10	10.5	10.5	12.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

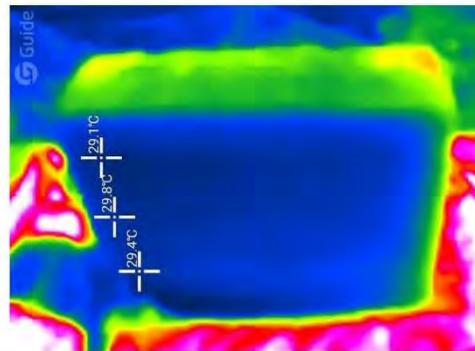
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	16	21	17.5	18
	16.5	17.5	18.5	17
	17.5	19.5	18	21.5
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 39.6 °C
H M: 13.04 %



T M: 29.43 °C
H M: 18.2 %
VOLUMEN: 235438.68 CM2
FECHA: 07/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

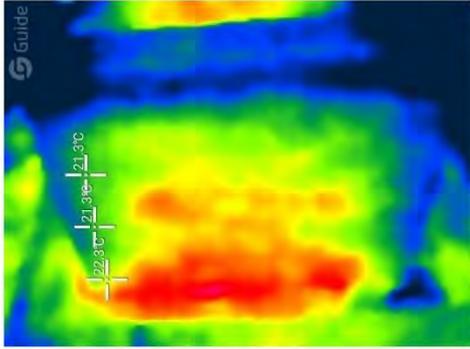
MURO 1_CICLO 1.5 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	21.5	25	21.5	22
N2	21	27	21	21.5
N1	20.5	19.5	21.5	19.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

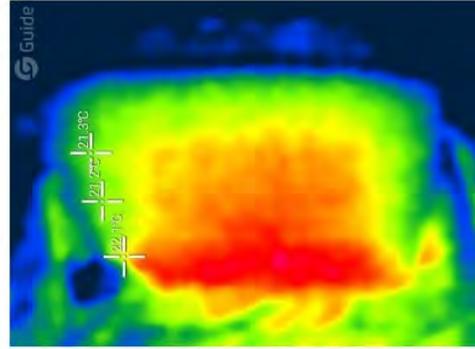
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	23	24	26	26.5
	21.5	25	23	23
	26	51	23.5	63
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 21.63 °C
H M: 21.79 %



T M: 21.53 °C
H M: 29.62 %

FECHA: 08/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

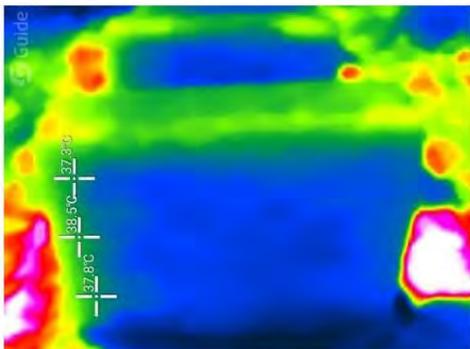
MURO 1_C2/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	8.5	14	15	6
N2	8	10.5	12.5	15
N1	9.5	8	15	11.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

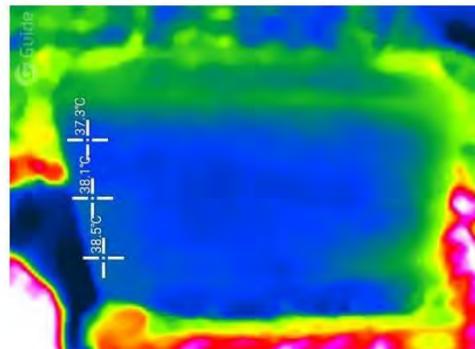
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	20	18	20	19
	18.5	20	21	18.5
	18.5	19	25	22
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 37.85 °C
H M: 11.13 %



T M: 37.96 °C
H M: 19.95 %
VOLUMEN: 237156.79
FECHA: 14/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

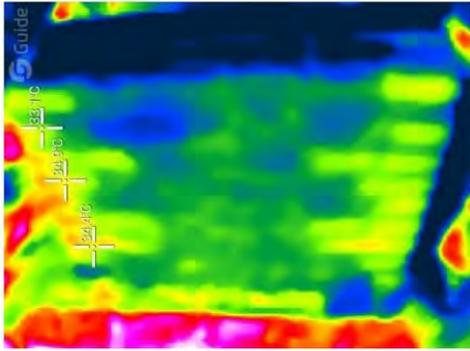
MURO 1_C 2.5 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	13.5	23	16	11.5
N2	24.5	19.5	14	18.5
N1	28	16	43	18.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

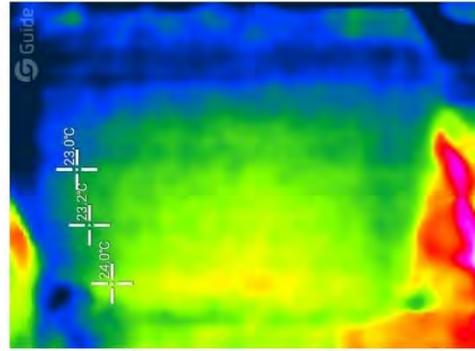
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	19	24.5	24.5	21
	24.5	22.5	21	19
	28	55	48.5	59
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 34.2 °C
H M: 20.5 %



T M: 23.6 °C
H M: 30.54 %

FECHA: 15/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

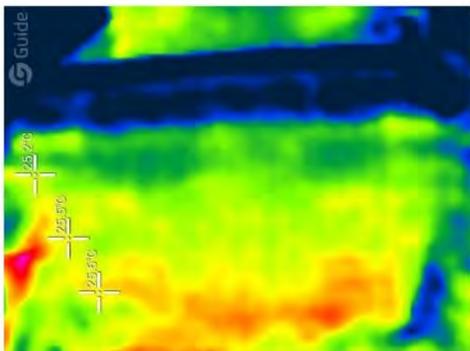
MURO 1_C3/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	13.5	12	16	11.5
N2	14	12	19	17
N1	11	14.5	19	15.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

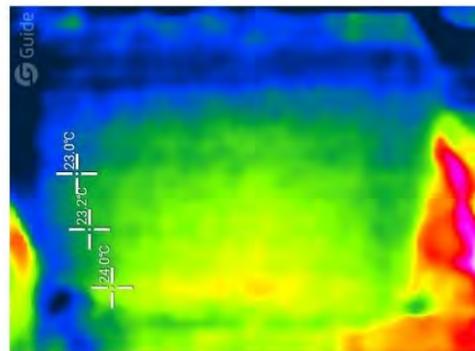
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	21	23	22	21.5
	21.5	22.5	20.5	19
	42	33	33	52
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 25.5 °C
H M: 14.58 %



T M: 23.6 °C
H M: 27.58 %
VOLUMEN: 234671.14
FECHA: 21/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

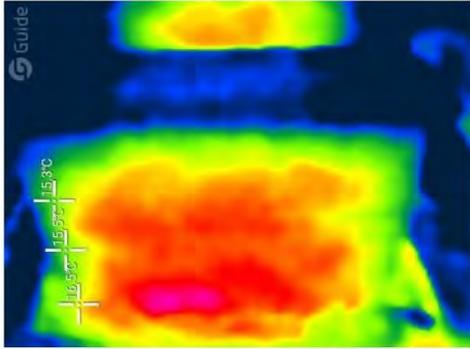
MURO 1_C 3.5 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	17.5	30	21	18.5
N2	20.5	26.5	18.5	23
N1	23	19.5	24	19.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

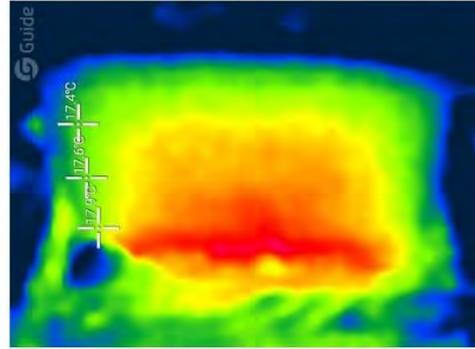
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	24	29.5	25	25
	23	25	25	21.5
	58.5	32	54	60.5
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 16.1 °C
H M: 21.79 %



T M: 17.6 °C
H M: 33.58 %

FECHA: 22/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

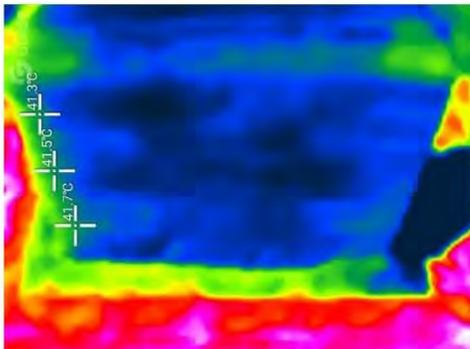
MURO 1_C4 / APARENTE

	HUMEDAD			
N3	10.5	15.5	17	13.5
N2	14	12	19	17
N1	11	14.5	19	15.5
	Ladrillo	Piedra	Mortero	Ladrillo

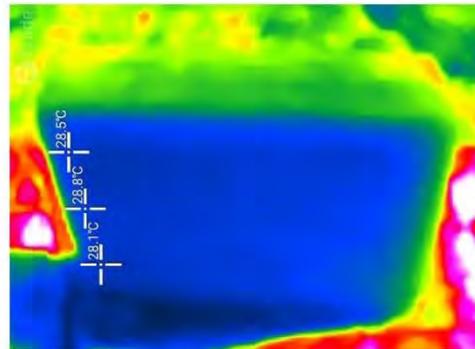
/ REPELLADO

	HUMEDAD			
	19	24	21.5	20.5
	21.5	22.5	20.5	19
	42	33	33	52
	Mortero	Mortero	Mortero	Mortero

TERMOGRAFIA



T M: 41.5 °C
H M: 14.87 %



T M: 28.4 °C
H M: 27.37 %
VOLUMEN: 234715.97
FECHA: 28/11/2022

REGISTRO DE EVIDENCIAS

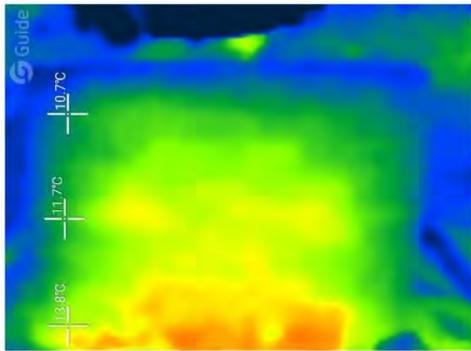
MURO 1_C 4.5/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	25	21.5	20.5	27.5
N2	26.5	19.5	18	22
N1	36	22	21	31

/ REPELLADO

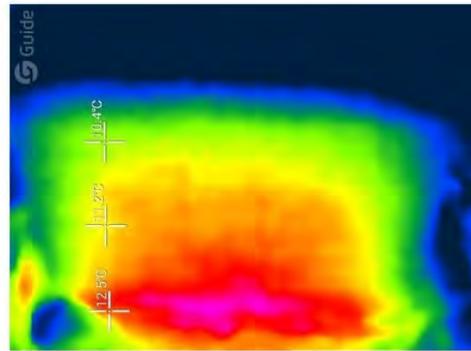
	HUMEDAD			
	23	24	23.5	23
	22	22	21.5	21.5
	28	33	51	54

FOTOGRAFIA



T M: 12.07 °C
H M: 24.2 %

TERMOGRAFIA



T M: 11.8 °C
H M: 28.87 %

FECHA: 09/01/2023

REGISTRO DE EVIDENCIAS

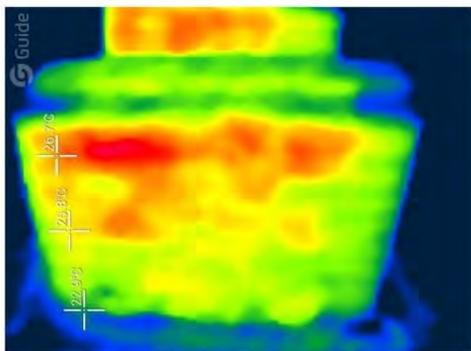
MURO 1_C 5/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	13.5	12.5	17	14.5
N2	11.5	19	17	19
N1	12	14.5	23.5	17.5

/ REPELLADO

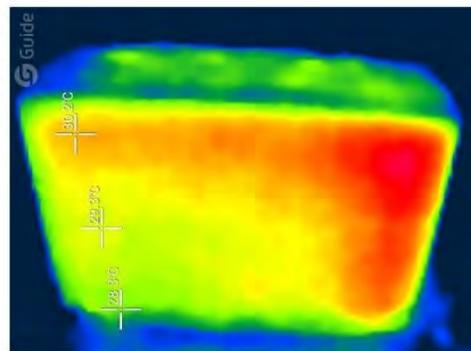
	HUMEDAD			
	19	20	18	18
	19	19	20	18
	21.5	30.5	30	31

FOTOGRAFIA



T M: 25.13 °C
H M: 15.95 %

TERMOGRAFIA



T M: 29.26 °C
H M: 22 %
VOLUMEN: 233399.72
FECHA: 14/01/2023

REGISTRO DE EVIDENCIAS

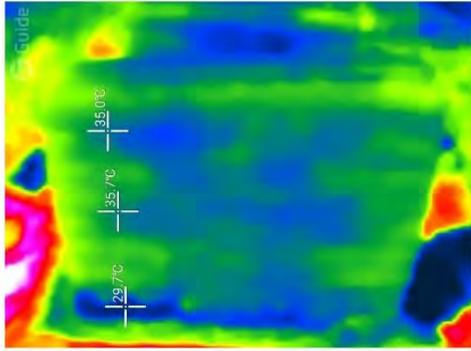
MURO 1_C 5.5/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	13.5	18	11.5	6.5
N2	16.5	17	12	11.5
N1	64.5	14.5	65.5	12.5

/ REPELLADO

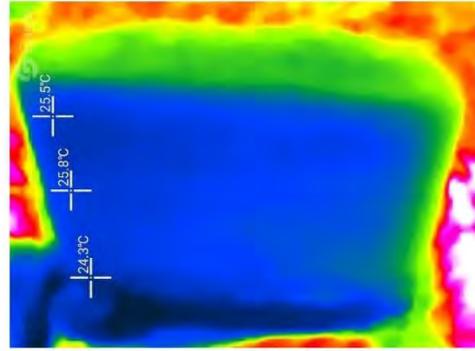
	HUMEDAD			
	18.5	18.5	19	18.5
	17.5	17	18	18.5
	19	63.5	54	49.5

FOTOGRAFIA



T M: 33.46 °C
H M: 21.95 %

TERMOGRAFIA



T M: 25.2 °C
H M: 27.62 %

FECHA: 15/01/2023

REGISTRO DE EVIDENCIAS

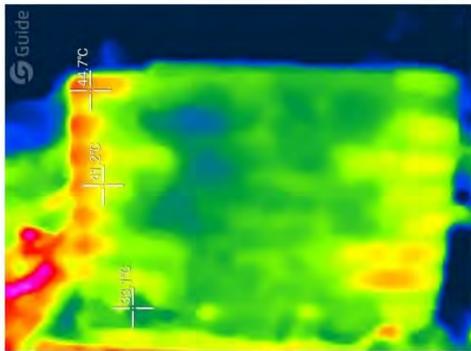
MURO 1_C 6/ APARENTE

	HUMEDAD			
N3	14.5	15	10.5	10.5
N2	11.5	20.5	14	12
N1	18.5	8	22	16.5

/ REPELLADO

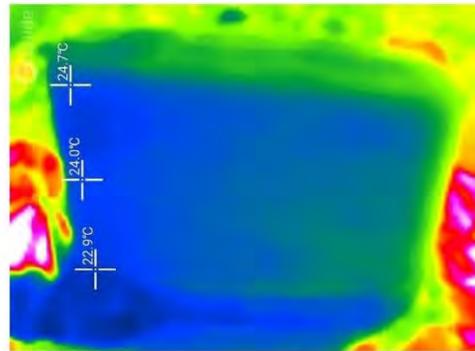
	HUMEDAD			
	20	19	18.5	17.5
	20	19	18.5	19
	25	21	26	45.5

FOTOGRAFIA



T M: 39.66 °C
H M: 14.45 %

TERMOGRAFIA



T M: 23.86 °C
H M: 22.41 %
VOLUMEN: 233242.79
FECHA: 21/01/2023

REGISTRO DE EVIDENCIAS

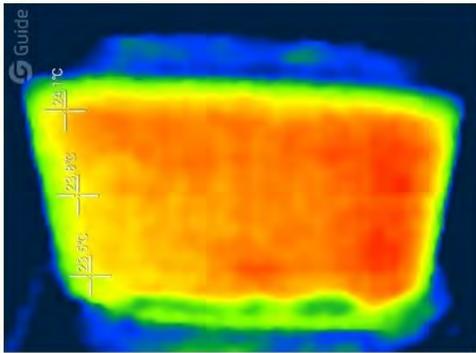
MURO 1_C 6.5/ APARENTE

26°C

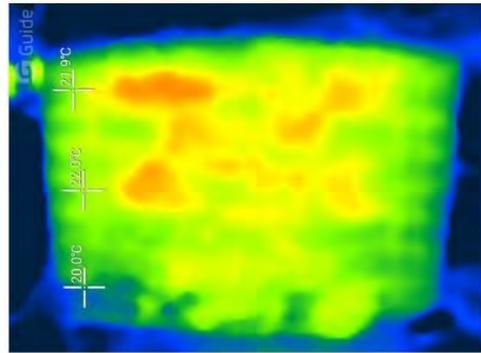
EXPUESTO			
15	15	18.5	19.5
15	17.5	14	19.5
26.5	11.5	65	24

/ REPELLADO

REPELLADO			
20.5	20.5	19.5	19.5
19.5	19.5	20.5	18
21.5	39	38	19.5



T M: 23.8 °C
H M: 21.75 %



T M: 21.3 °C
H M: 22.95 %

FECHA: 22/01/2023

REGISTRO DE EVIDENCIAS

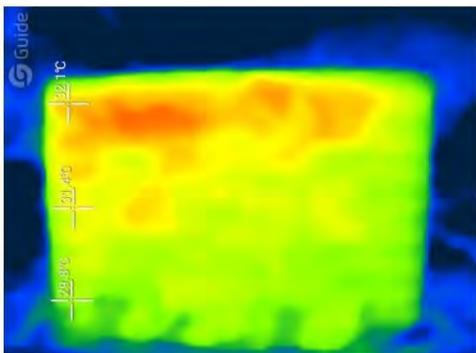
MURO 1_C 7/ APARENTE

28.5 °C

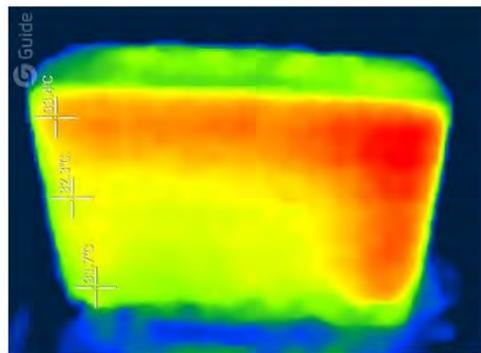
EXPUESTO			
15.5	13.5	14.5	15.5
13.5	12.5	14.5	14.5
21	10	19.5	19

/ REPELLADO

REPELLADO			
18	17	14.5	13.5
17	18	17	14.5
19	19.5	17	20



T M: 31.1 °C
H M: 15.29 %



T M: 32.46 °C
H M: 17.08 %
VOLUMEN: 235224.63
FECHA: 04/02/2023

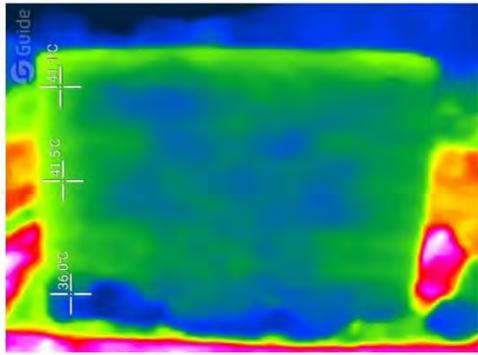
REGISTRO DE EVIDENCIAS

MURO 1_C 7.5/ APARENTE 30 °C

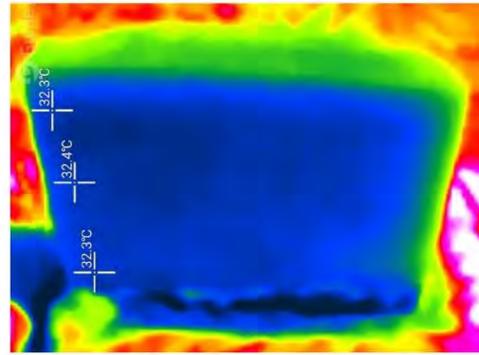
EXPUESTO			
10.00	12.50	13.00	9.50
11.00	17.50	8.00	10.50
28.00	13.00	65.00	18.50

/ REPELLADO

REPELLADO			
18.50	17.00	18.00	14.50
17.00	19.00	14.50	11.50
39.50	62.00	61.00	64.00



T M: 39.53 °C
H M: 18.04 %



T M: 32.33 °C
H M: 29.7 %

FECHA: 05/02/2023

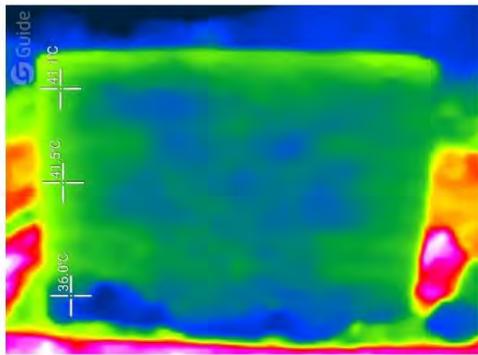
REGISTRO DE EVIDENCIAS

MURO 1_C 8/ APARENTE 30 °C

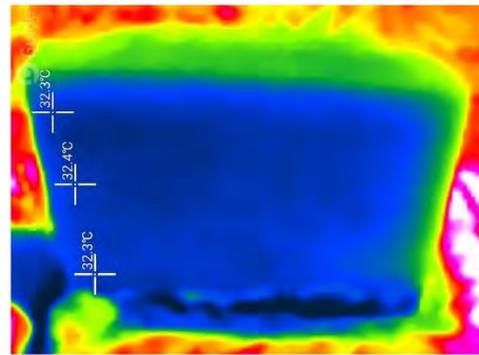
EXPUESTO			
11.0	10.5	13.5	11.5
8.0	5.0	12.5	10.0
17.0	8.0	17.0	12.5

/ REPELLADO

REPELLADO			
16.0	14.0	14.0	13.0
16.0	16.0	14.0	12.5
12.5	23.0	16.0	10.5



T M: 39.53 °C
H M: 11.375 %



T M: 32.33 °C
H M: 14.79 %
VOLUMEN: 235065.41
FECHA: 12/02/2023

ANEXO C

Complementos documentales obtenidos de la plataforma del INAH

Como se ha mencionado en el contenido de esta tesis, la información catalogada respecto al Templo de Nuestra Señora de la Candelaria es escasa, por ejemplo, las fichas del INAH apenas cuentan con datos de ubicación, una fotografía y la descripción de los materiales principales.



Consulta pública del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles

▲ La información de esta ficha se encuentra en proceso de validación.

Nombre: Templo de la Candelaria
Tipo y subtipo de ficha: INMUEBLE RELIGIOSO
Clave de ficha: I-0011500836

LOCALIZACIÓN

Entidad Federativa Jalisco

Municipio / Alcaldía Villa Purificación No se cuenta con la ubicación

Localidad / Colonia Villa Purificación

Vialidad Calle Morelos

Número exterior Sin información

Asentamiento humano Colonia

Otra localización Entre Allende y Sor Juana Inés de la Cruz

IDENTIFICACIÓN

Clasificación Monumento Histórico

Uso Original

Categoría Arquitectura Religiosa
Género Edificio de arquitectura religiosa
Tipo Arquitectónico Templo
Nombre Original y/o Tradicional Templo de la Candelaria
Nombre Actual Templo de la Candelaria

Uso Actual

Categoría Arquitectura Religiosa
Género Edificio de arquitectura religiosa
Tipo Arquitectónico Templo
Patrimonio perdido
 Sin información

ASPECTOS LEGALES

Régimen de propiedad Otras formas de propiedad - Gobierno federal

Folio Real RPMZAH Sin información **Declaratoria de Monumento Histórico** Sin información

Folio y Denominación ZMH
 Sin información

Listado en Declaratoria de Zona de Monumentos Históricos Sin información

Ubicado en la Zona de Monumentos Históricos Sin información

Sitio Inscrito en la lista de patrimonio Mundial UNESCO
 Sin información

REFERENCIAS RELIGIOSO ADMINISTRATIVAS

Advocación Original
 Sin información

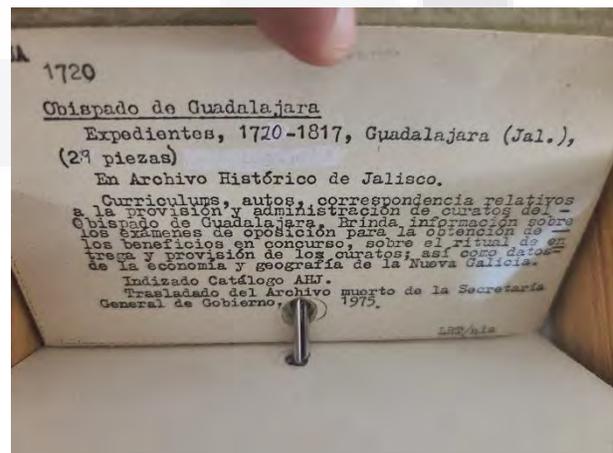
Advocación Actual
 Sin información

Fundación
 Sin información

Esta ficha contiene la información que se encuentra en la Base de Datos del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles, la cual constituye una herramienta de trabajo que el Instituto Nacional de Antropología e Historia utiliza para la identificación de inmuebles con valor patrimonial, asimismo es un instrumento de soporte técnico, documental y académico, en constante actualización, que permite formular y promover programas para la protección, conservación y difusión del patrimonio histórico edificado. La utilización de este material es únicamente con fines de consulta.

Evidencia de investigación en el Archivo Histórico de Jalisco

El archivo cronológico alberga información a partir del año 1700, alrededor de 100 años posterior a la edificación del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria. Motivo por lo cual, es evidente que no se encontrara información relacionada con su edificación original.

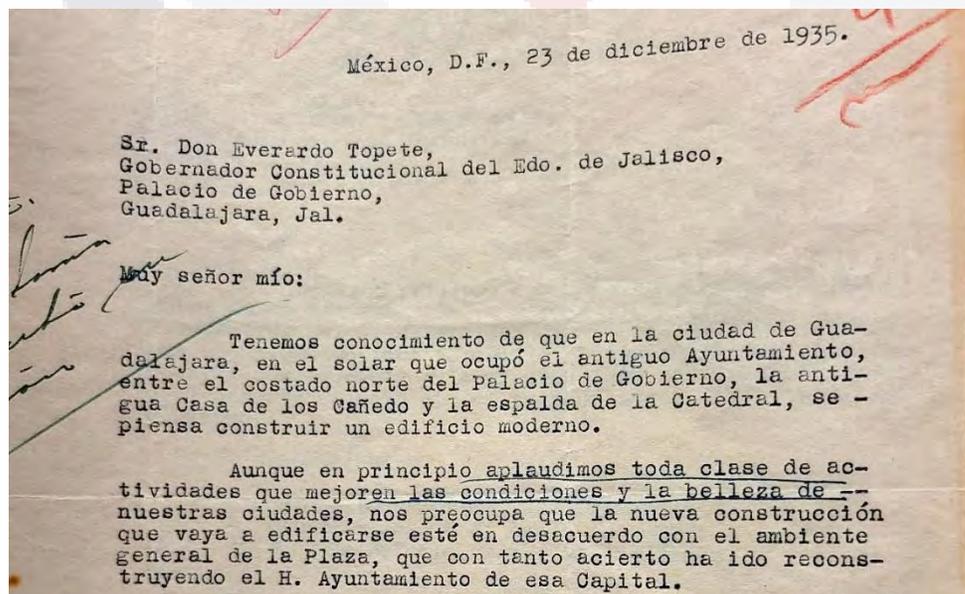


La documentación relacionada con la clasificación de monumentos históricos, así como su mantenimiento, diagnóstico y restauraciones (clasificación G-11), esta principalmente enfocada en edificaciones del municipio de Guadalajara y en menor medida algunas otras comunidades. Los documentos se presentan en físico y algunos respaldos digitalizados para facilitar su legibilidad y lectura.



ARCHIVO HISTÓRICO DE JALISCO	
FONDO:	Gobernación
SERIE:	Monumentos Históricos
CODIGO DE REFERENCIA	MX14039AHJ / G-11-1885 - 1886 / Inv. 12922
TÍTULO	Dictámenes correspondientes al estado que guarda la Catedral de la ciudad de Guadalajara manifestando las condiciones de deterioro así como las soluciones para su restauración
FECHA DE CREACIÓN	1885, Noviembre, 30
NIVEL DE DESCRIPCIÓN	Expediente
VOLUMEN	8 fojas
PRODUCTOR	Guadalajara, Longinos Banda, Gabriel Castaños y Domingo Torres García
FECHAS EXTREMAS	1885, Noviembre, 30 - 1886, Agosto, 18
RESUMEN	Dictámenes realizados por Longinos Banda, Gabriel Castaños y Domingo Torres García correspondientes al estado que guarda la Catedral de la ciudad de Guadalajara, manifestando las condiciones de deterioro así como los motivos de éste, además presentan las soluciones para su restauración.
ORGANIZACIÓN	Alfanumérica y cronológica
LENGUA DE LOS DOCUMENTOS	Español
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Buen estado

En algunos documentos es evidente que la conservación del patrimonio histórico edificado ha sido un tema de interés desde épocas pasadas, aun así, no existe información relacionada con intervenciones en el TNSC.



Complementos documentales, ilustraciones de diversas fuentes

La imagen obtenida del catálogo del INAH (INAH, 2022), cuya fecha de captura no está registrada. En ella se muestra una vista desde la calle hacia la fachada sur del TNSC. En el extremo izquierdo, cerca de la esquina inferior y detrás del poste de telefonía (poste de madera en color verde), se distingue un muro de ladrillo con una puerta; actualmente, solo quedan vestigios en el suelo de este espacio. En el lado derecho, cerca de la esquina inferior, se observa un muro blanco que corresponde parcialmente a un contrafuerte existente en la actualidad.



Se recuperó una imagen del libro *Perspectiva de Templos de Jalisco* (Ascencio et al., 2004), dicha imagen debió ser obtenida entre el año 2000 y 2003. En esta perspectiva se distingue a la derecha la silueta de un arco de medio punto en color blanco manchado, que corresponde a la ubicación actual de la sacristía. Esta imagen evidencia que la construcción de este elemento espacial se llevó a cabo en fechas posteriores.



En el portal del Gobierno del Estado de Jalisco (Jalisco, 2023), se pueden encontrar algunas ilustraciones que muestran fotografías aéreas tomadas entre los años 1998 y 2000. Aunque la resolución de estas imágenes no permite apreciar los detalles del templo, ofrecen una visión general del entorno arquitectónico. En estas fotografías, se destaca la presencia de una arquitectura vernácula colonial, caracterizada por un patio central, muros exteriores robustos con pocas aberturas y techos inclinados cubiertos de teja de barro.



ANEXO E

Entorno a la elaboración de esta tesis, se han producido algunos artículos publicados en revistas científicas internacionales:

Producción: artículo en la revista Grupo Español de Conservación.



Evaluación del decaimiento volumétrico en probetas de piedra sometidas a ciclos de cristalización de sales, registrado mediante fotogrametría digital

DOI: <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1006>

Eden Vizcaino, Miguel Soto, Alejandro Acosta

Resumen: Se ha formulado la posibilidad de dar seguimiento al volumen de piedras deterioradas por ciclos de envejecimiento acelerado, como un complemento para los registros mediante el peso seco, pues este último se ve alterado en los primeros ciclos hasta un 10% por la formación de cristales internos en la red porosa de las muestras. Para esto, cinco muestras de piedras Tobas volcánicas se han deteriorado mediante ciclos de cristalización con una salmuera de sulfato de sodio concentrada al 12% a temperatura ambiente que oscila entre los 18 y 20 °C. La recolección de los datos se produce en dos categorías: primero en "ciclos" que involucran peso seco y volumen por fotogrametría; y segundo en "periodos" que involucra peso seco, volumen por principio de Arquímedes y volumen por fotogrametría. Con esto se ha observado que el volumen también es afectado por la cristalización de sales, presentando un incremento en los primeros tres ciclos, además se ha demostrado la capacidad de la fotogrametría para adquirir el volumen de objetos de pequeña escala consiguiendo un error porcentual inferior al 4%.

Palabras clave: Cristalización, fotogrametría, piedras, principio de Arquímedes, sulfato de sodio, volumen

DOI: <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1006>

Producción: artículo en la revista Periódica Politécnica de Arquitectura.

<https://doi.org/10.3311/PPar.23348> | 1
Creative Commons Attribution 4.0 International License

Periodica Polytechnica Architecture

Crystallization Cycles in Masonry Walls: Experimental Technique to Develop Accelerated Aging on a Real Scale

Isaías Edén Vizcaíno Hernández¹, Alejandro Acosta Collazo^{1*}, Ernesto Cervantes López²

¹ Architecture Department, Design and Construction Science Center, Autonomous University of Aguascalientes, Ave. Universidad 940, 20100 Aguascalientes, Mexico

² National Institute of Statistics and Geography, General Directorate of Integration Analysis and Research, Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301, 20276 Aguascalientes, Mexico

* Corresponding author, e-mail: alejandro.acosta@edu.uaa.mx

Received: 02 September 2023, Accepted: 21 February 2024, Published online: 05 March 2024

Abstract

Moisture in historic built heritage is one of the main degenerative agents, because it supports or manifests itself through multiple pathologies. Current knowledge allows for the diagnosis and assessment of the problem, but there are deficiencies in the evaluation of corrective systems due to the time it takes for moisture to become significant. In response, this study proposes an experimental methodology that aims to reproduce the accelerated aging of real scale specimens under laboratory conditions. Thereby improving the understanding of the impact of moisture related deterioration on masonry structures. To achieve this, eight masonry walls were constructed and subjected to eight cycles of sulfate crystallization. They were saturated with different sulfate concentrations (5% or 10%) and exposed to different drying conditions (outdoor or solar dehydrator) in order to identify the factors favoring sulfate crystallization and the resulting deterioration. The progress of the experiments was monitored using a hygrometer, a thermographic camera and photogrammetry. The results indicate that it is possible to induce efflorescence in real scale specimens. Temperature and moisture monitoring helped identify the solar dehydrator as a more effective drying treatment. While digital photogrammetry was considered inefficient for quantifying volumetric damage, since this technique can present errors greater than 2%, a value exceeding the observed wear. Reason why the weight of material detached at the end of the experiment was recorded and a positive correlation between the increase in sulfate concentration and the use of the dehydrator was observed. Finally, pertinent considerations are made to improve the experimental conditions.

Keywords

crystallization, masonry walls, moisture, temperature, photogrammetry, degradation

DOI: <https://doi.org/10.3311/PPar.23348>