

TESIS DOCTORAL

VALENCIA, DICIEMBRE 2023

DISEÑO ADAPTADO DE TÉCNICAS DE EXAMEN NO DESTRUCTIVAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN SISTEMAS ROBOTIZADOS EN INSPECCIÓN DE FACHADAS

AUTOR:

SANTIAGO SÁNCHEZ GÓMEZ

DIRECTORES:

JOSÉ LUIS ALAPONT RAMÓN
BEGOÑA SERRANO LANZAROTE



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a mis tutores José Luis y Begoña todo el esfuerzo que han realizado para que esta investigación salga adelante, así como todo el ánimo recibido por su parte. En especial a Alapont por la oportunidad de realizar este trabajo tan complejo.

Agradecer a todos los investigadores y profesores que me han ayudado a crecer profesionalmente. Por otro lado, ha sido imprescindible el apoyo de mi familia, mis padres y mis hermanas, que de una u otra manera siempre han estado cerca. También a mis amigos y compañeros de carrera, que han tenido que sufrir toda esta tesis junto a mí.

Por último, gracias a tí, Ángela, sin ti ni siquiera hubiera empezado este camino.

Gracias por tanto, por la risa y el llanto.
Gracias por ser parte de mí.

RESUMEN:

La investigación desarrollada para la tesis doctoral ha estado ligada al proyecto de investigación ROBIM (ROBÓTICA AUTÓNOMA PARA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES CON INTEGRACIÓN BIM) y tiene como objetivo general el desarrollo de una tecnología automatizada, activa y multidisciplinar de inspección, evaluación y diagnóstico de la composición, estado de conservación y eficiencia energética de los cerramientos del patrimonio inmueble, que facilite la obtención de información fiel y suficientemente detallada de los sistemas constructivos y lesiones que afectan a la envolvente de los edificios.

Para llevar a cabo todos los objetivos planteados, se ha desarrollado un trabajo de 4 años con un equipo multidisciplinar que ha tomado las decisiones en función de los distintos avances desarrollados por la investigación de cada uno de los componentes del equipo.

En el caso que ocupa esta investigación, se ha desarrollado una metodología de inspección expreso, teniendo como horizonte final el colectivo de técnicos en inspección que tienen que proponer soluciones para la rehabilitación de edificios.

Estos técnicos en la mayoría de ocasiones no tienen un protocolo claro a seguir para afrontar la inspección y diagnóstico de un proyecto de rehabilitación, esto ha motivado el desarrollo de esta metodología que de manera semiautomática es capaz de aunar las diferentes etapas bajo un mismo formato para ordenar y facilitar la inspección completa.

RESUM:

La investigació desenvolupada per a la tesi doctoral ha estat lligada amb el projecte d'investigació ROBIM (ROBÒTICA AUTÒNOMA PER A INSPECCIÓ I AVALUACIÓ D'EDIFICIS EXISTENTS AMB INTEGRACIÓ BIM) i té com a objectiu general el desenvolupament d'una tecnologia automatitzada, activa i multidisciplinària d'inspecció, avaluació i diagnòstic de la composició, estat de conservació i eficiència energètica dels tancaments del patrimoni immoble, que facilite l'obtenció d'informació fidel i prou detallada dels sistemes constructius i lesions que afecten l'envolupant dels edificis.

Per a dur a terme tots els objectius plantejats, s'ha desenvolupat un treball de 4 anys amb un equip multidisciplinari que ha pres les decisions en funció dels diferents avanços desenvolupats per la investigació de cadascun dels components de l'equip.

En el cas que ocupa esta investigació, s'ha desenvolupat una metodologia d'inspecció ex-proceso, tenint com a horitzó final el col·lectiu de tècnics en inspecció que han de proposar solucions per a la rehabilitació d'edificis.

Estos tècnics en la majoria d'ocasions no tenen un protocol clar a seguir per a afrontar la inspecció i diagnòstic d'un projecte de rehabilitació, això ha motivat el desenvolupament d'esta metodologia que de manera semiautomàtica és capaç de conjuminar les diferents etapes sota un mateix format per a ordenar i facilitar la inspecció completa.

ABSTRACT:

The research carried out for the doctoral thesis has been linked to the ROBIM research project ROBIM (AUTONOMOUS ROBOTICS FOR INSPECTION AND EVALUATION OF EXISTING BUILDINGS WITH BIM INTEGRATION) and its general objective is the development of an automated, active and multidisciplinary technology for the inspection, evaluation and diagnosis of the composition, state of conservation and energy efficiency of building envelopes, which facilitates obtaining accurate and sufficiently detailed information on the construction systems and injuries that affect the building envelop.

In order to achieve all the objectives set out, work has been carried out over 4 years with a multi-disciplinary team that has taken decisions based on the different advances developed by the re-search of each of the members or the team.

In the case of this rearch, an ex profeso inspection methodology has been developed, having as a final horizon the group of inspection technicians who have to propose solutions for the rehabilitation of buildings.

In most cases, these technicians do not have a clear protocol to follow the dealing with the inspection and diagnosis of a refurbishment project. This has motivated the development of this methodology which, in a semi-automatic way, is capable of bringing together the different stages under a single format in order to organise and facilitate the complete inspection.

ÍNDICE:

Capítulo I Introducción.....	11
I.1. Antecedentes.....	13
I.2. Justificación.....	17
I.3. Objetivos.....	21
I.4. Metodología.....	22
Capítulo II Estado del arte en la inspección de la edificación.....	27
II.1. Antecedentes en metodología de inspección y diagnóstico de lesiones en edificios.....	29
II.2. Técnicas de inspección no destructivas y sus aplicaciones actuales.....	45
II.3. Antecedentes de proyectos robotizados para la inspección.....	56
Capítulo III Desarrollo de la investigación.....	59
III.1. Estudio y análisis de los elementos intervinientes en la toma de decisiones hacia un sistema de inspección autónomo.....	62
III.1.1 Lesiones en fachadas.....	62
III.1.1.1 Justificación y nomenclatura.....	62
III.1.1.2 Estructura de las bases de datos.....	65
III.1.1.3 Análisis de resultados.....	68
III.1.2 Técnicas de inspección.....	78
III.1.2.1 Justificación.....	78
III.1.2.2 Estructura de las bases de datos.....	81
III.1.2.3 Análisis de resultados.....	88
III.1.3 Sistemas constructivos.....	93
III.2. Selección y validación de las técnicas incorporadas en el robot.....	96
III.2.1 Justificación de la selección de las técnicas de inspección.....	96
III.2.1.1 Valoración de la idoneidad de las técnicas seleccionadas para su implementación en sistemas robotizados y selección del instrumental.....	100
III.2.1.2 Mejora y adaptación de las técnicas y sistemas escogidos para su implementación como procesos automatizados de inspección, evaluación y diagnóstico.....	119
III.2.2 Planificación y diseño de las pruebas y ensayos a realizar en laboratorio.....	127
III.2.2.1 Metodología y especificaciones de las pruebas.....	128
III.2.2.2 Sistema robotizado.....	129
III.2.2.3 Matrices de ensayos.....	130
III.2.2.4 Fichas de ensayos.....	132
III.2.2.5 Equipos auxiliares.....	133

ÍNDICE

III.2.3 Validación de las técnicas de inspección en campo.....	139
III.2.3.1 Tipologías de fachadas.....	139
III.2.3.2 Resultados de las técnicas de inspección en campo.....	146
III.3. Desarrollo de la metodología de inspección y diagnóstico.....	215
III.3.1 Caracterización del edificio.....	217
III.3.2 Inspección inicial.....	221
III.3.3 Inspección diagnóstica.....	227
III.3.4 Diagnóstico definitivo.....	233
III.4. Validación de la metodología de inspección y diagnóstico en edificios reales.....	234
III.4.1. Análisis de la metodología de inspección.....	235
III.4.2 Evaluación de la inspección propuesta.....	241
III.4.2.1 Inspección inicial.....	244
III.4.2.2 Inspección diagnóstica.....	253
Capítulo IV Conclusiones.....	261
IV.1 Relativas a las técnicas de inspección.....	263
IV.2 Relativas a validación del protocolo de inspección.....	267
Capítulo V Investigaciones futuras.....	271
Bibliografía.....	277
Anejos.....	285

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

I.1. Antecedentes e introducción

El objetivo principal de esta tesis doctoral es contribuir al desarrollo de una tecnología automatizada, activa y multidisciplinar de inspección, evaluación y diagnóstico de la composición, estado de conservación y eficiencia energética de los cerramientos del patrimonio inmueble, que facilite la obtención de información fiel y suficientemente detallada de los sistemas constructivos y lesiones que afectan a la envolvente de los edificios, aportando la adaptación de las técnicas de examen y una nueva metodología de inspección.

La tesis se ha desarrollado en el contexto del proyecto de investigación “Robótica autónoma para la inspección y evaluación de edificios existentes con integración BIM (ROBIM)”, siendo éste un proyecto de investigación del programa estratégico CIEN del Ministerio de Economía y Competitividad, concedido en el año 2016, gracias al que se obtuvo la financiación para una beca FPI en la Universitat Politècnica de València; lo que ha permitido realizar una investigación en profundidad aplicada a un proyecto concreto con unas necesidades y exigencias definidas.

La motivación para realizar la tesis doctoral está estrechamente ligada al proyecto que ha sido el germen de toda la investigación, permitiendo alcanzar todos los avances científicos y tecnológicos plasmados en ella, además de aportar los recursos materiales, técnicos y humanos necesarios para llevarla a cabo.

El proyecto ROBIM ha permitido tener la capacidad técnica y económica para desarrollar todas las hipótesis planteadas en la tesis doctoral, orientando los objetivos del proyecto a los avances propios de la investigación personal, creando una simbiosis perfecta para el desarrollo conjunto de los diferentes retos planteados de inicio, tanto relacionados con la tesis doctoral como con el propio proyecto.

El personal del proyecto estaba formado por varios equipos diferenciados según sus capacidades técnicas. Este aspecto fue clave para lograr un trabajo más completo y multidisciplinar, que se adapta mejor a las necesidades de la sociedad actual y a los retos que se plantean día a día y de cara a un futuro cambiante en el campo de la construcción y, de forma particular, en el de la rehabilitación.

La duración de ROBIM fue de 4 años, concluyendo en el año 2020. Este tipo de proyectos surgen a través de una agrupación de empresas, universidades y centros de investigación de todo el territorio nacional, con el fin de investigar y producir avances tecnológicos en un tema de interés, que pueda llegar al mercado a partir de los resultados obtenidos.

La Universitat Politècnica de València participó en el proyecto a través del Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP-UPV), que aportó un equipo de investigadores de diferentes ámbitos multidisciplinares, que con el Dr. José Luis Alapont como investigador principal, asesoró al consorcio, contribuyendo al desarrollo metodológico y a alcanzar los objetivos planteados en la convocatoria.

El consorcio formado para el desarrollo del proyecto ROBIM, presentaba carácter multidisciplinar, multisectorial e interregional, agrupando a empresas y centros tecnológicos y universidades líderes en cada una de las líneas de investigación desarrolladas.

El consorcio estaba formado por las siguientes empresas:

- *TPF Getinsa Euroestudios S.L.*
- *FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.*
- *GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.*
- *INSYTE, S.A.*
- *IBIM BUILDING TWICE, S.L.*
- *IMATIA INNOVATION S.L.*

Por otro lado, los organismos de investigación participantes fueron los siguientes:

- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA (a través del Instituto de Restauración del Patrimonio)
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (mediante el grupo de investigación de Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria y B105 – Electronic Systems Lab)
- UNIVERSIDAD DE VIGO (a través del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática)
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN

El proyecto se dividió en 6 paquetes de trabajo globales (Ilustración 1), que, a su vez, se subdividieron en tareas y sub-tareas más específicas. Este desglose de acciones dio forma al resultado final del proyecto, donde cada miembro del consorcio aportó su conocimiento experto. La metodología de trabajo permitió hacer realidad la idea primigenia de desarrollar un proyecto multidisciplinar.

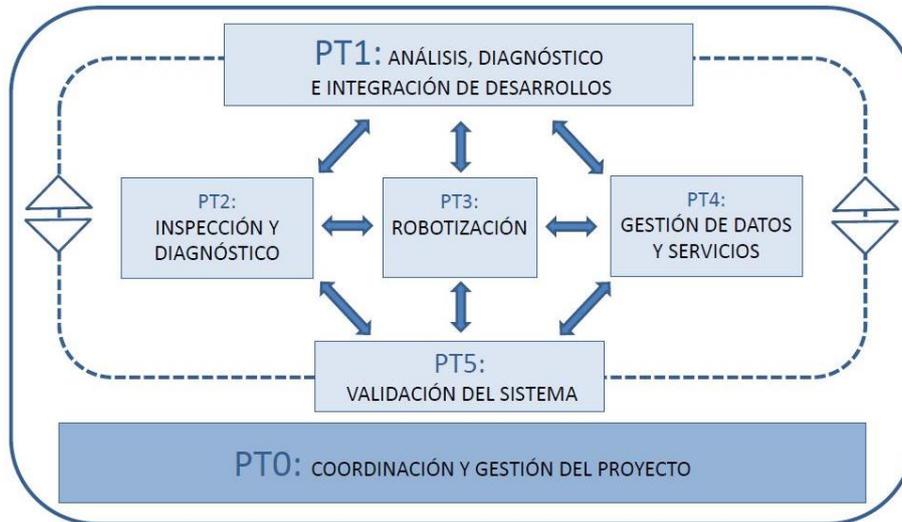


Ilustración 1 Esquema de paquetes de trabajo

A lo largo del proyecto, se celebraron una serie de reuniones generales del consorcio, que permitían compartir los avances individuales o por equipos de cada una de las tareas o subtareas a desarrollar según la planificación inicial. Esto permitió poder debatir sobre todos los factores que intervenían en el proyecto desde el punto de vista de todos los miembros del equipo. Lo más importante para el desarrollo de las tareas fue el trabajo conjunto, así como la discusión y reflexión de los distintos puntos de vista para obtener el mejor resultado posible, gracias a un equipo humano muy cohesionado.

Los resultados obtenidos en el proyecto se pueden dividir en 3 partes diferenciadas:

- Por un lado, se ha desarrollado una metodología de inspección que tiene en cuenta las peculiaridades del sistema robótico de inspección remota y semiautónoma de la fachada. Esta metodología supone un cambio conceptual a la hora de obtener datos relevantes para conocer el estado del edificio a inspeccionar. El nuevo sistema es capaz de transmitir los datos en tiempo real y guardar aquellos que al personal técnico a cargo de la inspección estime oportuno, a través de una plataforma informática, preparada para la correcta toma de datos y posterior interpretación para realizar el informe diagnóstico.

- Por otro lado, se han obtenido una serie de resultados paralelos que han permitido el desarrollo del sistema completo, como es la creación del sistema físico de la plataforma robótica aérea, y todos los componentes que han sido desarrollados para las especificaciones concretas de ROBIM, así como elementos para embarcar los distintos aparatos, hardware y componentes relativos al funcionamiento del robot.
- Por último, se ha desarrollado una aplicación donde volcar la información obtenida de la inspección, que permite controlar las distintas herramientas de las que dispone el sistema ROBIM completo. En esta aplicación se ha incorporado un visor capaz de integrar los datos en sistemas compatibles con la metodología BIM.

El sistema desarrollado se ha materializado en un robot que contiene instrumental técnico específico para la inspección, que permite el análisis de la fachada, lo que posibilita una fácil detección de lesiones.

I.2. Justificación

El motivo principal para el desarrollo de la investigación viene ligado a varias directivas europeas que identifican la necesidad rehabilitar el parque edificado como modelo de transición ecológica hacia la neutralidad de emisiones de carbono. Estas directrices se recogen en el marco del "Pacto verde Europeo" [1].

El sector de la construcción y edificación es uno de los principales contaminantes, e implica alrededor de un 40% de la energía consumida en España. Por ello, la necesidad de rehabilitar los edificios existentes desde el punto de vista climático es de vital importancia para lograr el objetivo marcado para el año 2050 [2].

Sin embargo, uno de los mayores problemas es que la rehabilitación arquitectónica conlleva un alto grado de incertidumbre sobre la configuración constructiva y el estado de conservación real de un inmueble. Ello exige trabajos previos de inspección y diagnóstico que, en la mayoría de las ocasiones, implican una inversión elevada en recursos y medios previos a la intervención, o lo que es peor: al tratar de ahorrar en fases de diagnóstico, se puede acabar encareciendo la obra por un enfoque inadecuado de las soluciones a adoptar, o bien por falta de información decisiva acerca del estado de conservación real del inmueble.

Por ello, el estudio de mejoras en las técnicas y métodos de inspección, diagnóstico y evaluación de los edificios, y en particular, de los relacionados con el trabajo en las envolventes de éstos como uno de los elementos más expuestos al desgaste y deterioro, constituye un importante ámbito de conocimiento en constante evolución.

Tradicionalmente, la inspección de los edificios y su posterior diagnóstico se ha realizado mediante una serie de guías o protocolos recomendados por diferentes organismos o entidades competentes en la inspección de edificios. Es decir, lo que ha sido nombrado por diferentes autores [3], [4] dentro del ámbito del análisis de riesgos en edificación, como una metodología de inspección.

Hoy en día no existe un sistema integrado de caracterización constructiva e inspección de edificios capaz de automatizar el proceso. En la actualidad, los estudios se realizan mediante técnicas manuales o semimanuales, que para ser eficaces requieren una alta cualificación en el manejo instrumental y la interpretación de la información obtenida. Esto provoca que habitualmente, estas tareas resulten muy laboriosas y de elevado coste

en el mejor de los casos, o inútiles o de poca ayuda en los peores, en los que se dispone de poco tiempo de actuación y escasa cualificación específica por parte de los agentes implicados.

Así pues, un adecuado enfoque relativo a la inspección y el diagnóstico de la envolvente de los edificios, orientado a la automatización del proceso, permitiría mejorar en gran medida varias cuestiones de importancia: la prevención de daños, el diagnóstico para la intervención y la realización de un adecuado mantenimiento, todo ello con los medios y recursos más ajustados a la situación, estado de conservación del edificio o alcance de la actuación a realizar.

De acuerdo con Thi Hoai Le et al. [5] y Acampa y Parisi [6], la prevención es siempre más económica que la reparación. Para prevenir es necesario conocer tanto los sistemas constructivos como su estado de conservación. Lo mismo sucede, incluso con mayor motivo, cuando es necesario intervenir en el edificio. En este caso cuanto más preciso y certero sea el conocimiento descrito, mejor podrá orientarse el diagnóstico hacia una intervención eficaz y rentable. No basta con ejecutar estos procesos de prevención o eventual intervención cuando haya problemas, sino que deben extenderse a lo largo de toda la vida útil del edificio, lo que contribuirá tanto a mejorar esa utilidad como a extenderla en el tiempo.

Desde un punto de vista global, puesto que lo razonable es que el diagnóstico, y por tanto la inspección, sean lo más completos posible y precedan al proyecto y a la intervención misma, el principal problema en la evaluación del estado y el mantenimiento de la envolvente de los edificios es la conveniencia de acceder a toda la superficie de ésta y a las capas interiores de ésta. El fin de estas acciones es, por una parte, caracterizar la envolvente geométrica y constructivamente, y por otra, detectar posibles lesiones en ella.

De este modo, las condiciones de acceso a la envolvente producen habitualmente diversas dificultades:

- Necesidad de utilización de medios auxiliares (andamios, cestas, plataformas elevadoras, alpinismo...) que encarecen significativamente las tareas de inspección.

- Realización de tareas de inspección en situaciones de riesgo para el personal técnico que debe realizar los trabajos.

- Necesidad de utilizar medios destructivos para obtener la información necesaria en el reconocimiento de la envolvente, en particular en sus capas interiores.

Actualmente los métodos de evaluación del estado de la envolvente intentan resolver estos problemas, realizando la inspección visualmente y de modo parcial o estadístico, accediendo sólo donde es posible hacerlo con medios mínimos. Las comunidades autónomas tienen la competencia en materia de inspección de edificios residenciales, y se regulan según una normativa que describe el contenido de las inspecciones, a través del informe de evaluación del edificio (IEE). En el caso de la Comunitat Valenciana se describe según el decreto 53/2018 [7], normalmente en estos casos la rentabilidad de la inspección es muy dudosa, pues falta información fiable para decidir la mejor forma de intervenir, y por tanto durante la obra o reparación habrá que revisar la propuesta de intervención, con gran incertidumbre acerca del coste final.

Por otro lado, cuando en la inspección se emplean técnicas no destructivas o mínimamente invasivas, normalmente de mayor alcance y precisión a la hora de obtener un diagnóstico certero, aparecen otros problemas:

- La aplicación fiable de algunas técnicas requiere de equipos costosos y sofisticados que no siempre están al alcance del promotor del proyecto.
- Es necesario un alto nivel de cualificación por parte del equipo humano encargado de las tareas de diagnóstico para la aplicación de ciertas técnicas.
- En muchos casos la interpretación de los datos y resultados obtenidos de la inspección exige también técnicos expertos.
- El procesado de la información obtenida exige en ocasiones el desarrollo de tareas muy laboriosas y complejas para alcanzar resultados útiles.

En este contexto, es posible plantear, en base a las carencias y potencialidades detectadas, mejoras en la inspección, diagnóstico, evaluación y mantenimiento de la envolvente que permitan reducir costes y aumentar eficiencia y fiabilidad. Tales mejoras pueden venir de la mano de la automatización y estandarización de los procesos necesarios para disponer de la información adecuada antes de proyectar la intervención:

- En primer lugar, el empleo de medios robotizados que garanticen el acceso a toda la envolvente sin riesgos para los técnicos y los ocupantes del edificio, operando remotamente y/o de forma programada.

- Por otra parte, la adaptación y desarrollo del instrumental y las técnicas adecuadas para la máxima automatización de los procesos.
- Finalmente, la implementación de métodos y sistemas de gestión e interpretación de datos que simplifiquen la complejidad del diagnóstico y la evaluación, sin que sea necesaria la intervención altamente cualificada y/o un laborioso post-procesado de datos.

En este contexto, resulta necesario desarrollar un sistema que facilite la obtención de información fiel y suficientemente detallada del estado de conservación y composición de los cerramientos de los edificios. Este sistema permitiría ahorrar en altos costes de medios auxiliares para acceder a la totalidad de la envolvente con seguridad, adaptando o renovando las técnicas de examen no destructivas más adecuadas en cada caso, e integrando toda la información obtenida en un entorno digital, basado en la metodología BIM (aunando software, modelos 3D y bases de datos). Se trata, por tanto, de buscar una solución global de diagnóstico certero, completa y útil, como un servicio imprescindible de cara a la toma de decisiones sobre la intervención que exige el mercado.

Todo esto en su conjunto ha motivado la investigación descrita en esta tesis doctoral, en línea con la problemática que dio origen al proyecto ROBIM.

I.3. Objetivos

El objetivo principal de la tesis doctoral consiste en **la elaboración de una metodología de inspección global, ordenada e informatizada que contribuya a automatizar el proceso y asista al diagnóstico por parte de los expertos y técnicos encargados de la rehabilitación del parque edificado.**

Además, se plantean otros objetivos secundarios consecuencia del principal, que se describen a continuación:

3.1 Análisis previo de las lesiones en edificios existentes

Es necesario obtener una visión del estado del arte en el campo de la inspección y evaluación de fachadas en edificación, como punto de partida para el planteamiento de las innovaciones propuestas en la investigación. Por ello se ha planteado el estudio de la bibliografía y otros trabajos que traten las lesiones producidas en las envolventes de los edificios, con el fin de conocer los problemas que se desencadenan en las envolventes de éstos.

3.2 Análisis previo de las técnicas de inspección

Una vez detectadas las diferentes lesiones que pueden existir en las envolventes de los edificios, se debe estudiar cuales son las principales técnicas de inspección con las cuales éstas se detectan y diagnostican. Este estudio permitirá realizar una selección del instrumental que debe ir embarcado en el sistema propuesto para la inspección.

3.3 Elaboración de la metodología de inspección

Se ha desarrollado un protocolo que se amolda a las nuevas características de la inspección, aportadas por las nuevas herramientas del sistema robotizado de inspección semiautomática. Se pretende automatizar la toma de datos de la inspección, y ordenar esa información para mejorar el proceso de inspección y diagnóstico de un edificio.

3.4 Evaluación y validación de la metodología planteada en la investigación

Este objetivo evalúa el método aplicado en la toma de decisiones acerca de la idoneidad de la metodología desarrollada a lo largo de la investigación, y a su vez, está subdividido en dos partes: por un lado, la validación de las herramientas de inspección montadas en el sistema robotizado, así como su adaptación al mismo para su correcta utilización como técnica de inspección.

I.4. Metodología

Tras establecer los antecedentes y los objetivos de esta investigación, se ha desarrollado una metodología que permitirá demostrar la idoneidad del planteamiento y alcanzar los objetivos expuestos anteriormente, así como el interés y relevancia de los resultados.

La obtención de información de las distintas etapas de la inspección es fundamental para optimizar el nuevo protocolo de inspección adaptado al sistema robotizado. Tras finalizar esta fase de recolección de información se realizará una serie de ensayos para corroborar la validez del protocolo creado.

En base a estas circunstancias se han empleado dos metodologías complementarias, capaces de coordinarse con el resto de las disciplinas que intervienen en la investigación sobre el sistema robótico de ROBIM, y también de validar en la práctica los resultados del planteamiento teórico de la investigación realizada en la tesis.

De esta manera, la metodología de este trabajo se trata desde dos puntos de vista diferenciados: el analítico y el experimental.

Metodología analítica

La metodología analítica se ha desarrollado empleando los métodos mixtos de investigación especificados [8], con el fin de obtener datos combinando información desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. De esta manera se persigue la identificación de lesiones relevantes en la edificación y de técnicas de inspección no destructivas que aporten información de la envolvente, con la posibilidad de ser utilizadas a través de sistemas robotizados.

Inicialmente se han creado dos colecciones de bases de datos: una con las lesiones y otra con las técnicas para diagnosticarlas. Ambos grupos de bases de datos se han desarrollado considerando la necesidad de compartir, cruzar y comparar la información que contienen, tanto en cada una ellas, como entre sí. Estas bases de datos se desarrollan en el capítulo III.

También se comparan con los materiales y técnicas constructivas, los sistemas robóticos disponibles, los sistemas de telecomunicaciones o el tratamiento de datos, como aspectos desarrollados por el resto del equipo de investigación ROBIM, con los que necesariamente debía coordinarse la presente investigación.

Para ello se han estructurado y nombrado de forma específica tanto las lesiones como las técnicas de diagnóstico, empleando diferentes códigos de identificación. Además, se han valorado cuantitativamente las lesiones y las técnicas de inspección, a través de la aplicación de una metodología multicriterio [9], a base de encuestas a expertos en ambas materias. Con los resultados de estas encuestas se ha podido cuantificar la gravedad de las lesiones y la idoneidad de las técnicas de inspección.

A continuación, se incide en los métodos empleados para la inspección y sus implicaciones en el proceso que precede a la intervención, tanto en la propia aplicación de técnicas, como en los datos que se obtienen de ellas para elaborar un diagnóstico, a partir del cual tomar decisiones de proyecto.

Partiendo de estas premisas, se ha planteado una metodología que permite alcanzar unos resultados sobre las lesiones y las técnicas de examen necesarias para identificarlas. Del análisis combinado de estos resultados se han extraído una serie de conclusiones, de importancia para las siguientes fases de la investigación y que se detallarán en el capítulo III.

Metodología experimental

La metodología experimental tiene como objetivo principal la verificación de las hipótesis planteadas acerca del nivel de idoneidad de las técnicas elegidas para incorporar en sistemas robotizados.

A tal fin, se identificaron las técnicas de inspección que mejor se adaptan a las necesidades de la plataforma robótica y los intereses de mercado definidos en el proyecto ROBIM, en función de las lesiones en fachadas que pueden detectarse y de los sistemas constructivos seleccionados.

En esta parte, se realiza un trabajo de comprobación y verificación, con el fin de conocer la idoneidad de cada una de las técnicas y aparatos escogidos para incorporar al robot.

Para llegar a esta conclusión hay que tener en cuenta que existen varios aspectos fundamentales para determinar la capacidad de integración de cada una de ellas:

Por un lado, las técnicas de inspección poseen diversas características intrínsecas, que han sido estudiadas en la investigación y expuestas con detalle en el capítulo II.

El instrumental de inspección opera en base a una serie de parámetros, modificables en función del elemento a inspeccionar, las condiciones climáticas o la gravedad de las lesiones, para obtener una inspección óptima, que garantice unos resultados de la máxima eficacia.

Por otro lado, los sistemas robotizados tienen limitaciones que afectan a la metodología de inspección, requiriendo unos modos de inspección sensiblemente diferentes a los empleados en los escenarios para los que suele estar diseñado el instrumental convencional, tal y como se detalla en las revisiones del tema publicadas por Kuo et al. [10] y Halder y Afsari [11], entre otros. Estas limitaciones se detallarán en el capítulo II.

Teniendo estos antecedentes en cuenta, resulta necesario diseñar unas pruebas que se adapten a las nuevas condiciones de contorno planteadas por el sistema de inspección robotizado.

Las pruebas se han diseñado en función de diferentes parámetros con el fin de validar, tanto las características y especificaciones de cada una de las técnicas de inspección, como la adecuación al sistema robótico diseñado.

Por este motivo se ha planteado una metodología capaz de proporcionar información que se ajusta a las capacidades y limitaciones del sistema robotizado, de esta manera se puede obtener toda la información necesaria para una correcta toma de decisiones, desde el punto de vista técnico. Esta metodología consiste en crear 4 matrices de ensayos para cada técnica de inspección que se ha propuesto incorporar en el robot, controlando la distancia de separación a la fachada y la velocidad de inspección.

Listado de ilustraciones del capítulo

Ilustración 1 Esquema de paquetes de trabajo.....	3
---	---

**CAPÍTULO II:
ESTADO DEL ARTE EN LA
INSPECCIÓN DE LA
EDIFICACIÓN**

CAPÍTULO II

II.1. Antecedentes en metodologías de inspección y diagnóstico de lesiones en edificaciones

En este capítulo se exponen los antecedentes estudiados sobre metodologías de inspección y diagnóstico de lesiones en edificaciones. Se ha consultado diferentes fuentes que describen cómo se debe realizar la inspección y qué protocolos seguir para recoger la información de una manera ordenada, dando unas pautas a los técnicos encargados de realizar el diagnóstico del edificio analizado.

La búsqueda de bibliografía incluye tanto fuentes primarias en códigos y normativas de aplicación tanto estatal como autonómica (Código Técnico de la Edificación, normas UNE, guías y códigos publicados por comunidades autónomas y colegios profesionales) así como fuentes secundarias obtenidas a través de artículos y publicaciones indexadas en bases de datos como Web of Science y Scopus.

El orden que se va a seguir para analizar estos documentos es el siguiente: se empezará con las guías y normativas de obligado cumplimiento a nivel estatal, continuando con las normativas de aplicación a nivel autonómico, así como otros textos de referencia.

En primer lugar, el Informe UNE 41805-1:2009 IN [1] publicado en 2009, se divide en varios capítulos con el fin de desarrollar una serie de pasos a considerar para diagnosticar edificios existentes. Este documento ofrece una relación de campos de estudio para conocer el estado actual y las deficiencias de un edificio, tales como la recopilación de los documentos que recojan las actuaciones realizadas en el edificio a lo largo de su existencia, el conocimiento de los materiales de construcción y la compatibilidad entre ellos, además de su procedencia (fabricados in situ o industriales), el análisis de los agentes externos (biológicos, físico-químicos, medioambientales...), y la localización espacio-temporal de las lesiones. Asimismo, indica la importancia de la utilización de métodos instrumentales de auscultación y de monitorización para cuantificar las lesiones.

De los diferentes capítulos que componen este informe, es el número 10 el que se dedica a fachadas no estructurales, objeto principal de esta investigación, y, por tanto, el que se ha examinado con más detenimiento.

En el informe UNE 41805 [1], específicamente en su “Parte 14: Informe del Diagnóstico”. se establece la estructura general de un ‘Informe de Diagnóstico Preliminar’ y un ‘Informe de Diagnóstico Final’ del estado de cualquier edificio, emitido como consecuencia del estudio de éste, desarrollado conforme a las prescripciones del mismo Informe UNE 41805 IN, en sus diferentes partes. Si bien se indica que el diagnóstico de un edificio se debe contemplar con una visión global, para el desarrollo de este informe se considera más operativo dividirlo en partes, cada una de ellas dedicada a uno de sus aspectos,

desde los conceptos generales y los estudios previos, hasta la descripción de los distintos procesos patológicos que pueden afectar al edificio y sus elementos (que deben tenerse en cuenta en la toma de datos).

Si atendemos a la estructura del Informe Final descrito en la citada norma UNE se incluyen los siguientes bloques de información:

a) Antecedentes.

b) Información de la que se ha dispuesto previa al estudio.

c) Descripción de los trabajos de toma de datos (inspección) realizados:

Exámenes visuales.

Ensayos o comprobaciones experimentales llevados a cabo.

d) Resultados de los trabajos de toma de datos realizados.

e) Análisis de los datos obtenidos.

f) Conclusiones.

g) Recomendaciones.

Son los tres últimos apartados e), f) y g) los que hacen referencia al diagnóstico y evaluación. En el apartado e) se aconseja recoger las consideraciones y análisis llevados a cabo sobre los datos obtenidos, organizados según estos cuatro apartados propuestos:

- Análisis de los datos de daños en sí mismos evaluando su extensión, importancia, distribución, etc.
- Estimación de la causa/causas que han dado origen a esas lesiones, detallando las razones que incitan a establecer esas hipótesis y los datos objetivos que las corroboran.
- Análisis de los resultados de los ensayos efectuados y evaluación de estos por comparación con los criterios que se establezcan en las normas que los regulen.
- Evaluación de las consecuencias de los deterioros observados sobre la funcionalidad o la seguridad del edificio o la unidad constructiva de que se

trate, etc. Las hipótesis de partida y los métodos empleados para realizar esta evaluación deben quedar claramente reflejados.

Por otro lado, esta evaluación del edificio deberá incluir como deficiencias determinadas circunstancias que pueden incidir de forma directa en los procesos patológicos o en la futura funcionalidad o seguridad de éste como pueden ser la falta de accesibilidad, de planes de mantenimiento, de sistemas adecuados de protección contra incendios o de prevención de situaciones de riesgo.

En cuanto al apartado f) Conclusiones, la información que se indica hay que incluir es:

- Resumen del estado del edificio.
- Dictamen sobre la necesidad o no de actuación ante la situación existente.
- En caso de que sea necesario algún tipo de actuación, tipos de actuaciones posibles, plazos en los que deberían acometerse y valoración de éstas.

Este documento, por tanto, resulta muy útil facilitando una estructura lógica para la redacción de un informe de diagnóstico y evaluación y una secuencia de apartados para su correcto desarrollo que consisten en: el análisis de los datos y ensayos, la estimación de las causas y la evaluación de las consecuencias, todo ello para poder dictaminar los tipos y plazos de actuaciones a acometer.

El siguiente documento por analizar de categoría estatal es el modelo ITE (Inspección Técnica de Edificios) [2].

La Inspección Técnica de Edificios consiste en un examen básico que lleva a cabo el técnico competente a quien haya sido encargada, y que da lugar al informe de la inspección técnica de edificios de viviendas.

Esta inspección técnica es visual, y se hace respecto de aquellos elementos del edificio a los que se haya tenido acceso. Únicamente cuando los datos obtenidos en la inspección visual no fueran suficientes para la calificación de las deficiencias detectadas, el técnico tiene que proponer a la propiedad del inmueble hacer un diagnóstico del elemento o elementos constructivos afectados, o cualquier otro tipo de pruebas que considere necesarias. Si en esta inspección el técnico detecta alguna situación anómala, debe comunicarlo a la Agencia de la Vivienda de la comunidad autónoma correspondiente.

Sin embargo, la existencia de esta situación anómala no condiciona la certificación de aptitud del edificio, mientras no afecte la estabilidad o seguridad de los elementos comunes de la edificación, por lo que gran número de las lesiones o defectos que puedan

identificarse en la envolvente y que afectan al aislamiento, estanqueidad, etc., quedan fuera, incluso contribuyendo negativamente a aspectos como el confort interior, a la eficiencia energética, etcétera.

En este caso, se busca un protocolo estandarizado, pero tampoco se halla ningún formato que pueda aplicarse a todas las casuísticas posibles en intervención de fachadas, debido a que cada comunidad autónoma tiene la capacidad de definir cuáles son las directrices generales, pero deja abiertas algunas partes a los técnicos redactores [3]. El capítulo IV recoge las medidas para el fomento de las actuaciones de rehabilitación.

Entre otras guías recomendadas por las comunidades autónomas puede destacarse la guía desarrollada por el gobierno del País Vasco, concretamente mediante los colegios profesionales de arquitectos y arquitectos técnicos.

En esta guía se desarrolla una metodología para realizar una inspección ordenada, donde se describe un flujograma general de la inspección. En el siguiente esquema se describen las distintas partes que componen la inspección, la toma de datos, el informe y el dictamen. Para cada fase, se describen una serie de actividades e hitos a realizar, así como unas fichas modelo a rellenar para tener un orden aproximado de cómo ejecutar el trabajo global.

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE INSPECCIÓN

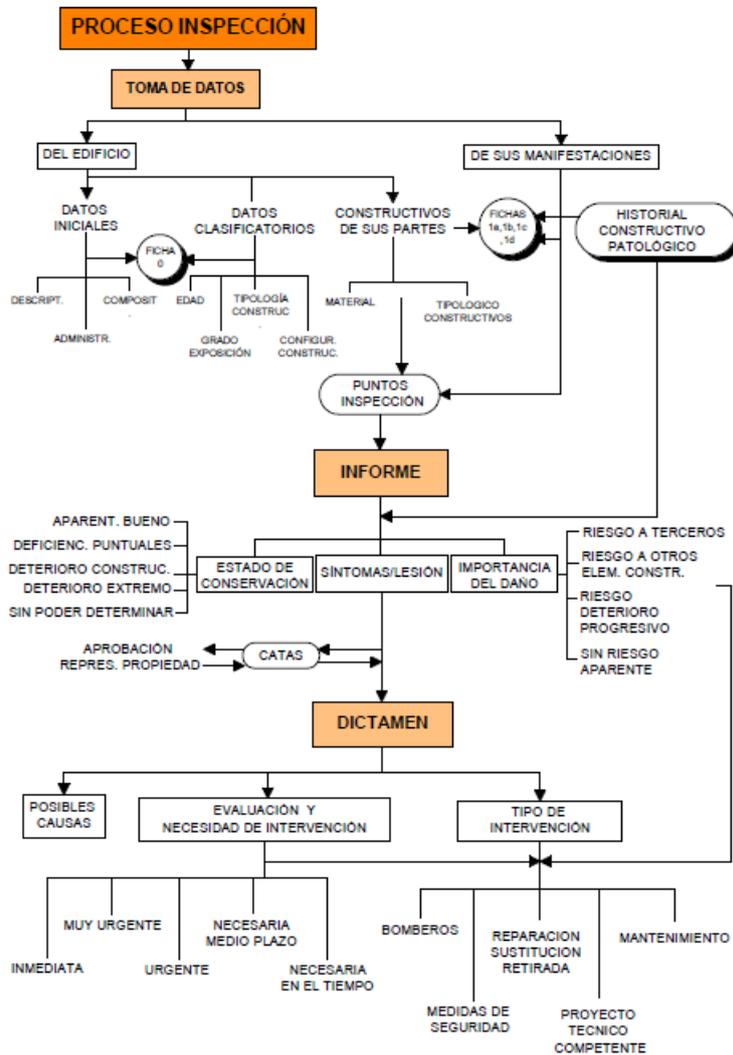


Ilustración 1: Esquema de inspección. Fuente: Guía metodológica de inspección de edificios.

El Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), ha desarrollado toda una serie de publicaciones que abordan la inspección de los edificios construidos. Títulos centrados en las lesiones como ‘Cuaderno de lesiones en fachadas’ [4], ‘Cuaderno de lesiones en estructuras de fábrica’ [5], ‘Cuaderno de lesiones en estructuras de hormigón’ [6], y otros dos: ‘Experiencia en inspección de estructuras en edificios. Comunidad Valenciana 1991-2008’ [7] y ‘Guía para la inspección complementaria de estructuras de hormigón en edificios existentes’ [8]. Estos documentos son de gran ayuda para el diagnóstico.

Otro ejemplo bibliográfico es la edición de un Tratado de rehabilitación [9], dividido en 5 tomos donde varios profesionales aportan sus puntos de vista y experiencia. Especial interés para este proyecto tiene el Tomo IV, dedicado a ‘Patología y Técnicas de Intervención: fachadas y cubiertas’. En este documento se describen 3 etapas de la

inspección, así como una descripción ordenada de cada una de ellas. Las etapas descritas son las siguientes:

- 1. Reconocimiento, inspecciones y ensayos*
- 2. Diagnóstico y evaluación*
- 3. Monitorización*

También cabe destacar los artículos científicos presentados en las diferentes Jornadas Nacionales sobre Metodologías No Destructivas aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (REHABEND)[10]. Merecen especial atención los escritos de L. Villegas e I. Lombillo [11] por la aportación de un método, en 'Los estudios previos en la rehabilitación de construcciones del patrimonio construido', en 'Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio', (ambos de 2006) y en 'Metodología para el análisis de las estructuras del patrimonio construido' (2007). Además, REHABEND recoge un gran número de documentos científicos sobre el estudio de diversas Técnicas No Destructivas y su aplicación en casos reales.

Respecto a fuentes secundarias que hagan referencia a procesos y sistemas de inspección y evaluación encontrados en normativas estatales, y a las que se hagan aportaciones o comentarios relevantes, se encuentra el discurso del profesor de la ETSA-UPM, Pedro Galindo García [12], que expone:

“El reconocimiento, responde a una acción más intensa y de mayor profundidad en la consecución de información sobre cada uno de los sistemas constructivos más característicos, estructurales, cerramientos, cubiertas, etc. Con lo que podremos llevar a cabo:

1. Una clasificación ordenada, como base para realizar el análisis sistemático del comportamiento y daños, que nos permitan llegar al diagnóstico técnico.

2. Propuestas de mayores medios de apoyo, si fuera necesario, que permitan obtener información mediante técnicas de laboratorio sobre aquellos elementos constructivos cuya naturaleza o posición así lo requieran.

3. La redacción con mayor grado de definición del proyecto de información.”

En el fragmento del artículo de Galindo es posible identificar un sistema por etapas o fases a seguir para una correcta rehabilitación de un edificio. Sin embargo, no se llega a aportar un protocolo en el análisis sistemático.

Más concreta es la aportación de la docente Isabel de los Ríos Rupérez en su asignatura 'Inspección y diagnóstico de Edificios'[13] del 'Máster Universitario de Rehabilitación de edificios y regeneración urbana (ReRu)' de la Universitat Politècnica de València. De los Ríos explica el marco normativo vigente en materia de inspección de los edificios existentes un procedimiento para la inspección y diagnóstico de la estructura, envolvente e instalaciones comunes en los edificios de viviendas y la aplicación informática oficial en la Comunidad Valenciana (GESIEE) [14] para la realización de la inspección de edificios y la elaboración del correspondiente IEE.CV (Informe de Evaluación del Edificio de la Comunidad Valenciana). En el temario de este máster, tiene especial relevancia la asignatura dedicada a 'Inspección y diagnóstico de la envolvente'.

Uno de los referentes estudiados a este respecto es la 'Guía de Inspección de Edificios', para la elaboración del IEE. Esta guía constituye una ayuda para realizar una inspección técnica y elaborar el correspondiente informe, que contiene información sobre el estado de conservación de los elementos constructivos e instalaciones. En este caso particular, el procedimiento del IEE.CV está estructurado en una serie de fichas de contenido general, administrativo y técnico. Éstas últimas están ordenadas según los elementos arquitectónicos que componen el edificio.

Con el fin de agilizar el proceso de redacción del informe y facilitar la recogida y posterior análisis, la cumplimentación de las fichas se plantea mediante una aplicación informática. El desarrollo de la inspección, en este caso, se basa en un muestreo representativo del conjunto del edificio atendiendo a sus elementos constructivos, para detectar posibles lesiones, por lo que resulta muy útil su estudio de forma más detallada para tomarlo como referencia útil a la hora de proponer una metodología propia.

El IEE.CV se establece con una estructura procedimental definida que unifica el proceso de inspección, los criterios y la información resultante. El procedimiento se desarrolla en varias etapas, indicadas según los epígrafes siguientes:

- Obtención de datos previos

- Reconocimiento visual

- Caracterización de la envolvente térmica del edificio

Evaluación del edificio

Propuesta de actuaciones

Esta guía ofrece un diagrama de flujo (ilustración 2), cuya representación se incluye a continuación, de esta estructura procedimental por etapas, así como la referencia a las fichas a cumplimentar en cada una de ellas, que también fueron elaboradas para este documento.

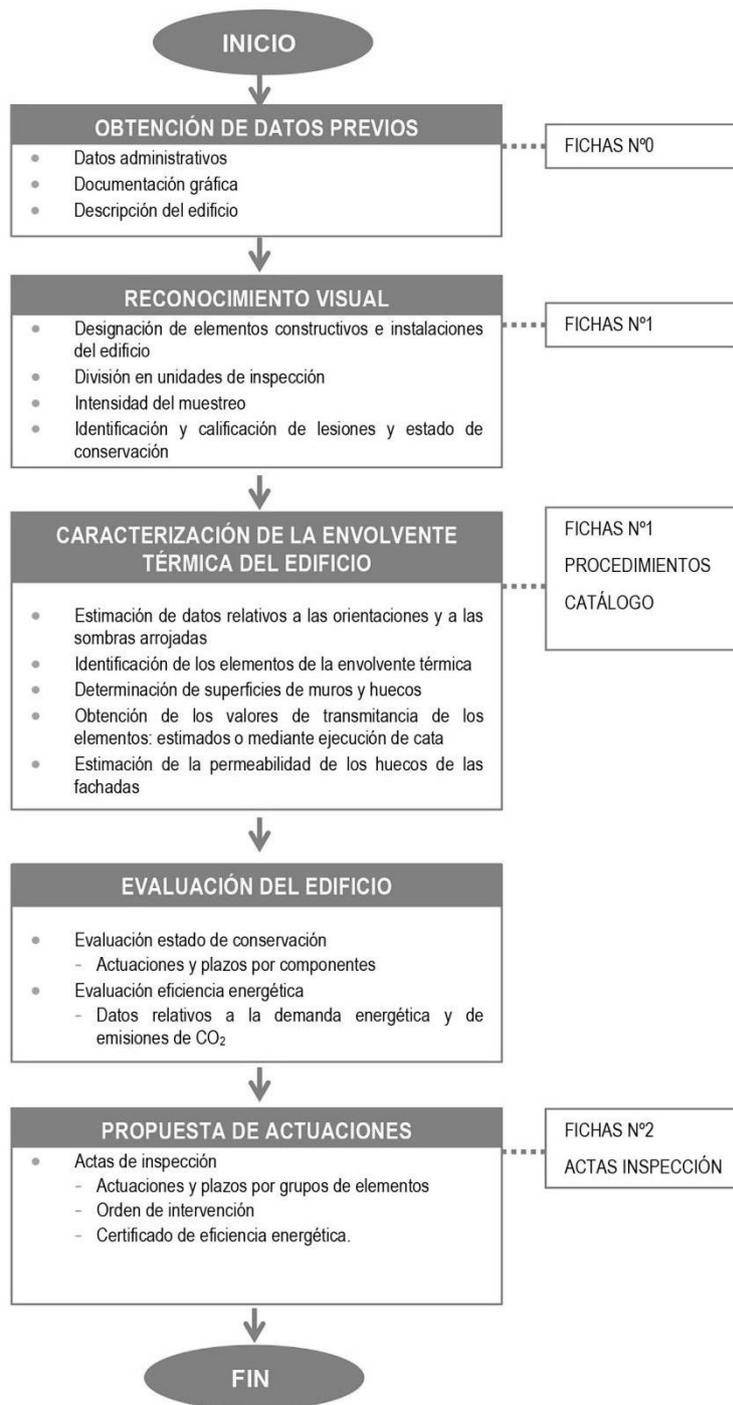


Ilustración 2: Gráfico: Diagrama de flujo del proceso con las etapas del IEE.CV, así como los Anejos y demás documentación que sirven de apoyo

En estas fichas hay un apartado específico para las 'Lesiones y Síntomas' que se puedan observar durante la inspección visual realizada o a través de los resultados obtenidos de la extracción y ensayo de catas, y que sirven de base para el juicio técnico que permite establecer los indicadores y las actuaciones a realizar en cada caso, así como de una ulterior intervención. El técnico inspector, por tanto, deberá apreciar los síntomas y lesiones, evaluarlos de forma cualitativa en la inspección y trasladar la información a las correspondientes fichas.

De todos los documentos anteriormente revisados se han extraído las aportaciones más relevantes a los objetivos, la metodología de la inspección y evaluación de las fachadas de los edificios. Entre la bibliografía analizada, y tras realizar una serie de entrevistas a expertos en rehabilitación de edificios que trabajan como personal investigador y docente de la Universitat Politècnica de València, se concluye que es imprescindible que la obtención de datos siga unas etapas secuenciales y ordenadas.

A partir de este esquema metodológico se describen los puntos a seguir para realizar de una forma exhaustiva y ordenada la inspección para la rehabilitación de un edificio, siguiendo unos criterios comunes en todos los documentos bibliográficos hallados y analizados.

Para comenzar se requiere obtener una documentación técnica, es decir, el conjunto de documentos y planos que describen y especifican todos los aspectos relacionados con el diseño, la construcción y los detalles técnicos del edificio, así como su estado actual para conocer cuál es el punto de partida previo a realizar cualquier actuación.

Una vez obtenidos esos datos se deben describir las posibles lesiones o patologías que hay en el inmueble, para su posterior diagnóstico. Tal y como apuntan Domínguez et al. [15] es fundamental considerar el edificio como un objeto físico, compuesto de elementos constructivos con unas características geométricas, físicas, mecánicas y químicas determinadas. Para la posterior intervención será imprescindible contar con un estudio patológico exhaustivo que identifique cada una de las lesiones y el proceso que la produce, su origen, su causa, su evolución, sus síntomas y su estado actual. La interpretación de toda esta información permite establecer un diagnóstico y una estrategia de tanto para la reparación como para la prevención.

Se trata de un proceso con un orden claro, que se repite en los distintos documentos referenciados, y que sirve para desarrollar la primera fase de un proyecto de rehabilitación: la recopilación de información previa.

La primera etapa es la más importante del proceso, aunque también la más difícil de plantear, pues no siempre el técnico cuenta con los datos necesarios para evaluar todos los aspectos que intervienen en la inspección de edificios existentes in situ. Si centramos el discurso en la documentación técnica, que es el que incumbe al técnico, resulta imprescindible recabar en este primer estadio la documentación geométrica del edificio, que debe ser exhaustiva y de precisión, y que permita definir totalmente el edificio gráficamente. Este registro constituye en sí mismo un documento que refleja el estado del inmueble.

El registro geométrico puede realizarse a través de varios formatos, sin embargo, el elegido, debido a que es el óptimo para los intereses del proyecto de investigación, es el modelo tipo Building Information Model (BIM), que también sirve de plataforma única sobre la que plasmar los resultados de las diferentes inspecciones y ensayos que se realicen durante el proceso de estudio, análisis, proyecto de rehabilitación y gestión de mantenimiento.

Para obtener modelos geométricos que posteriormente puedan ser enriquecidos con información complementaria a modo de modelo BIM de edificios ya construidos, tal y como realizan Uchański, y Karsznia [16] Scherer y Katranuschkov [17] o Volk et [18] fotogrametría o Structure from Motion (SfM), así como metodologías que emplean escáneres láser. La primera permite reproducir la imagen real a escala de la fachada en verdadera magnitud a partir de la recolección de fotografías tomadas de una forma estructurada, con unos parámetros fijos relativos a la apertura, ISO y obturación.

La toma de datos mediante fotogrametría puede realizarse de forma manual, pero lo más habitual es la toma de datos de exteriores de edificios con cámaras montadas sobre un dron o plataforma robótica no tripulada (UAV), [19] se emplea un dron para tomar fotografías e identificar los daños de un muro exterior de mampostería, mientras que Castilla et al. [20] emplean fotografías estructuradas exteriores para realizar un modelo 3D de una serie de construcciones vernáculas y completar el modelado con escaneados láser mediante una fusión sensorial. Otros trabajos emplean técnicas SfM para realizar mapas de nubes de puntos [21][22].

Por otro lado, el escáner terrestre (TLS) es actualmente, una de las tecnologías más potentes de entre todas las relacionadas con la documentación gráfica de un proyecto ya construido, puesto que su aplicación supone la obtención de una nube de puntos 3D que reproduce una réplica tridimensional virtual prácticamente exacta al edificio escaneado, objetiva, pues no precisa de una interpretación por parte del técnico operador. No obstante, es necesario un tratamiento laborioso a manos de un experto de la nube de

puntos para que pueda ser útil en las tareas de estudios previos, además de que [23] conlleva un alto coste para las organizaciones o promotores.

Así, el tratamiento informático de esta nube de puntos tridimensional puede generar un modelo BIM en el que poder volcar datos procedentes de distintos sensores y de las otras técnicas de ensayo no destructivas aplicadas. Esto se conoce como fusión sensorial, [24] de esta manera, junto a la documentación geométrica de la envolvente del edificio, la fotografía real y el modelo tridimensional virtual permiten incorporar los datos obtenidos de otras tecnologías o sensores.

A partir de la obtención de un modelo geométrico completo del edificio se debe realizar a continuación, un estudio patológico, a través de diferentes técnicas de inspección no destructivas.

La segunda etapa en el proceso propuesto en la investigación es la evaluación y el diagnóstico de la envolvente, mediante la información obtenida en la fase anterior. El diagnóstico supone llegar a partir del análisis de los datos previamente obtenidos, clasificados y analizados, a la toma de decisión puramente técnica del nivel de actuación que se recomienda llevar a cabo.

En cuanto al diagnóstico y evaluación, resulta igualmente necesario conocer, en primer lugar, el estado del arte en este ámbito complejo desde el punto de vista tanto normativo como empírico en el aspecto de las acciones y actuaciones de evaluación necesarias. Las siguientes líneas recogen ordenadamente un análisis de las aportaciones que se han localizado referentes a esta fase.

En primer lugar, en la norma UNE [1], se presentan los cuatro primeros apartados: Introducción, Objeto y Campo de Aplicación, Normas para Consulta y Términos y Definiciones. El siguiente apartado está destinado a recoger las tipologías del elemento constructivo, en este caso, fachadas no estructurales, donde se detallan tres tipos de fachadas: de fábrica, prefabricadas y acristaladas. Un último apartado se centra en las lesiones y toma de datos. Es en este punto donde el documento tiene especial interés, ya que se aporta un listado de procesos patológicos y una serie de tablas, con información ordenada y siguiendo un esquema sistemático sobre cada una de ellas.

Las lesiones que se recogen en el apartado final son las siguientes:

Procesos físicos: Humedades; Ensuciamiento físico; Erosión física.

Procesos mecánicos: Grietas; Fisuras; Desprendimientos; Erosión mecánica.

Procesos químicos: Eflorescencias; Organismos, Oxidación y corrosión; Erosión química.

Los campos que incluyen las tablas son: La identificación de la lesión: nombre y descripción; El origen; Síntoma; Localización; Causa/Proceso y Toma de datos.

En el documento aparecen una serie de cuadros resumen de cada uno de las patologías y lesiones que pueden hallarse en las fachadas no estructurales.

Estos cuadros describen de manera pormenorizada información sobre las lesiones, como son los síntomas, la localización, las causas o procesos y, por último, las tomas de datos, así como posibles ensayos para verificar que se trata de la lesión analizada.

Tabla 2 – Procesos mecánicos

Se refiere a los procesos patológicos provocados por acciones mecánicas, y que afectan a las características de ese mismo tipo de los materiales y elementos constituyentes de las fachadas.
Se describen cuatro tipos de lesiones básicas: grietas, fisuras, desprendimientos y erosión mecánica (véanse los apartados 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, respectivamente, de esta tabla).

LESIÓN	2.1 GRIETAS Roturas lineales de los paños de fachada que afectan a todo su espesor (que la atraviesan). Según el tipo de acción que origina el proceso, aparecen los distintos síntomas que se enumeran a continuación.		
SINTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	TOMA DE DATOS
Roturas lineales – Horizontales en la parte superior de las vigas y bordes de forjados. – Verticales, próximas a pilares. – En arco de descarga, sobre estructuras horizontales. Serries inclinadas – Sobre estructuras horizontales.	Zonas próximas al encuentro entre fachada y estructura.	Movimientos de la estructura, de tipo elástico, que al estar excesivamente unida a la fachada le introduce tracciones y esfuerzos cortantes que la rompen. Deformaciones (pandeo y alabeo) de los paños de fábrica como consecuencia de: – Flecha del forjado superior que carga sobre la fachada. – Abombamiento por dilatación. – Falta de anclajes suficientes.	Detalles constructivos de: – Composición constructiva de la fachada, sobre todo de su hoja exterior. – Encuentro de fachada con estructura, tanto horizontal como vertical, indicando sistema de apoyo y anclaje de aquella en ésta. – Existencia de juntas de dilatación propias del cerramiento, adicionales a las de la estructura soporte. Resultados de ensayos sobre: – Resistencia a flexión y tracción, de los materiales rotos. – Coeficiente potencial de dilatación, tanto por el agua como por la temperatura. – Seguimiento de la movilidad, con: Instrumentación de las grietas más representativas. Lecturas periódicas.
Roturas verticales en: – Centros de paños ciegos de gran tamaño. – Laterales de antepechos. – Esquinas, sobre todo en terrazas. – Petos de cubiertas planas.	Centros de paños ciegos, esquinas y petos de cubiertas.	Dilatación y contracción de la propia fachada.	
Roturas verticales en esquinas y encuentros con estructura.	Paños ciegos en zonas altas y petos de terrazas, así como en plantas bajas.	Empujes exteriores, normalmente provocados por: – Presión o succión de viento. – Golpes de personas o maquinaria.	
Roturas lineales coincidentes con encuentros entre estructura y cerramiento.	Encuentros con elementos estructurales.	Juntas constructivas , por unión de elementos constructivos de funciones distintas (estructura y cerramiento) que se ha tapado exteriormente pasando los acabados continuos por delante; los movimientos del edificio acaban manifestando dichas juntas en forma de grietas coincidentes con las mismas.	
Roturas verticales siguiendo los encuentros deficientes.	Zonas de encuentro entre paños antiguos y nuevos.	Deficiencia de traba en las fachadas de fábrica, en uniones entre paños de distinta épocas o en esquinas, en los que repercute también los posibles movimientos de los edificios.	

NOTA (Las grietas debidas a asentamientos de la cimentación se analizan en la parte 4 de este Informe, UNE 41805-4 IN *Diagnóstico de edificios. Parte 4. Estudio patológico de la estructura del edificio. Terreno y cimentación*).

Ilustración 3: Ejemplo de proceso patológico Informe UNE 41805-1 IN. Capítulo 10. Fachadas no estructurales
Tabla 2.1. Patologías. Procesos mecánicos. GRIETAS

Este capítulo del Informe UNE es uno de los documentos que ha servido de guía base para elaborar las fichas de lesiones de la presente investigación, desarrolladas en capítulo III, dado su elevado grado de adecuación. Sin embargo, y a pesar de toda la información que aporta, no se recogen las técnicas de inspección no destructivas a

emplear en cada caso, ni tampoco una metodología o protocolo para la inspección y evaluación completa de la envolvente del edificio, si no que se trata de una serie de recomendaciones o hipótesis predeterminadas a corroborar por el técnico encargado de la inspección.

En esta investigación se proponen siete técnicas de inspección más que complementan a las dos técnicas detalladas en los párrafos anteriores (fotogrametría y escaneo láser), y que resultan de interés también en el contexto del proyecto ROBIM. Éstas son: termografía, endoscopia, sonda magnética, termohigrometría, georradar, impacto eco y ultrasonido.

Sin embargo, tras el estudio de estos documentos se confirma la idea surgida a partir del análisis previo: es en esta etapa de diagnóstico y evaluación en la que el factor humano adquiere protagonismo, puesto que un diagnóstico adecuado depende en gran medida de la acertada interpretación por parte del técnico especialista de los datos del reconocimiento, inspecciones y ensayos. Es decir: la experiencia y formación del técnico resultan en la actualidad fundamentales para obtener una evaluación acertada.

A esta situación se suma la ausencia de una base de datos digital de muestras de lesiones, un banco virtual de patrones, de acceso público, que permita reconocer e identificar los resultados de la inspección mediante la comparación con modelos o patrones previamente ensayados y verificados. Es en este aspecto en el que pueden resultar muy útiles otros de los documentos elaborados por el IVE: sus cuadernos sobre lesiones, redactados según la Norma UNE 4185. Concretamente, es el 'Cuaderno de Lesiones en Fachadas' la publicación que podría suponer el primer paso para la creación de un banco de muestras de lesiones-patrones, pues se trata de un diccionario visual mediante una recopilación de imágenes, y que permite identificar las lesiones en fachadas.

Cabe concluir que, en la actualidad, no existe un sistema integrado de diagnóstico capaz de automatizar la toma de decisiones, estando la evaluación a merced de la cualificación del técnico en cuanto a la interpretación de la información obtenida se refiere. Es decir, tampoco hay una metodología identificada y global para el diagnóstico y evaluación de la envolvente de un edificio.

Es por ello por lo que uno de los retos planteados del proyecto es ofrecer una herramienta que proporcione la información necesaria, de forma sistemática, precisa y fiable, que

simplifique la complejidad del diagnóstico y la evaluación, reduciendo la necesidad de intervención altamente cualificada de numerosos técnicos y/o un laborioso procesado para poder decidir la opción u opciones más eficientes bajo unas determinadas condiciones y calidades. En el desarrollo de esta línea de trabajo, a través del estudio de otras publicaciones y proyectos de temática relacionada con la investigación, se han podido identificar algunas ideas cuya extrapolación e implementación pudiera resultar interesante.

En primer lugar, resultaría muy útil el planteamiento de un modelo de predicción, como podría ser un 'árbol de decisión' o un 'diagrama de actuación'. Es decir, dado un conjunto de datos se fabrica un diagrama de construcciones lógicas, muy similares a los sistemas de predicción basados en reglas, que sirve para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva, para la resolución de un problema.

Existen diferentes propuestas en este sentido, especialmente dirigidas a la renovación de edificios existentes con estudios que proponen diferentes metodologías mediante diagramas de actuación y diagramas de proceso, como los desarrollados en las investigaciones publicadas [25] [26], que identifican un marco teórico que permita a los técnicos trabajar junto a los residentes en aspectos variados de la renovación de un edificio desde diferentes puntos de vista (bienestar, conservación de la energía del edificio a renovar, estándares gubernamentales...) plasmando la metodología en varios diagramas de flujo; [27] que permite establecer una jerarquía en los diferentes elementos que se propone rehabilitar, empleando parámetros cualitativos y cuantitativos de las posibles medidas correctoras.

También se podría plantear facilitar el diagnóstico y evaluación desde la elaboración de mapas de vulnerabilidad, en los que los resultados de aplicar las diferentes técnicas de inspección aplicadas se visualizasen juntos, para así ofrecer de manera automatizada un mapa base en el que estuviera volcada toda la información. Este concepto se desarrolla en el libro 'Pensar la ciudad: Herramientas de diagnóstico para la regeneración urbana' por Nebot et al. [28], cuyo objeto es la reflexión sobre el análisis de diferentes herramientas de diagnóstico y evaluación para plantear estrategias eficientes e integradas de regeneración, como los mapas de vulnerabilidad.

Por último, otra de las ideas que podría resultar interesante es la creación de una plataforma virtual inteligente para el diagnóstico y el apoyo a la toma de decisiones. En este sentido, se han consultado otras experiencias y proyectos de investigación que están trabajando esta línea.

Por ejemplo, el proyecto ACC3DE 2.0 [29] desarrolla una herramienta de cálculo y visualización de la accesibilidad de edificios patrimoniales que implementa una metodología de diagnóstico que se alimenta de datos extraídos de forma semiautomática por medio de escaneado láser, y presenta la información de accesibilidad a nivel de rutas y elementos de ruta, utilizando gráficos en 3D y explicaciones textuales.

Esta herramienta permite, además, mostrar el diagnóstico de accesibilidad. Una vez posibilitado el diagnóstico, el siguiente paso es dotar a la herramienta de funcionalidades que permitan decidir dónde, cómo y cuándo hay que intervenir. El objetivo de esta herramienta resulta muy interesante dado que permite asistir al agente responsable de la intervención a la hora de decidir el tipo de intervención que mejore el nivel de accesibilidad, tomando en consideración criterios normativos, económicos y sobre todo de conservación y respeto a los valores patrimoniales.

Estos criterios, aunque pueden entrar en conflicto o ser incompatibles entre sí, se resuelven en el marco de la *Toma de Decisiones bajo Multicriterio (MCDM)*, y aunque el problema no tiene por qué tener una única solución, sí hay soluciones con un peso similar (Óptimos de Pareto), por lo que la herramienta proporciona un marco para la identificación de las soluciones más apropiadas, garantizando la intervención mínima para conseguir la accesibilidad. Su aplicación se completa con una toma de datos sistematizada que permite facilitar y hacer viable económicamente la recogida de toda la información necesaria para la evaluación estricta de la accesibilidad, con el beneficio añadido de documentar las condiciones de accesibilidad originales y profundizar en el conocimiento del bien.

También el proyecto ACCENT-smart city view [30] es una herramienta virtual diseñada para apoyar la planificación energética urbana de los edificios. Esta plataforma proporciona los mapas necesarios para diagnosticar la situación energética existente y para diseñar las estrategias que maximizan la eficiencia energética.

II.2. Técnicas de inspección y sus aplicaciones actuales

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la inspección de los edificios requiere la realización de diferentes pruebas o ensayos, llevados a cabo con un instrumental específico. Una vez tomados los datos necesarios se puede generar un diagnóstico que permitirá conocer los problemas globales y particulares de la edificación analizada.

Por estos motivos el estado del arte en las técnicas de inspección y los ensayos derivados de la inspección son tan importantes como la investigación de la metodología en sí misma, ya que los mayores avances para la investigación se dan en este ámbito. Los resultados de las técnicas de inspección aportan información acerca del elemento inspeccionado, sin embargo, en función de qué tipo de técnica se emplee se obtendrá una u otra información.

Según Boiljkov et al. [31], existen diferentes técnicas de inspección clasificadas en función de su grado de intrusión. Por un lado, las destructivas y por otro lado las técnicas no destructivas o mínimamente invasivas (NDTs).

Los sistemas de inspección destructivos aportan información acerca de la composición, estado y deterioro de la edificación analizada, a través de un sistema estadístico que ubica el lugar exacto donde realizar las pruebas de inspección oportunas, que deterioran en cierto grado el elemento inspeccionado. Además, la elección del lugar de la prueba debe ser un punto concreto del elemento a inspeccionar [31], así como el tipo de prueba elegida debe ser meditada y planteada de manera ordenada para lograr unos resultados fiables y útiles.

Por lo general, este tipo de inspección se realiza cuando, mediante otras técnicas menos invasivas no se han podido esclarecer todas las incógnitas surgidas en la inspección. Estos datos tienen que ver con la composición y naturaleza de los elementos inspeccionados.

Por estos motivos, todas las técnicas de inspección destructivas se han relegado a un segundo plano en la investigación, ya que no se alinean con los objetivos planteados. A pesar de ello, se han incluido dentro de este apartado para analizar la viabilidad de transformar estos ensayos en mínimamente invasivos mediante nuevas tecnologías.

A continuación, se citan algunos de los ensayos más comunes realizados en la inspección de edificios.

II.2.1. Sistemas de inspección destructivos

Cuando se trata de obtener información del estado del inmueble analizado y su composición material, en muchas ocasiones se necesita realizar catas o extracciones.

Las catas son perforaciones, desmontajes o pequeñas demoliciones puntuales de los elementos constructivos para conocer las características de éstos. Una vez realizadas las catas se llevan a cabo las inspecciones visuales, cuyo objetivo es conocer los elementos que componen el elemento inspeccionado, el estado de conservación en el que se encuentra o la aparición de lesiones aparentes.

La extracción de muestras es otro de los métodos para obtener información relevante sobre la composición del objeto inspeccionado. Es importante la planificación de los ensayos, como en todas las técnicas de inspección y sobre todo en las destructivas.

Después de ejecutar la extracción se pueden realizar diferentes ensayos en laboratorio:

Los ensayos sirven para averiguar algunas características concretas de los materiales, por ejemplo, la resistencia de arrancamiento mediante el ensayo Pull-out [32] o la resistencia a compresión del hormigón, que se realiza sacando un testigo cilíndrico y sometiéndolo a compresión en una prensa [33] [34].

Además, con estas extracciones se puede conocer muchas propiedades del material, atendiendo a la estructura material, las propiedades hídricas, las propiedades de superficie del material, la durabilidad, la corrosión y alteraciones, las propiedades adhesivas o las propiedades ópticas entre otras [35].

Por otro lado, se puede conocer la profundidad de carbonatación del hormigón gracias al análisis del pH del material. Consiste en humedecer el hormigón con una disolución de fenolftaleína y medir la profundidad de material que cambia su color al rosa.

El ensayo de gatos planos se emplea en la determinación del estado de estrés de un elemento arquitectónico, generalmente para analizar muros de materiales heterogéneos. Este ensayo, empleado por autores como Carpinteri et al. [36], permite analizar el estado tensional al que está sometido el elemento, así como su capacidad portante final y se realiza in situ en la edificación a analizar.

II.2.2. Sistemas de inspección no destructivos

En la actualidad las técnicas de inspección no destructivas o mínimamente invasivas que se emplean en la inspección y el conocimiento de envolventes de edificios son muy variadas, ya que se pueden encontrar distintas tecnologías aplicadas en este campo para tal fin.

En la presente investigación, para ser capaces de analizar con detenimiento las técnicas más viables para el sistema ROBIM, se han clasificado en función de la proximidad a la superficie de los cerramientos de los edificios que necesitan para operar con la suficiente fiabilidad.

Esta clasificación permite aunar las distintas fases de los protocolos de inspección, estudiadas en el punto 1 de este capítulo, con las técnicas existentes en el mercado.

Es por ello, que las tecnologías con las que se obtienen datos geométricos y fotográficos de la envolvente tienen una vinculación muy alta con la primera etapa de la inspección, y las técnicas que son capaces de aportar información sobre la composición material de la envolvente responden a las necesidades de la segunda etapa de la inspección.

Además, esta clasificación por etapas también corresponde con los intereses del sistema ROBIM, que embarca las tecnologías en un robot semiautónomo. Este robot se planteó desde el inicio del proyecto como un dispositivo que pudiera intercambiar instrumental, por lo que se distinguió entre las técnicas de inspección que operan a una cierta distancia de la envolvente y las que necesitan estar en contacto con la misma, de modo que pudieran embarcarse unas u otras en función del modo de inspección a realizar.

La evolución en cuanto a la automatización de la aplicación de las técnicas que no necesitan estar cerca de la superficie (incluso requieren una distancia apreciable), son las que se han desarrollado con una mayor atención dentro de esta investigación. El motivo es la facilidad con la que es posible sustituir el instrumental manual por el digital o de tecnología láser, pues el método de aplicación no reviste más dificultad que los obstáculos que puedan interponerse entre el aparato y el edificio y las dimensiones de éste.

Recientemente, tanto a nivel nacional como internacional, para resolver este problema, se utilizan técnicas fotográficas montadas sobre vehículos aéreos no tripulados como las mostradas en varias referencias estudiadas [37]–[40], lo que en combinación con las

nubes de puntos del escaneado láser permite obtener datos válidos y suficientes para generar un modelo virtual visual, pero no material, del edificio en estudio.

Por otro lado, las técnicas que requieren mucha proximidad o contacto con la superficie a examinar no pueden ser montadas en estos vehículos aéreos con garantías suficientes de éxito, por diversos motivos, como la estabilidad física, que en la captación de imágenes está resuelta, pero en las operaciones descritas no, además de ciertos problemas legales de utilización en entornos habitados.

En estas técnicas, el desarrollo tecnológico actual se centra en la mejora de sus procesos de aplicación, del instrumental que se emplea, y de los métodos de interpretación de los datos obtenidos. Los escasos estudios sobre la automatización de tales procesos se dan en casos concretos de intervenciones complejas y delicadas, en la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico.

La principal innovación tecnológica a nivel internacional en el ámbito de la inspección no invasiva es la incorporación de estas técnicas de contacto (además de las que no lo requieren), así como sus procesos y sus métodos de interpretación de datos, en un sistema único automatizado, empleando tecnología robótica a la que adaptarlas en la recopilación de la información, e integrando sus resultados en sistemas digitales y plataformas BIM, como la realizada por Adán et al. [41], que permitan una interpretación sencilla y rápida por parte del técnico.

A continuación, se describen brevemente las técnicas estudiadas:

Vídeo endoscopio

La técnica endoscópica permite el reconocimiento de los daños y la materialidad superficial e interna de los paramentos accediendo a la información interior del soporte (muro de cerramiento, forjados, cubiertas, etc.) para conocer sus capas internas, ya sean cámaras de aire o secuencia de materiales que compongan el total del cerramiento.

Para la realización de esta exploración es necesario un proceso apoyado en diversos medios auxiliares que, en el caso de su manejo a distancia en lugares inaccesibles, proporcionan una valiosa información a la vez que un incremento en la dificultad de su manejo.

En líneas generales la técnica video-endoscópica nos permite acceder a la materialidad interna de los elementos constructivos, para lo que es necesario una perforación previa del soporte a investigar. Esta perforación debe ser controlada para no dañar el extremo opuesto a la intervención, (cara interior del cerramiento o lado opuesto del elemento).

Se ha empleado en variados proyectos de restauración y rehabilitación, como el realizado por Bosch Reig et al. [42], con el fin de poder observar los elementos que se encuentran ocultos o inaccesibles mediante una inspección ocular a simple vista.

Sonda Magnética

La sonda magnética es un dispositivo empleado en la detección de materiales metálicos, como armaduras o tuberías. Con esta técnica podemos localizar, orientar y medir las barras de acero y elementos metálicos y saber la profundidad a la que se encuentran.

Para llevar a cabo esta técnica de inspección el operario debe llevar consigo el receptor y desplazar la sonda en la superficie a inspeccionar. A partir de los datos se puede conocer la disposición y el diámetro de las armaduras.

Se debe conectar la sonda evitando el contacto con materiales metálicos, para no distorsionar su configuración. Suele ser habitual realizar varias pasadas, marcando en lápiz o tiza la retícula o disposición estimada de las barras o elementos, comprobando después la estimación hecha, así como las profundidades y diámetros existentes.

La aplicación de esta técnica está bastante generalizada en la rehabilitación e inspección de edificaciones y obras de ingeniería civil, como la realizada por Porco et al. [43], ya que funciona muy bien para comprobar el estado, la composición, el diámetro y la disposición del armado.

Además de ubicar las barras de acero en elementos de hormigón armado, como hacen Utsunomiya, Nishizawa, and Kaneta [44], se emplea para determinar la profundidad a la que se encuentra de la superficie, con lo que aporta información sobre el recubrimiento nominal del acero. Esta distancia aporta luz sobre una posible lesión por corrosión, debido a la reducción del material que protege el material [45].

Termohigrómetro

El termohigrómetro es un aparato que determina la humedad relativa y la temperatura ambiental. A través de la conexión para termoelementos tipo K tiene la posibilidad de detectar la temperatura de una pared con una sonda superficial. Algunos de los aparatos más modernos incorporan una memoria interna como una tarjeta SD que permite registrar los valores de humedad y temperatura, con un libre ajuste de la cuota de medición, sea para mediciones en tiempo real o para almacenamiento de los datos.

El termohigrómetro es la técnica más sencilla, y su uso consiste en ubicarlo en la estancia o superficie a inspeccionar y medir la temperatura y humedad relativa.

Su utilidad va relacionada con la monitorización de los elementos construidos, debido a que la evaluación de los cambios de temperatura y humedad en el tiempo permiten detectar lesiones, además, es complementario a otras técnicas como pueden ser la termografía, que contextualizan los datos obtenidos por ambas técnicas.

Georadar

Se trata de una técnica de inspección basada en el análisis de las señales devueltas por la propagación de pulsos electromagnéticos. La técnica Ground Penetrating Radar (GPR) se ha utilizado como método geofísico para la detección y caracterización de suelos, con diferentes aplicaciones como la geología somera, la hidrogeología, la arqueología y también para la detección de servicios en el planeamiento y ejecución de proyectos urbanos, así como se adaptó a la inspección de elementos constructivos superficiales en edificios y construcciones.

Para llevar a cabo esta técnica se debe trasladar la antena por el paramento a inspeccionar, sin necesidad de tener contacto, pero a una distancia de 5-10 cm, y ésta transmite los datos a un ordenador que el operario debe interpretar para ir modificando su trayectoria.

Esta técnica ha sido aplicada a numerosos proyectos de rehabilitación y obra civil como en [46], donde se emplea con el fin de conocer los distintos estratos que hay bajo el edificio, utilizando un tipo concreto de georadar para la inspección de puentes, túneles y carreteras tal y como describe Grasmueck [47].

El georradar se ha empleado a su vez para inspeccionar piezas muy pequeñas, sobre todo elementos metálicos y las posibles lesiones originadas por micro fisuras en Melnikov et al [48].

En el libro de actas de la “1ª Jornada sobre Metodología no destructiva aplicada a la rehabilitación del patrimonio construido” [49] celebrada en Santander en noviembre de 2016, se expusieron varios ejemplos de aplicación del uso del georradar para averiguar las distintas capas de un elemento constructivo. Otras de las aplicaciones de esta técnica es la monitorización y evaluación de edificios patrimoniales, como realizan Masini et al. [50].

Impacto Eco

El impacto eco consiste en la detección localizada de defectos como delaminaciones, juntas, fisuras, grietas, coqueras, concentraciones de burbujas, desuniones en superficies de contacto, etc., accediendo por una sola cara a través de ondas sonoras con mediciones en el material, el cual es golpeado con una determinada fuerza y frecuencia.

El proceso para llevar a cabo el impacto eco es la colocación de distintos acelerómetros en puntos concretos del material a reconocer, después se golpea el material con una fuerza y posición determinada, para seguidamente medir las ondas generadas a través de un receptor.

La principal aplicación de esta técnica de inspección es para elementos másicos, como puede ser el hormigón armado, los elementos de fábrica maciza o piedra [51]. En el caso del hormigón se pueden encontrar muchos ejemplos de su uso, con el fin de caracterizarlo en función de las discontinuidades sobre todo internas, o incluso la disposición de las armaduras.

Ultrasonidos

La generación de las ondas ultrasónicas se basa en que una unidad de pulso envía una señal eléctrica a un transductor, el cual mediante un cristal piezoeléctrico interno genera

una onda de tensión de baja energía y alta frecuencia. A su vez los transductores o palpadores han de ser acoplados a la superficie a inspeccionar mediante medios acoplantes para transmitir el máximo de energía posible. La onda emitida tiene unos parámetros conocidos, y viaja entonces a través de la sección, dicha onda modifica su frecuencia y longitud de onda, siendo captada por el transductor receptor, que puede situarse en varias posiciones en función del método empleado, el cual a su vez convierte la energía de la onda en energía eléctrica[52] [53].

Extensometría

La extensometría es una técnica que mide las deformaciones de una grieta o fisura, puede ser a través de un extensómetro o mediante galgas extensiométricas. El extensómetro es un instrumento que mide la separación a través del tiempo, y la galga extensométrica consiste en una fina película metálica en forma de hilo plegado depositada sobre una lámina de plástico aislante de algunas micras de espesor, es capaz de transmitir a tiempo real las deformaciones que ocurren.

El proceso de este ensayo consiste en la colocación de las galgas o extensómetros en los bordes de las fisuras para medir su dimensión a lo largo del tiempo.

Termografía

La termografía permite monitorizar pequeños gradientes o cambios en la radiación visible e infrarroja que los objetos reflejan. Las variaciones infrarrojas pueden estar relacionadas con algún parámetro global como es la humedad de la pieza o la incipiente aparición de defectos que alteran el patrón de radiación de forma local y que se manifiesta con equipamiento de precisión, mucho antes de que aparezcan en el espectro visible.

La termografía es una técnica de inspección no destructiva que consiste en la captación en tiempo real de imágenes térmicas que representan la distribución térmica superficial de los objetos observados.

Con estos dispositivos, la medida se realiza a distancia, sin necesidad de un tiempo de estabilización, con mayores posibilidades. Por tanto, resulta de gran utilidad en un amplio

campo de investigación y desarrollo, con múltiples aplicaciones, tal y como apunta Picazo Ródenas [54].

Existen diferentes metodologías para aplicar la termografía como técnica de inspección, en algunas referencias se mencionan diferentes maneras de emplear la termografía regulando las características propias de la tecnología para detectar problemas concretos, obteniendo una adecuada inspección [55].

En otras investigaciones publicadas se explican las combinaciones de diferentes métodos de termografía pasiva y activa, usadas para el diagnóstico de edificios, y avanzan que el empleo de distintas herramientas de imágenes térmicas puede desarrollar nuevos y avanzados enfoques, que mejoran la precisión de la inspección [56].

La termografía tiene diferentes usos, entre otros pueden encontrarse distintas aplicaciones, como el cálculo de transmitancias térmicas en edificación [57] [58] o la evaluación del rendimiento térmico de los edificios construidos [59], además se ha indagado en la interpretación de los resultados obtenidos, pues es una tarea compleja y puede parecer subjetiva. Para mejorar la interpretación de los resultados se hacen estudios de modelos virtuales, de esta manera se analiza el rendimiento térmico de los encuentros constructivos realizados [60].

Además, es una de las mejores técnicas de inspección para estudiar puentes térmicos, algo de suma importancia en la búsqueda de la eficiencia de la construcción [61] así como sus problemas derivados, como son las humedades intersticiales.

Mediante esta técnica de inspección también se puede profundizar en el análisis de la humedad tal y como se ve en el trabajo in situ para conocer el grado de afectación por humedad de una fachada histórica en el trabajo de Ruiz Valero et al. [62].

Existen también ejemplos menos comunes, como puede ser la detección superficial de piezas de construcción [63], o el control de calidad de sistemas constructivos novedosos o en fase de testeo [64] incluso ayudan al escaneo de fachadas aportando documentación gráfica con lo que modelar virtualmente los edificios analizados [65].

Por otro lado, se encuentran aplicaciones de la termografía para la inspección de instalaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como instalaciones

eléctricas y su correspondiente monitorización [66], y control de calidad e inspección en industria metalúrgicas [67], donde se analizan máquinas concretas [68].

Fotografía de barrido

La fotografía de barrido consiste en obtener una imagen 2D de la fachada en verdadera magnitud a partir de fotografías organizadas en retícula. Esta imagen puede obtenerse a través de la fotogrametría, o de manera manual dividiendo la fachada en porciones correspondientes a cada encuadre, seguidamente se toman las imágenes y para su localización se deben geo posicionar tres puntos de cada tramo de la fachada coplanaria, se finaliza la técnica mediante el procesado de las fotografías a partir de un software para obtener la verdadera magnitud.

La finalidad de esta técnica es conseguir una imagen de alta resolución de la envolvente del edificio con el que ser capaz de descubrir lesiones visibles en los edificios inspeccionados.

Además, es de gran ayuda para la primera fase de la inspección porque permite conocer el edificio y sus peculiaridades, cuando existen partes de información sobre la geometría que no ha podido obtener otras técnicas.

Escáner láser (3D)

El escáner láser es un instrumento que realiza mediciones a través de la emisión y recepción de haces de luz hacia los objetos a analizar. El escáner es capaz de enviar un millón de puntos por segundo, lo que hace optimizar la medición y construcción virtual del objeto a través de una nube de puntos digital tridimensional.

Se ubica el escáner en la posición de la toma de datos, y se replantea la fachada a inspeccionar a través de una partición ficticia llevada a cabo empleando dianas como pegatinas o esferas que se ubican en la pared para dividirla. Una vez escaneado un tramo se repite el proceso en toda la fachada, generando una nube de puntos que nos permite graficar un modelo 3D para realizar un modelo BIM [69]–[73].

Previo al escaneado de la superficie a inspeccionar se necesita replantear los puntos donde se ubicará el escáner laser, además de las divisiones de las fachadas mediante dianas para el posterior empalme de los distintos escaneos.

II.3. Antecedentes de proyectos robotizados para la inspección.

En los últimos años se han desarrollado diversos proyectos de robótica aplicada a la inspección de edificaciones e infraestructuras. Para el desarrollo de la investigación se ha realizado un estudio de los más afines a los propósitos de la tesis doctoral.

Los investigadores Liu et al. [74] y Yu et al. [75] del Departamento de Ingeniería de Fabricación y Gestión de la City University of Hong Kong desarrollaron en 2011 sendos robots para inspección de tuberías de gas y revisión de revestimientos discontinuos adheridos en fachadas [74], empleando detectores de gas y la técnica del impacto eco [75], respectivamente.

Otras publicaciones hacen referencia a robots empleados en diferentes tareas de inspección fuera del sector de la edificación [76], como por ejemplo en la industria naviera, aeroespacial, petroquímica o en producción energética, analizando el papel de las NDTs (Técnicas de Examen No Destructivas o Mínimamente Invasivas) en la inspección robotizada de este tipo de instalaciones.

Se han empleado también robots en el reconocimiento de geometrías complejas en productos de instalaciones industriales como las aspas o palas de turbinas [77], mediante la instalación de un brazo robotizado para escaneo por contacto, instalado en un robot trepador, en este caso con fijación por vacío. También para la inspección del fuselaje o las alas de aeronaves [78].

El propio equipo del IRP, dirigido por el Catedrático D. Ignacio Bosch Reig como investigador responsable, ha participado, entre 2001 y 2009, en proyectos relacionados con los objetivos de ROBIM. Dichos proyectos incluyen el desarrollo de medios robotizados tanto en el diagnóstico como en la restauración arquitectónica y pictórica [79], cuyos resultados fueron de aplicación directa en la Restauración de los frescos de la cúpula de la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia.

Por otro lado, también se desarrolló un prototipo para la inspección tele operada de muros históricos, cuya aplicación a casos reales no llegó a desarrollarse [80].

En definitiva, las NDTs han sido empleadas con cierto éxito en la inspección automatizada en determinados productos y mercados, empleando robots fijos sin desplazamiento, pero también usando otros con desplazamiento autónomo. También se ha experimentado, aunque en casos puntuales no generalizables, en el ámbito de la arquitectura de valor artístico y patrimonial. Por tanto, es razonable plantear la aplicación de NDTs a partir de medios robotizados en un abanico menos restringido de situaciones, en edificios de diversos tipos y configuraciones constructivas.

Se necesita disponer de una metodología o protocolo que contemple la inspección en el conjunto de la envolvente, para posibilitar un criterio unificado de aplicación de una u otra técnica, a través del estudio de la optimización de los medios y el desarrollo de las técnicas de inspección de manera robotizada.

De esta forma, se podrá ofrecer a los técnicos, constructores, promotores y resto de agentes implicados, una herramienta que les permita obtener la información necesaria, de forma precisa, fiable y más fácilmente interpretable, para así poder decidir la opción u opciones más eficientes bajo unas determinadas condiciones y calidades.

El objetivo es ofrecer un sistema que ponga fin al desconocimiento inicial que hasta ahora puede generarse, gracias al desarrollo de la herramienta física, el robot y el sistema de gestión de la información, que abarate los costosos medios para inspeccionar con mayor profundidad y extensión las envolventes e identificar las lesiones.

Se trata, en todos los casos, de documentos de gran utilidad que, sin embargo, siguen sin ofrecer un método para la inspección y evaluación global de la envolvente. Ninguno de los documentos profundiza acerca de cómo averiguar todos los datos para obtener toda la información que se requiere para la rehabilitación, no sólo lo que puede apreciarse a simple vista, o lo que es posible intuir, si no para descubrir todos los problemas ocultos que son inapreciables si no se aplican las técnicas adecuadas pero que, por la falta de conocimiento o medios, impiden poder obtener toda la información.

Listado de ilustraciones del capítulo

Ilustración 1: Esquema de inspección. Fuente: Guía metodológica de inspección de edificios.	5
Ilustración 2: Gráfico: Diagrama de flujo del proceso con las etapas del IEE.CV, así como los Anejos y demás documentación que sirven de apoyo.....	9
Ilustración 3: Ejemplo de proceso patológico Informe UNE 41805-1 IN. Capítulo 10. Fachadas no estructurales Tabla 2.1. Patologías. Procesos mecánicos. GRIETAS	13

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO III

En el capítulo anterior, se ha realizado un estudio de los diferentes protocolos de inspección existentes, los cuales permiten conocer los defectos que tienen las envolventes de los edificios. Una vez identificados estos problemas, es necesario describir las diferentes lesiones para así poder cuantificar el daño.

Por este motivo, para identificar los tipos de lesiones más comunes y/o de mayor gravedad que se producen en la envolvente de los edificios, se deben emplear las técnicas de inspección adecuadas a tal fin. Entre todas las estudiadas, la investigación se centra en las técnicas no destructivas, que son más recomendables para conservar la envolvente y para su implementación en el sistema robotizado.

Partiendo de estas premisas, se ha planteado una metodología cuyo desarrollo ha permitido alcanzar unos resultados concretos sobre las lesiones a estudiar y las técnicas de examen a emplear.

La metodología adoptada se ha basado en la elaboración de tres colecciones de bases de datos, organizadas en fichas: una para las lesiones, otra para las técnicas y otra para los sistemas constructivos. A partir de éstas, se han obtenido las conclusiones sobre las posibilidades de mejora de las técnicas y tecnologías analizadas, para su optimización e implementación en el sistema robótico.

Los dos primeros grupos de fichas se han elaborado considerando la necesidad de compartir, cruzar y comparar la información que contienen, tanto en cada uno como entre sí, y con otro tipo de información, como los materiales y técnicas constructivas, los sistemas robóticos, las telecomunicaciones o el tratamiento de datos. Para ello se han estructurado y nombrado de forma específica, empleando códigos de identificación, tanto en lesiones como en técnicas.

Las colecciones de fichas se han elaborado en base a una estructura y aspecto comunes, adaptados al tipo de información y características propias de cada conjunto, empleando gamas de colores distintas para cada uno de los grupos de fichas, para identificarlas con claridad.

Una vez seleccionadas y definidas las cualidades, los retos y limitaciones de cada técnica de inspección, se ha planificado el diseño de las pruebas y ensayos, para probar que las técnicas elegidas y los modelos de instrumental escogidos del mercado satisfacen las

necesidades demandadas. En primer lugar, las pruebas se realizaron en el laboratorio, con las condiciones estables para comprobar su funcionalidad.

Seguidamente, se realizaron las pruebas sobre partes de fachadas deliberadamente escogidas, con el fin de simular los posibles problemas que puedan existir. Luego, se realizó la validación definitiva sobre un edificio piloto elegido por el consorcio, donde se obtuvieron los datos mínimos necesarios para dar por válido el sistema de inspección ligado al proyecto ROBIM.

III.1. Estudio y análisis de los elementos intervinientes en la toma de decisiones en un sistema de inspección de fachadas autónomo

En este apartado se analizan las lesiones que se producen en las fachadas, con el fin de identificar cuáles son las de mayor importancia. Con esta información se procede a analizar las técnicas de inspección no destructivas capaz de detectar las lesiones anteriormente halladas. Permitiendo así conocer qué elementos embarcar en el sistema autónomo desarrollado.

III.1.1. Lesiones en fachadas

III.1.1.1. Justificación y nomenclatura

En primer lugar, para disponer de un marco de referencia adecuado acerca del tipo de lesiones a estudiar, se ha tomado como referente la Norma UNE 41805- Diagnóstico de Edificios [1].

De ella se extrajeron seis tipos de lesiones; tres de ellos correspondientes al Estudio Patológico de Estructuras de Hormigón (UNE 41805-6) [2], y los otros tres al de Fachadas no Estructurales (UNE 41805-10)[3], por entender que, en la mayor parte de los edificios, los sistemas portantes serán o estructuras de hormigón con cerramientos no portantes, o bien cerramientos portantes de fábrica.

De este modo, los procesos patológicos recogidos cubren la mayoría de las situaciones habituales, ya que por un lado las lesiones en el hormigón se darán en las estructuras

porticadas o murales integradas en la envolvente y, por otro, las lesiones en las estructuras de fábrica (UNE41805-5) [4] vienen recogidas, en lo referente a cerramientos, en la parte de fachadas no estructurales (UNE 41805-6) [2].

La nomenclatura empleada identifica el tipo de ficha (Lesiones=LS) y el grupo de lesiones al que pertenece (H=Ataques al hormigón, C=Corrosión de armaduras, L=Lesiones en muros, F=Físicas, M=Mecánicas y Q=Químicas). A esto se añade un número obtenido de la Norma UNE en las tablas de clasificación de lesiones de cada parte, más un ordinal que clasifica las lesiones del mismo origen.

A continuación, se detalla el listado seleccionado de las lesiones que afectan a la envolvente, organizadas por grupos:

Ataques al hormigón

- [LS.H.1.1] Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
- [LS.H.1.2] Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
- [LS.H.2.1] Desgaste superficial por erosión mecánica
- [LS.H.3.1] Disgregación por deslavado
- [LS.H.3.2] Disgregación por ataque ácido
- [LS.H.3.3] Disgregación por acción del hielo
- [LS.H.3.4] Disgregación por recristalización de sales

Corrosión de armaduras

- [LS.C.1.1] Fisuras por corrosión de las armaduras
- [LS.C.2.1] Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
- [LS.C.3.1] Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos

Lesiones en muros

- [LS.L.1.1] Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
- [LS.L.1.2] Fisuras por retracción térmica por enfriamiento rápido
- [LS.L.1.3] Fisuras por retracción hidráulica
- [LS.L.1.4] Fisuras por asentamiento plástico del hormigón
- [LS.L.2.1] Fisuras y grietas por empujes de tierras
- [LS.L.2.2] Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
- [LS.L.3.1] Reducción sección y coqueras por hormigonado inadecuado
- [LS.L.4.1] Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica

Físicas

- [LS.F.1.1] Humedad capilar
- [LS.F.1.2] Humedad por filtración
- [LS.F.1.3] Humedad por condensación
- [LS.F.1.4] Humedad accidental
- [LS.F.2.1] Ensuciamiento físico por depósito
- [LS.F.2.2] Ensuciamiento físico por lavado diferencial
- [LS.F.3.1] Erosión física

Mecánicas

- [LS.M.1.1] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- [LS.M.1.2] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propias
- [LS.M.1.3] Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
- [LS.M.2.1] Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
- [LS.M.2.2] Roturas múltiples del acabado por retracción higrotérmica
- [LS.M.2.3] Roturas “en mapa” del acabado por retracción hidráulica
- [LS.M.3.1] Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
- [LS.M.3.2] Desprendimientos de acabados por fisura previa
- [LS.M.4.1] Erosión mecánica

Químicas

- [LS.Q.1.1] Eflorescencia
- [LS.Q.1.2] Pseudo-Eflorescencia
- [LS.Q.1.3] Cripto-Eflorescencia
- [LS.Q.2.1] Organismo: Hongos
- [LS.Q.2.2] Organismo: Líquenes
- [LS.Q.2.3] Organismo: Plantas
- [LS.Q.2.4] Organismo: Insectos y animales
- [LS.Q.3.1] Oxidación
- [LS.Q.3.2] Corrosión
- [LS.Q.4.1] Erosión química: Decementación
- [LS.Q.4.2] Erosión química: Pátina
- [LS.Q.4.3] Erosión química: Costra
- [LS.Q.4.4] Erosión química: Alveolo

III.1.1.2. Estructura de las bases de datos

Las bases de datos se han organizado como unas fichas tipo de lesiones en formato A4 vertical, estructuradas en cuadros de formato apaisado que contienen información de interés.

Todas las fichas tienen un encabezado donde aparece el nombre de la ficha y el logo del proyecto ROBIM. El primer cuadro indica el grupo de lesiones y nombre de la lesión analizada, así como el código identificativo. El segundo cuadro recoge las características descriptivas básicas, el proceso degenerativo que la desencadena, los síntomas que aparecen al producirse y las causas o el origen de la lesión.

Además, aparecen cinco parámetros cuya valoración refleja la importancia o trascendencia de la lesión en términos globales. Dichos parámetros se valoran en una escala del 1 al 5, que se corresponde con tramos o porcentajes de intensidad (1=0-20%, 2=20-40%, 3=40-60%, 4=60- 80%, 5=80-100%).

Los parámetros analizados son: la frecuencia de aparición, el peligro de estabilidad, la urgencia de intervención, la dificultad de detección y el coste de reparación. De este modo se cubren los aspectos fundamentales para tener en cuenta a la hora de determinar sobre qué lesiones interesa más trabajar en el desarrollo de la investigación.

Estos parámetros han sido valorados a través de una serie de encuestas a los expertos en las lesiones de edificios de la Universitat Politècnica de València, quienes ponderaron los parámetros que evalúan la importancia de las lesiones, para clasificar todas las lesiones de la norma UNE en función de su importancia.

En el cuadro de la ilustración 1, se describe gráficamente la lesión, a través de imágenes que reflejen los síntomas aparentes o las consecuencias de su aparición. A continuación, se ofrece una breve descripción de la lesión.

Los siguientes cuadros recogen un esquema gráfico del proceso que produce la lesión y una indicación de la localización habitual o más probable ésta:

CLASIFICACIÓN		FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PROCESO:	Físico	PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
SÍNTOMA:	Alteración y pérdida de masa	URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
ORIGEN:	Acción del agua y la helada	DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
		COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



DESCRIPCIÓN:

Se caracteriza por producirse una **alteración y pérdida de masa en la superficie** de las fachadas como consecuencia de la **acción del agua** y la **helada** en los **materiales porosos** exteriores.

IMÁGENES DEL PROCESO:

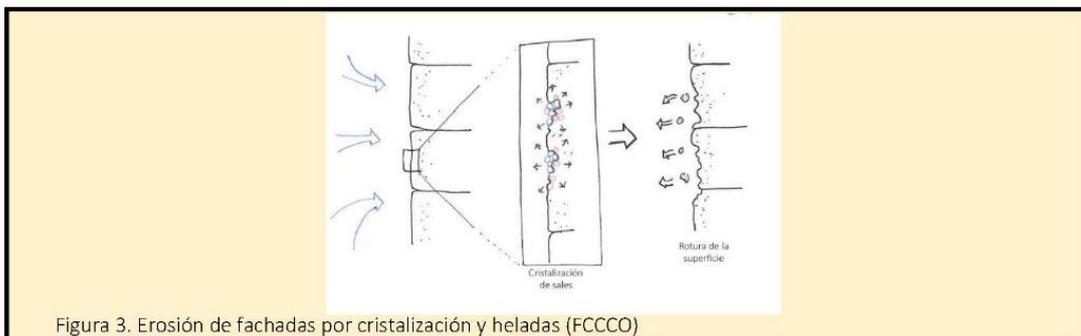


Figura 3. Erosión de fachadas por cristalización y heladas (FCCCO)

Ilustración 1: Ficha de lesiones (parte 1)

Finalmente, se han enumerado las diferentes técnicas de inspección o ensayos considerados adecuados para su diagnóstico, ofreciendo así una información valiosa compartida entre los dos tipos de fichas. Junto a cada técnica o ensayo a emplear, aparece la información que aportan para el diagnóstico de la lesión, incluyendo además el código de las bases de datos de técnicas de inspección, poniendo en común ambas fichas.

A continuación, aparecen reflejados los tratamientos identificados para la reparación, que también han sido codificados para facilitar su inclusión en el análisis de resultados y en la extracción de conclusiones.

Una vez realizadas las fichas de lesiones, se analizaron para sacar unos resultados que arrojaran luz sobre las técnicas necesarias o más recomendables para la incorporación sobre sistemas robóticos, en función de la cantidad de lesiones de los 3 niveles de importancia que se han determinado del estudio de las fichas de lesiones.



FICHA DE LESIÓN

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se encuentra en la **cara exterior**, sobre todo en las **zonas más expuestas** (coronación y elementos salientes) así como en **plataformas horizontales**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Volumen de la fachada deteriorado
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de los huecos

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.06	Parcheo del material	Se completa el material faltante mediante un mortero reparador acorde a las características del paramento.

Ilustración 2: Ficha de lesiones (parte 2)

III.1.1.3. Análisis de resultados

En este apartado se analizan pormenorizadamente los resultados deducidos de los datos recopilados en la investigación. Para ello se han elaborado una serie de gráficos que recogen diferentes conclusiones. Agrupando y organizando la información de modo que se entienda lo mejor posible con el fin de obtener la mejor orientación para los fines perseguidos de la investigación.

La clasificación de la Norma UNE [1] considerada contempla 6 grupos diferentes de lesiones. En el gráfico adjunto (Ilustración 3) se identifica una clara división entre los tres grupos que hacen referencia a las lesiones sobre el hormigón, y las tres que se identifican en el resto de los materiales.

Por otro lado, también cabe destacar que el número de lesiones en cada grupo varía, aunque el número total de lesiones específicas del hormigón sigue siendo notablemente elevado.

- Ataques al hormigón: 7 lesiones
- Corrosión de las armaduras: 3 lesiones
- Lesiones en muros: 8 lesiones
- Lesiones Físicas: 7 lesiones
- Lesiones Mecánicas: 9 lesiones
- Lesiones químicas: 13 lesiones

Clasificación de Lesiones según la norma UNE

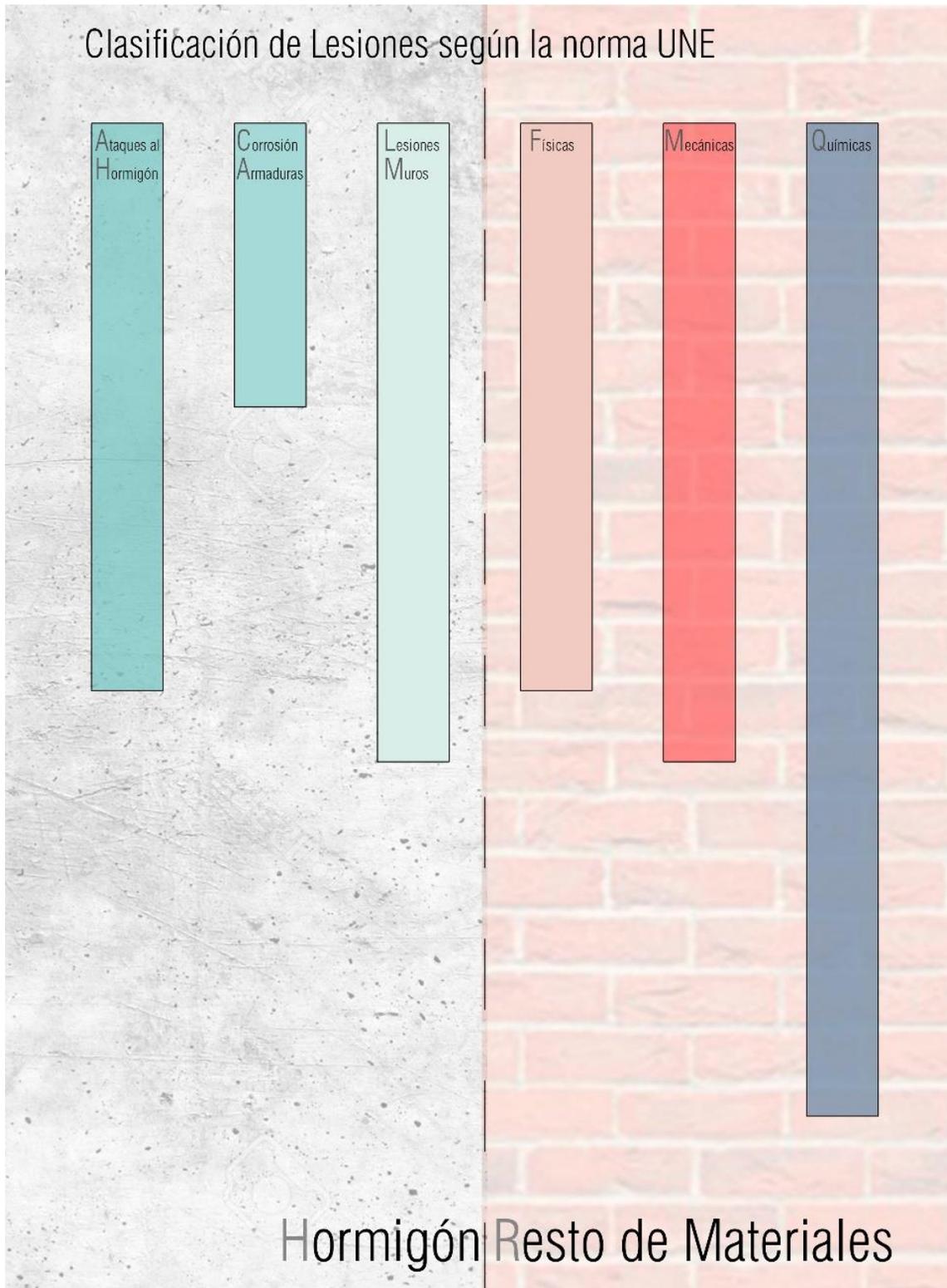


Ilustración 3: Clasificación de lesiones.

Aunque el número de lesiones contempladas se ha clasificado en función de su origen, respetando la organización de la Norma UNE, se ha considerado necesario, para una correcta interpretación de los resultados, hacer una clasificación atendiendo a la importancia de las lesiones.

Para ello se han utilizado los parámetros de valoración empleados en el encabezamiento de las fichas de lesiones, lo que permite compararlas de manera más clara y ajustada a los objetivos del estudio, independientemente de su origen, teniendo en cuenta las cuestiones de mayor interés para el proyecto (Ilustración 4).

Se han considerado los 5 parámetros utilizados (Frecuencia de aparición, peligro de estabilidad, urgencia de intervención, dificultad de detección y coste de reparación), otorgándoles el mismo grado de influencia en la valoración de la importancia de cada lesión. Al haber sido valorados del 1 al 5, siendo el 1 el punto más bajo y el 5 el más alto, la puntuación mínima es de 5 puntos y la máxima de 25.

Atendiendo a ese criterio se han dividido las 47 lesiones en 3 grupos:

- Lesiones tipo A, valoradas entre 5 y 10 puntos

- Lesiones tipo B: valoradas entre 11 y 17 puntos

- Lesiones tipo C: valoradas entre 18-25

Esto ha generado una visión más completa y específica de las lesiones sobre las que se debe incidir, pues no se deberían valorar por igual todas las lesiones a la hora de seleccionar las técnicas de intervención más adecuadas para su detección.

Clasificación de las lesiones según la importancia y la norma UNE



	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Ataques al Hormigón	[L.S.H.1.1] Fisuras en mapa por reacción árido-álcali [L.S.H.3.1] Disgregación por deslavado [L.S.H.3.2] Disgregación por ataque ácido [L.S.H.3.3] Disgregación por acción del hielo [L.S.H.3.4] Disgregación por recristalización de sales	[L.S.H.2.1] Desgaste superficial por erosión mecánica	[L.S.H.1.2] Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
Corrosión Armaduras		[L.S.C.1.1] Fisuras por corrosión de las armaduras [L.S.C.3.1] Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos	[L.S.C.2.1] Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
Lesiones Muros	[L.S.L.1.4] Fisuras por asentamiento plástico del hormigón [L.S.L.3.1] Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado	[L.S.L.1.1] Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras [L.S.L.1.2] Fisuras por retracción térmica por enfriamiento rápido [L.S.L.1.3] Fisuras por retracción hidráulica [L.S.L.4.1] Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica	[L.S.L.2.1] Fisuras y grietas por empujes de tierras [L.S.L.2.2] Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
Físicas	[L.S.F.1.3] Humedad por condensación [L.S.F.1.4] Humedad accidental [L.S.F.2.1] Ensuciamiento físico por depósito [L.S.F.2.2] Ensuciamiento físico por lavado diferencial [L.S.F.3.1] Erosión física	[L.S.F.1.1] Humedad capilar [L.S.F.1.2] Humedad por filtración	
Mecánicas		[L.S.M.1.1] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura [L.S.M.2.1] Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte [L.S.M.2.2] Roturas múltiples del acabado por retracción higrótérmica [L.S.M.2.3] Roturas "en mapa" del acabado por retracción hidráulica [L.S.M.3.1] Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales [L.S.M.3.2] Desprendimientos de acabados por fisura previa [L.S.M.4.1] Erosión mecánica	[L.S.M.1.2] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios [L.S.M.1.3] Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
Químicas	[L.S.Q.1.2] Pseudo-Eflorescencia [L.S.Q.1.3] Cripto-Eflorescencia [L.S.Q.2.1] Organismo: Hongos [L.S.Q.2.2] Organismo: Líquenes [L.S.Q.2.3] Organismo: Plantas [L.S.Q.2.4] Organismo: Insectos y animales	[L.S.Q.1.1] Eflorescencia [L.S.Q.4.1] Erosión química: Decementación [L.S.Q.4.3] Erosión química: Costra [L.S.Q.4.4] Erosión química: Alveolo	[L.S.Q.3.2] Corrosión

Ilustración 4: Clasificación de lesiones.

Con las lesiones clasificadas de esta manera, se puede identificar a cada tipo con las siguientes características:

Lesiones Tipo A: son las que tienen una puntuación más baja, lo que implica que serán de menor importancia por ser fácilmente detectables, con un bajo coste de reparación o de escasa gravedad.

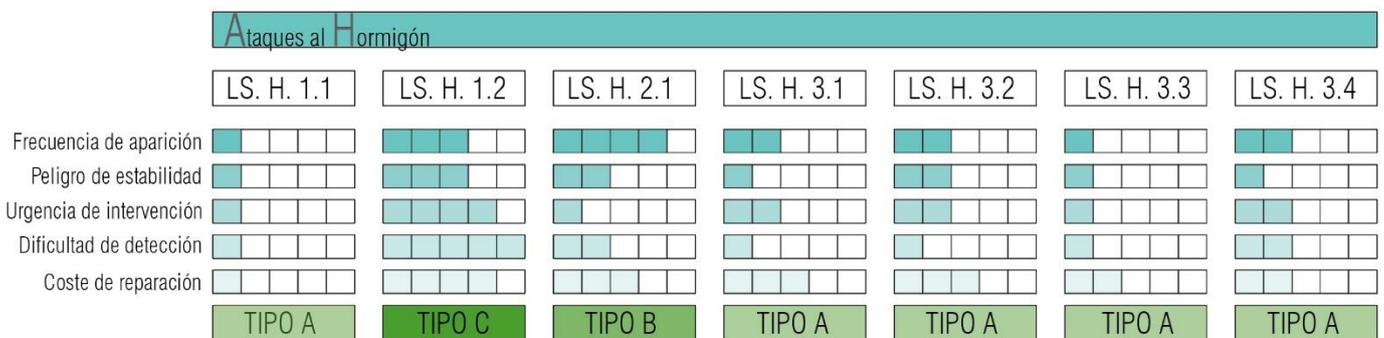
Lesiones Tipo B: tienen una puntuación intermedia, e implican una importancia y dificultad de identificación de grado medio, aunque es posible que ciertos parámetros alcancen valores elevados, siendo compensados por otros más bajos, por lo que será conveniente revisarlas de forma individualizada.

Lesiones Tipo C: son las más importantes por presentar valores elevados en todos o casi todos los parámetros.

Si se analizan los parámetros y la clasificación entre las lesiones Tipo A, B y C; en cada uno de los grupos de lesiones de la norma UNE, se pueden observar los siguientes resultados (Ilust. 5 a 11):

En cuanto a las lesiones de ataques al hormigón destacan dos de ellas, pertenecientes a los tipos B y C, es decir que son las lesiones más relevantes de este grupo.

Son la lesión LS.H. 2.1, Desgaste superficial por erosión mecánica, del tipo B, en la cual destaca la frecuencia de aparición y el coste de reparación, y la definida como LS.H 1.2, del tipo C, Fisuras en mapa por ataque por sulfatos, que tiene unos valores medio-altos en todos los parámetros y destaca en la dificultad de detección.



Ataques al Hormigón

- [LS.H.1.1] Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
- [LS.H.1.2] Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
- [LS.H.2.1] Desgaste superficial por erosión mecánica
- [LS.H.3.1] Disgregación por deslavado
- [LS.H.3.2] Disgregación por ataque ácido
- [LS.H.3.3] Disgregación por acción del hielo
- [LS.H.3.4] Disgregación por recristalización de sales

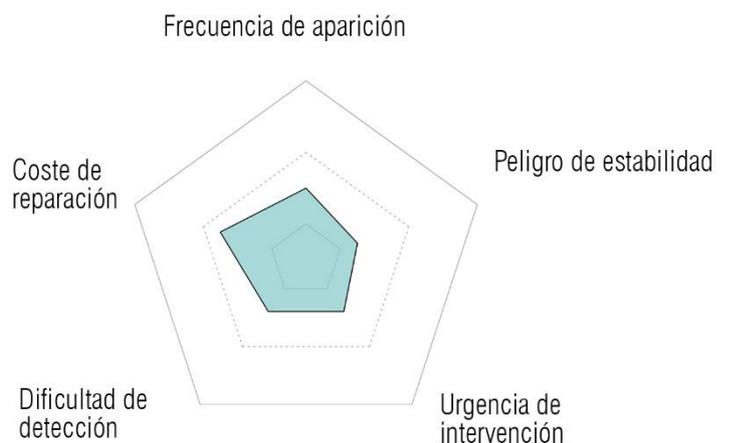


Ilustración 5: Características de lesiones de ataques al hormigón.

En ambas es posible su detección por 3 técnicas de inspección comunes que son la micro perforación, la fotografía de barrido y el escaneado láser.

Si se revisan los datos a nivel global, se puede observar en el gráfico adjunto (Ilustración 5) como en este grupo de lesiones destaca el coste de reparación de éstas con una valoración del 50% de importancia. El resto de los valores oscilan entre el 30 y 40%.

El siguiente grupo de lesiones a analizar es la corrosión de armaduras, en la que solo hay 3 lesiones, de las cuales 2 pertenecen al grupo B y otra al C, por lo que en términos generales estas lesiones son de una importancia media alta, como indica el gráfico (Ilustración 4). Además, destacan por la frecuencia de aparición y el coste de reparación. En efecto, es muy habitual encontrar problemas de corrosión, por ejemplo, en los bordes de forjados y losas de balcones, y su reparación suele conllevar intervenciones moderadamente destructivas que encarecen bastante la actuación.

En este tipo de lesiones hay una variedad mayor de técnicas que son capaces de reconocerlas, incluyendo por supuesto la específica de detección de metales.

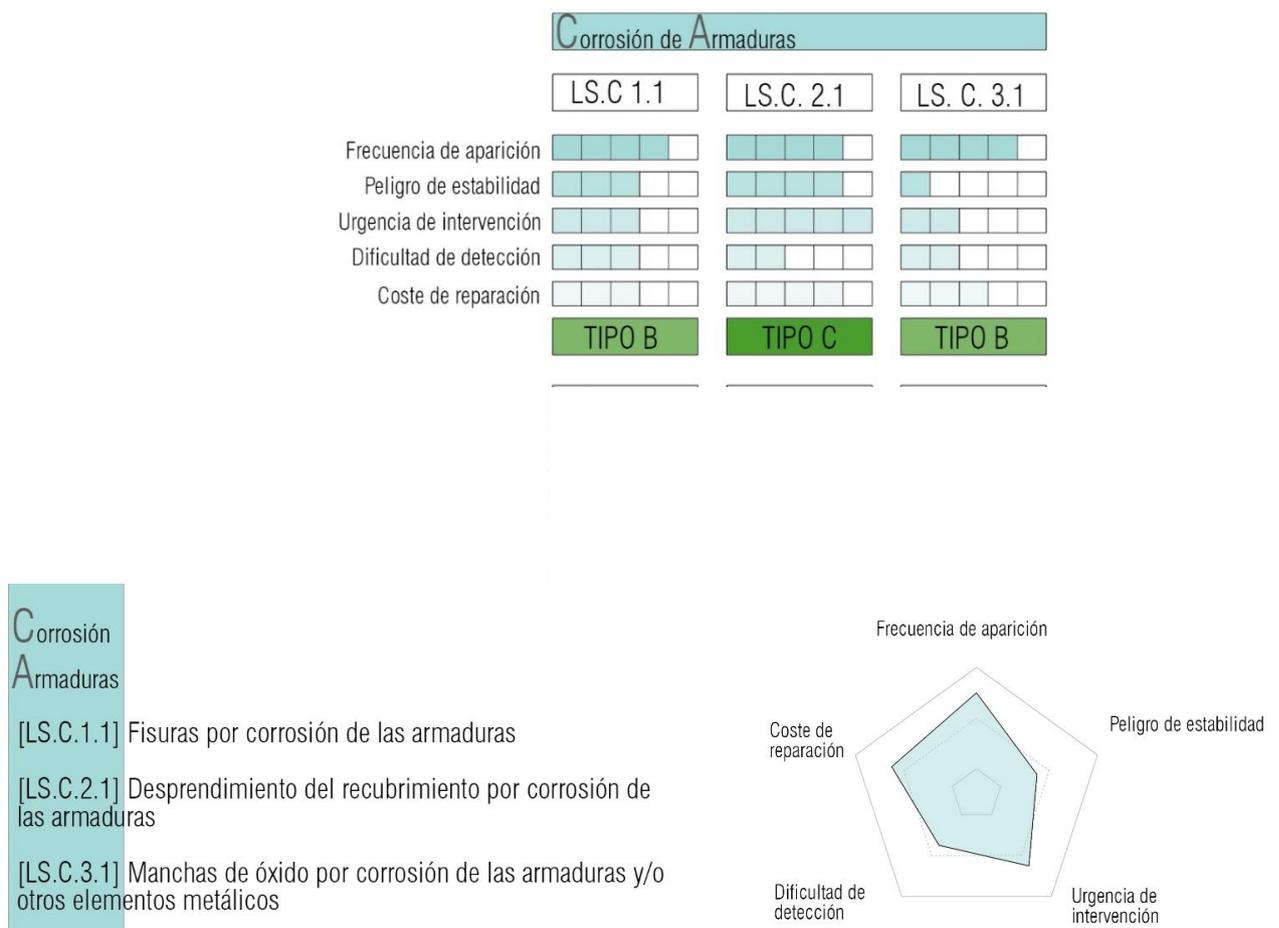


Ilustración 6: Características de lesiones de corrosión de armaduras.

El siguiente grupo de lesiones que cierra el grupo correspondiente a hormigón, son las lesiones en muros (Ilustración 7).

Los resultados registrados en este grupo indican que hay 2 lesiones tipo C y otras 4 tipo B. Sin embargo, la valoración global de las lesiones en muros ofrece resultados de tipo medio, sin grandes distorsiones o divergencias en ninguno de los parámetros, pues a los valores de las lesiones más graves están compensados por las más leves, de modo que es más ajustado tomar estos resultados de forma individualizada para cada lesión.

En cuanto a las técnicas que reconocen este grupo de lesiones destacan la fotografía de barrido y el escaneado láser, por tratarse en su mayoría de síntomas visibles en la superficie, como fisuración y grietas.

Lesiones en Muros								
	LS. L. 1.1	LS. C. 1.2	LS. C. 1.3	LS. L. 1.4	LS. L. 2.1	LS. L. 2.2	LS. L. 3.1	LS. L. 4.1
Frecuencia de aparición	<input type="checkbox"/>							
Peligro de estabilidad	<input type="checkbox"/>							
Urgencia de intervención	<input type="checkbox"/>							
Dificultad de detección	<input type="checkbox"/>							
Coste de reparación	<input type="checkbox"/>							
	TIPO B	TIPO B	TIPO B	TIPO A	TIPO C	TIPO C	TIPO A	TIPO B

- Lesiones Muros**
- [LS.L.1.1] Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
 - [LS.L.1.2] Fisuras por retracción térmica por enfriamiento rápido
 - [LS.L.1.3] Fisuras por retracción hidráulica
 - [LS.L.1.4] Fisuras por asentamiento plástico del hormigón
 - [LS.L.2.1] Fisuras y grietas por empujes de tierras
 - [LS.L.2.2] Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
 - [LS.L.3.1] Reducción sección y coqueras por hormigonado inadecuado
 - [LS.L.4.1] Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica

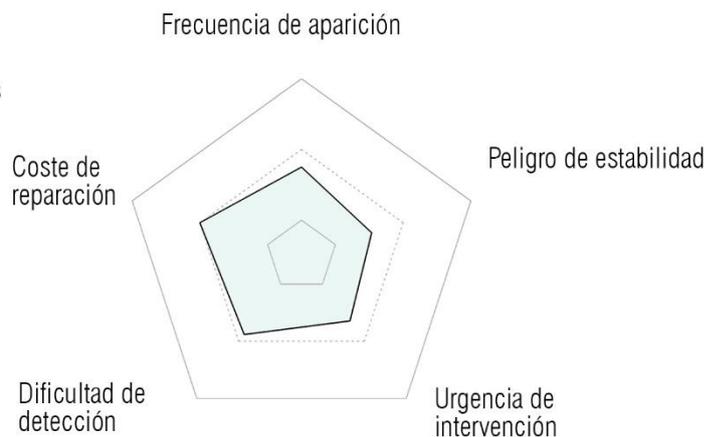


Ilustración 7: Características de lesiones en muros

En cuanto a las lesiones físicas, solo destacan dos de ellas con la categoría B. Estas dos lesiones son la humedad por capilaridad y la humedad por filtración, ya que tienen una alta valoración en frecuencia de aparición, peligro de estabilidad y urgencia de intervención (Ilustración 8).

Los datos globales del grupo no son altos, destacando en la frecuencia de aparición y el coste de reparación. Es importante insistir en que estos datos deben ser considerados complementarios de los individuales de cada lesión.

Para poder detectar las lesiones físicas se emplean dos técnicas de inspección fundamentalmente, la termografía y el termohigrómetro, en lo referente a la humedad. Obviamente la suciedad y la erosión se detectan fácilmente con técnicas visuales.

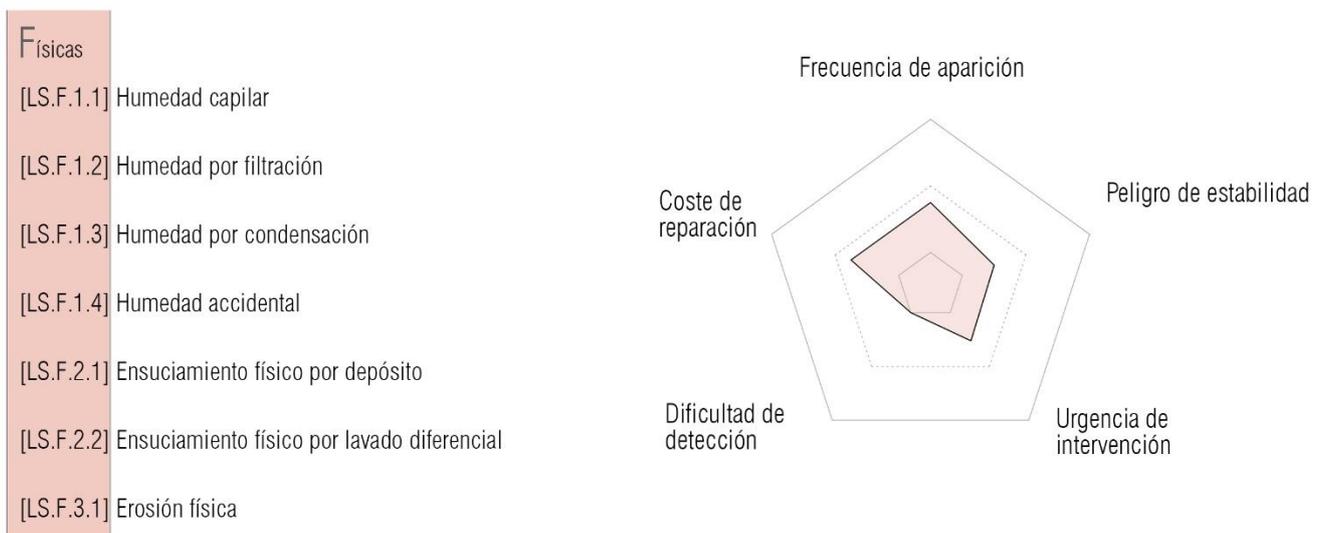
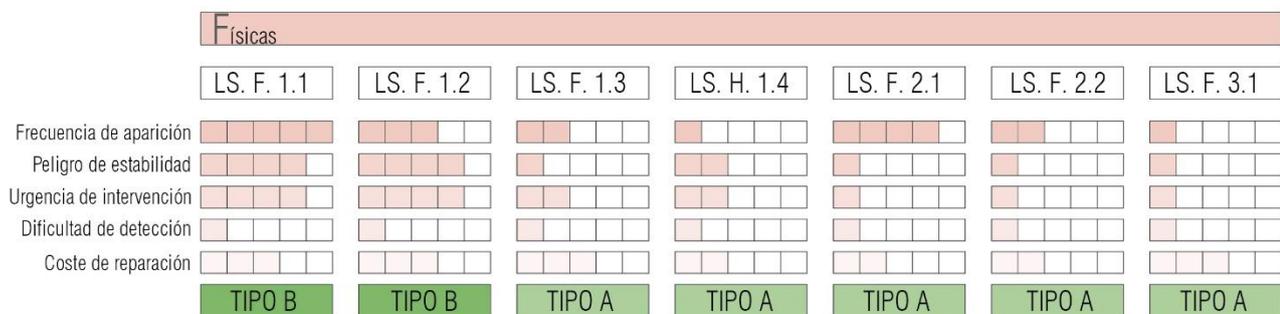


Ilustración 8: Características de lesiones físicas.

Las lesiones mecánicas son el siguiente grupo para analizar, y destacan debido a sus altos valores de importancia, pues presentan 2 de categoría C y 7 del tipo B. Esto hace que los análisis globales registren valores medio-altos. El hecho de que sean de relativamente baja frecuencia de aparición y además fáciles de detectar, contrasta con los elevados valores en coste de reparación, urgencia de intervención y peligro de estabilidad. De ahí que su reconocimiento sea bastante trascendente (Ilustración 9).

Las técnicas de inspección para todas ellas son muy diversas, pero destacan sobre las demás cuando se presentan síntomas superficiales visibles, el escaneado láser y la fotografía de barrido.



Mecánicas

- [LS.M.1.1] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- [LS.M.1.2] Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
- [LS.M.1.3] Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
- [LS.M.2.1] Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
- [LS.M.2.2] Roturas múltiples del acabado por retracción higrotérmica
- [LS.M.2.3] Roturas "en mapa" del acabado por retracción hidráulica
- [LS.M.3.1] Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
- [LS.M.3.2] Desprendimiento s de acabados por fisura previa
- [LS.M.4.1] Erosión mecánica

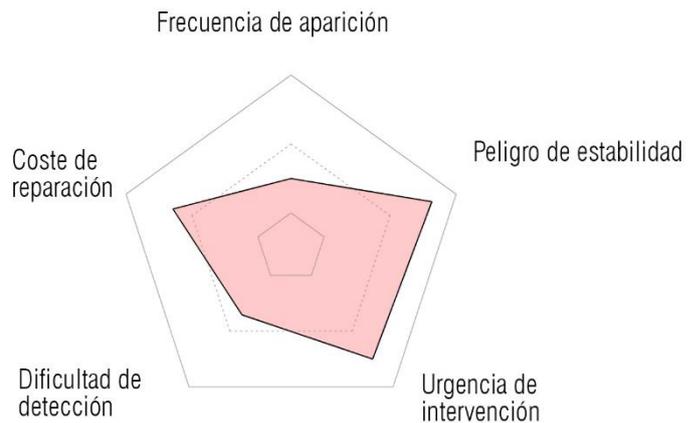


Ilustración 9: Características de lesiones mecánicas.

Por último, el grupo más numeroso es el de las lesiones químicas, que, sin embargo, no son las más importantes, pues solo hay una de las 13 lesiones en la categoría C (Corrosión) y 4 en la B (Ilustración 10).

Entre los valores promedios del grupo destaca el coste de reparación como parámetro comúnmente elevado y para tener en cuenta.

El análisis de estas lesiones puede hacerse con diversas técnicas, en función de si se trata de síntomas externos o superficiales, donde se emplearían la termografía, termohigrometría y fotografía de barrido; o si se trata de localizarlas internamente al cerramiento, en cuyo caso se utilizaría la endoscopia y la microperforación.



Ilustración 10: Características de lesiones químicas.

III.1.2. Técnicas de inspección

III.1.2.1. Justificación

La determinación de las técnicas a analizar se desarrolló en el capítulo II, desgranando cuáles eran las técnicas más adecuadas y porqué.

A partir de esa selección se realizaron varios listados de qué técnicas podrán ser útiles para reconocer las lesiones anteriormente estudiadas.

- Técnicas principales: Ultrasonidos, Impacto Eco, Extracción de muestras, Endoscopía, Ensayos Penetrométricos de taladro PTN-g, Georradar, Corrosímetro, Pull-off Test, Termohigrometría y Detección de metales.

- Técnicas secundarias: Escáner Láser 3D, Termografía, Fotogrametría y Fotografía de barrido.

Dicho listado fue modificándose durante el proceso de elaboración de las fichas, a medida que la información recabada de las consultas con los expertos aconsejaba añadir o eliminar alguna técnica, por su aplicabilidad a las condiciones de partida del proyecto.

De este listado previo se eliminaron las técnicas siguientes:

- Extracción de muestras: no se consideró razonable definir como técnica sistematizable la extracción de muestras de modo genérico, puesto que cada material o sistema constructivo exigirá una determinada cantidad, formato y método de extracción. Inicialmente se pretendió elaborar una subserie de fichas dedicadas a distintos métodos de extracción de muestras, pero finalmente se abandonó por la excesiva dispersión que supuso.

- Ensayos Penetrométricos de taladro PTN-g, Extractómetro y Pull-off Test: estas tres técnicas fueron desechadas por exigir la aplicación de acciones sobre la envolvente, ya sean rotatorias, de extracción o de arrancamiento, para las que son necesarios medios mecánicos cuya envergadura y potencia excedían del alcance los sistemas robotizados previstos, que estaban siendo examinados paralelamente en otras tareas del proyecto.

- Corrosímetro: se desechó inicialmente por ser una técnica que ofrece resultados de inspección en un aspecto excesivamente específico de las lesiones, como es el grado de corrosión de elementos metálicos en el hormigón armado. Si bien es comparable en buena medida a la detección de metales mediante la sonda magnética, se prefirió ésta por presentar la ventaja de que puede detectar el metal, independientemente de su grado de corrosión o ausencia de ella, y del sistema constructivo que lo incluya.

Igualmente, se añadieron algunas técnicas que los investigadores del Instituto de Restauración del Patrimonio aconsejaron, por su relevancia o potencialidad de empleo a priori en el proyecto:

- Microperforación: es en realidad una toma de muestras específica, cuya ventaja inicial es que obtiene un testigo ejerciendo acciones sobre el cerramiento, que a priori podrían ser asumidas por el sistema proyectado, del que luego poder extraer una información abundante y útil para analizar las características intrínsecas de un material y su estado de conservación. Consiste en realizar un taladro de unos 20 mm de diámetro y unos 5-8 cm de profundidad. Se emplea un taladro con una broca hueca con la que sacar la muestra.

- Extensometría: con el fin de cubrir en parte los aspectos relacionados con la monitorización de edificios, ya sea para mantenimiento o posible intervención, se decidió incluir la extensometría eléctrica, como técnica representativa de la utilización de sensores, para detección de parámetros susceptibles de ser analizados en el tiempo, ofreciendo datos de forma continuada. En este caso se trata de una técnica de medida de deformaciones en fisuras o grietas, que utiliza un sensor llamado galga extensométrica, consistente en una fina película metálica en forma de hilo plegado, depositada sobre una lámina de plástico aislante de algunas micras de espesor, que se adhiere a la superficie a monitorizar.

La nomenclatura empleada identifica el tipo de ficha (Técnicas de Inspección=T.I.; Ensayos=E), junto un número identificativo para cada técnica. La distinción entre técnicas y ensayos radica en que las técnicas ofrecen la información para ser tratada o interpretada tras ejecutarse y los ensayos exigen una prueba o recogida de datos extendida en el tiempo posteriormente a su aplicación.

Las técnicas que se han analizado en las fichas son:

[T.I.01] Termografía

[T.I.02] Endoscopía

[T.I.03] Fotografía de barrido

[T.I.04] Sonda Magnética

[T.I.05] Termo higrómetro

[T.I.06] Georadar

[T.I.07] Escaneado Láser

[T.I.08] Impacto Eco

[T.I.09] Ultrasonido

[E.01] Microperforación

[E.02] Extensometría

III.1.2.2. Estructura de las bases de datos

En cuanto a la organización e información contenida en las fichas, de nuevo se ha planteado con una estructura y aspecto similar a las otras colecciones de fichas.

Se componen de tres secciones: un encabezamiento, datos descriptivos e información específica, y unos cuadros anejos con información de fuentes consultadas y textos explicativos adicionales en algunos casos.

Las fichas se encabezan con un titular con el nombre y código de la técnica de inspección, seguido de un primer cuadro valorativo, que incluye seis parámetros de evaluación global. Se han seleccionado teniendo en cuenta las cualidades o características comunes a todas las técnicas de interés para la investigación.

Así, se ha incluido el grado de especialización requerido para el operador que aplique la técnica, el nivel de dificultad al ser aplicada, la complejidad a la hora de interpretar los datos que se obtienen, la fiabilidad de éstos, el coste del instrumental a emplear y, finalmente, la importancia de las lesiones que la técnica es capaz de analizar o detectar.

La escala empleada también ha sido entre 1 y 5. En este caso, con el fin de ofrecer una mejor interpretación, se ha identificado la valoración numérica en cada parámetro con unos criterios específicos de cumplimiento, que se muestran en la tabla siguiente. (Ilustración 11)

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR	DIFICULTAD DE APLICACIÓN	COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
1 Operario sin formación ni experiencia	Uso de forma automática	Datos numéricos absolutos
2 Operario con experiencia pero sin formación	Uso semiautomático	Datos numéricos relativos
3 Operario con formación pero sin experiencia	Uso manual sencillo	Comparación de datos con tablas o valores normativos
4 Operario con formación y poca experiencia	Uso manual	Elaboración de planos/diagramas de los resultados
5 Operario con mucha experiencia y formación	Uso automático modificando los parámetros	Evaluación de imágenes

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS	COSTE DEL INSTRUMENTAL	IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS
1 Difícil comprobación	0-200	Poco importantes y fácilmente identificables
2 Fiabilidad baja	200-500	Importante y fácilmente accesible
3 Fiabilidad media	500-1000	Fácil acceso e identificación
4 Fiabilidad alta	1000-5000	Difícilmente accesibles e importantes
5 Perfectamente fiables	>5000	Suponen una merma de la seguridad

Ilustración 11: Baremos para la cuantificación de las técnicas de inspección.

FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

NOMBRE:	ENDOSCOPIA	T.I.02
---------	------------	--------

CLASIFICACIÓN: Técnica de Inspección	GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR	<input type="checkbox"/>					
	DIFICULTAD DE APLICACIÓN	<input type="checkbox"/>					
	COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	<input type="checkbox"/>					
	FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS	<input type="checkbox"/>					
	COSTE DEL INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>					
	IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS	<input type="checkbox"/>					

DESCRIPCIÓN:

La técnica endoscópica permite el reconocimiento de los daños y la materialidad superficial e interna de los paramentos accediendo a la información interior del soporte (muro de cerramiento, forjados...) para conocer sus capas internas, ya sean cámaras de aire o secuencia de materiales que compongan el total del cerramiento.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Sonda	1	0,5-1	-	6,1 mm (ø) x 300 (long)	17500
Óptica	1	1,2-2	-	9,53 x 13,34 x 34,29	
Taladro	1	0,8-1,5	750	25 x 15 x 8	120
Compresor	1	6	1100	34,4 x 18,6 x 33,1	100-300

Ilustración 12: Ficha ejemplo de técnica de inspección.

A continuación, se incluye un cuadro de texto descriptivo, seguido de un cuadro fotográfico, con imágenes de la forma de aplicación de la técnica o del tipo de datos que se obtienen.

En el cuadro “Equipos y Materiales Auxiliares” se incluye información identificativa del instrumental necesario, así como el peso, potencia, dimensiones y precio de éste. Estos datos se consideran de gran importancia a la hora de escoger las técnicas de inspección más adecuadas y viables para implementar en el sistema robotizado.

Para completar la información sobre el instrumental, se adjunta un cuadro adicional con imágenes de los aparatos que se emplean en la técnica estudiada.

Una vez explicada la técnica y sus componentes, se describe el proceso a seguir para realizar la inspección, en sendos cuadros, uno de texto y otro gráfico. Se añade un cuadro que informa de la necesidad o no de operaciones complementarias, sean antes, durante o después de la inspección (Ilustración 12).

El cuadro de operaciones complementarias describe las posibles acciones que se pueden llevar a cabo para que las técnicas de inspecciones se desarrollen con las máximas garantías, teniendo precaución sobre algunas partes de la inspección, o añadiendo comentarios sobre la inspección.

El siguiente cuadro (Ilustración 13) contiene una información también muy valiosa para las necesidades del proyecto, pues ofrece los datos necesarios para comprender cuál es su operativa técnica. En él se describe si la inspección se realiza en la superficie del cerramiento o en su interior (externa o interna). Además, se indica la separación de la sonda o instrumental respecto a la fachada, o la profundidad a la que llega éste, respectivamente. Por otro lado, se ha evaluado el tiempo necesario para realizar un ensayo por una unidad de superficie. Con ello es posible determinar el tiempo aproximado necesario para inspeccionar una fachada completa. Además, se ha añadido un apartado donde se enumeran los materiales compatibles o incompatibles con el tipo de detección desarrollado por la técnica, si los hubiera.

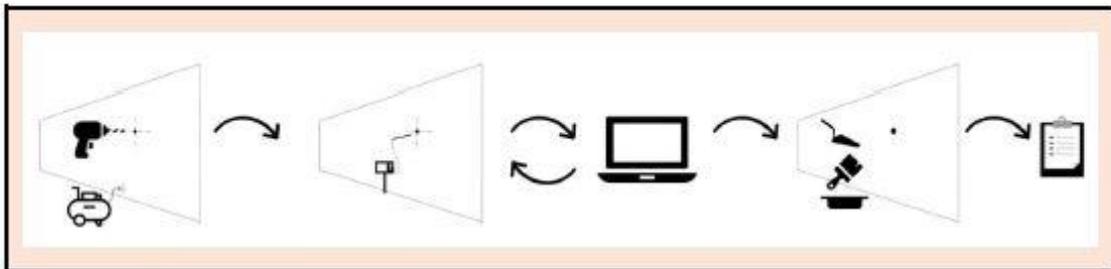
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

La secuencia de trabajo es replanteo, visualización, ubicación de la perforación, realización de la perforación, limpieza de la perforación, introducción de la sonda video-endoscópica, manipulación de la sonda, registro de imágenes y reporte de los datos obtenidos.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Descarga de los datos de almacenamiento interno a ordenador de campo. Se debe comprobar la necesidad o no de repetir alguna de las tomas de vídeo o imagen, determinando su validez para identificar posibles huecos, materiales u objetos en la inspección.

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	<input type="checkbox"/> Externa	<input type="text" value=""/> [Sepación de la fachada (cm)]	<input type="text" value="5 min"/> Tiempo unidad
	<input type="checkbox"/> Interna	<input type="text" value="<300"/> [Profundidad (cm)]	<input type="text" value="-"/> Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Fábrica, hormigón, morteros, vidrios, madera.	
	[Incompatibles]	agua, material muy disgregado, lodo	

Ilustración 13: Ficha ejemplo de técnica de inspección (II).

El siguiente cuadro de esta serie, específicamente incluido para su aplicación al proyecto, describe las condiciones de captación de cada técnica, aportando información relevante sobre el grado de estabilidad admisible por el instrumental, para considerar válidos los resultados obtenidos, así como la precisión que ofrece. Se completa la información con la autonomía y el modo de transmisión de datos desde la captación para su almacenamiento y procesado.

Esta subsección de información específica se completa con la descripción del tipo de datos que se obtienen de la aplicación de la técnica, ya sean numéricos, fotográficos, gráficos, etc., con el fin de estudiar su capacidad de ser procesados por el sistema a desarrollar en el proyecto.

Otra subsección que tiene un gran interés para el proyecto es la que recoge las limitaciones detectadas y los retos identificados en el análisis de las técnicas seleccionadas. Éstas se han descrito teniendo en cuenta los objetivos del estudio, orientados hacia la sistematización y automatización de la inspección.

LIMITACIONES:
Necesidad de interpretación experta en los datos
Grado de aceptación de los resultados en caso de vibración u otras interferencias
Preparación previa y actuaciones posteriores: medios auxiliares necesarios antes de inspeccionar y después, que pueden afectar al cerramiento
Complejidad del interfaz

RETOS:
Mejorar la velocidad en cada muestra a través de una metodología de inspección
Independizar la sonda de la pantalla, mediante la conexión remota
Mejorar la movilidad de la sonda
Minimizar medios para perforación y su taponado posterior: diámetro y potencia necesaria
Facilitar un mecanismo de ayuda a la orientación al desplazar la sonda

Ilustración 14 Cuadro de limitaciones y retos de las fichas de inspección.

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO	
LS.C 1.1	Fisuras por corrosión de las armaduras
LS.C 1.2	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.L 3.1	Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
LS.M.1.1	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
LS.M.1.2	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
LS.M.1.3	Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
LS.M.2.1	Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
LS.M.3.1	Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa
LS.Q.1.1	Eflorescencia
LS.Q.1.2	Pseudo-eflorescencia
LS.Q.1.3	Cripto-Eflorescencia
LS.Q.2.1	Organismos:Hongos
LS.Q.2.2	Organismos:Líquenes
LS.Q.2.3	Organismos:Plantas
LS.Q.2.4	Organismos:Insectos y animales
LS.Q.3.1	Oxidación
LS.Q.3.2	Corrosión

Ilustración 15: Ficha ejemplo de técnica de inspección (III).

Por último, aparece una sección final en las fichas, con uno o dos anejos. El primero incluye la identificación de fuentes consultables para ampliar la información sobre cada técnica, bien citando los documentos o bien incluyendo los enlaces web. El segundo, en caso de incluirse, recoge textos de mayor extensión o detalle sobre aspectos concretos o sobre la técnica en general.

Las fichas se plantean como documentos abiertos, susceptibles de ser ampliados y modificados en función de las necesidades que se produzcan el avance del proyecto, o incluso más allá del alcance de éste, para futuras investigaciones.

Con los datos recogidos en ambos grupos de fichas, lesiones y técnicas, se está en disposición de extraer resultados válidos para obtener conclusiones, en función de las limitaciones y retos identificados, acerca de la idoneidad de las técnicas para su implementación en el proyecto, teniendo en cuenta las lesiones que son capaces de analizar.



ANEJO I

FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

FUENTES:

Documentos:

Ponencia: 'La endoscopia como técnica complementaria en las labores de inspección visual'. J. Díez Hernández, Libro de Actas de la 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no Destructivas aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (REHABEND), Universidad de Cantabria, Ministerio de Fomento, Noviembre 2006

Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido: Inspección visual, técnicas acústicas, electromagnéticas y tomográficas'. I. Lombillo, E. Agudo, L. Villegas (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria), AEND. Asociación de Ensayos No Destructivos

Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados Unidos de América'. Berta A. de Miguel Alcalá, ETSAV, UPV, 2017

Manual: 'Panatec. Soluciones Tecnológicas de Inspección'

Enlaces web:

www.panatec.net

Ilustración 16: Anexo de las fichas de inspección.

III.1.2.3. Análisis de los resultados

Al analizar los resultados arrojados por la investigación de las diferentes técnicas de inspección y ensayos, se ha podido observar cómo las técnicas pueden clasificarse teniendo en cuenta los parámetros analizados en común a todas ellas, para poder cuantificar las ventajas e inconvenientes que presentan (Ilustración 17).

Estos parámetros son: el grado de especialización del operador, la dificultad de aplicación, la complejidad de interpretación de los resultados, la fiabilidad de los datos obtenidos, el coste del instrumental y la importancia de las lesiones detectadas. Estos 6 factores ayudan a homogeneizar el análisis de las técnicas.

Los gráficos en este caso se han diseñado de modo que el valor más alto (5), implica la valoración más favorable o positiva posible del parámetro considerado, mientras que el valor más bajo (1), significa que en dicho parámetro la técnica está en la peor valoración posible.

En los diagramas de cada técnica se puede observar cómo los tres primeros factores van ligados, ya que, si una técnica necesita un operador experimentado y con formación especializada, normalmente también el manejo del instrumental y/o la interpretación de resultados podrán ser complejos. En todas las técnicas es frecuente que ambos datos estén unificados.

Por tanto, en las técnicas se pueden considerar dos grupos: las que tienen un diagrama equilibrado y las que tienen valores divergentes. El primer grupo indica que la relación entre los parámetros es uniforme, con valores similares entre sí; y en el segundo la heterogeneidad se manifiesta especialmente en que presentan un difícil manejo o aplicación, lo que hace que ofrezcan mayor interés si se está pensando en la automatización.

Otro factor diferenciador entre las técnicas es el coste del instrumental. Las más costosas aportan en general mayor grado de fiabilidad, y una capacidad de detección de lesiones de importancia, aunque en este caso la diferenciación no es tan acusada.

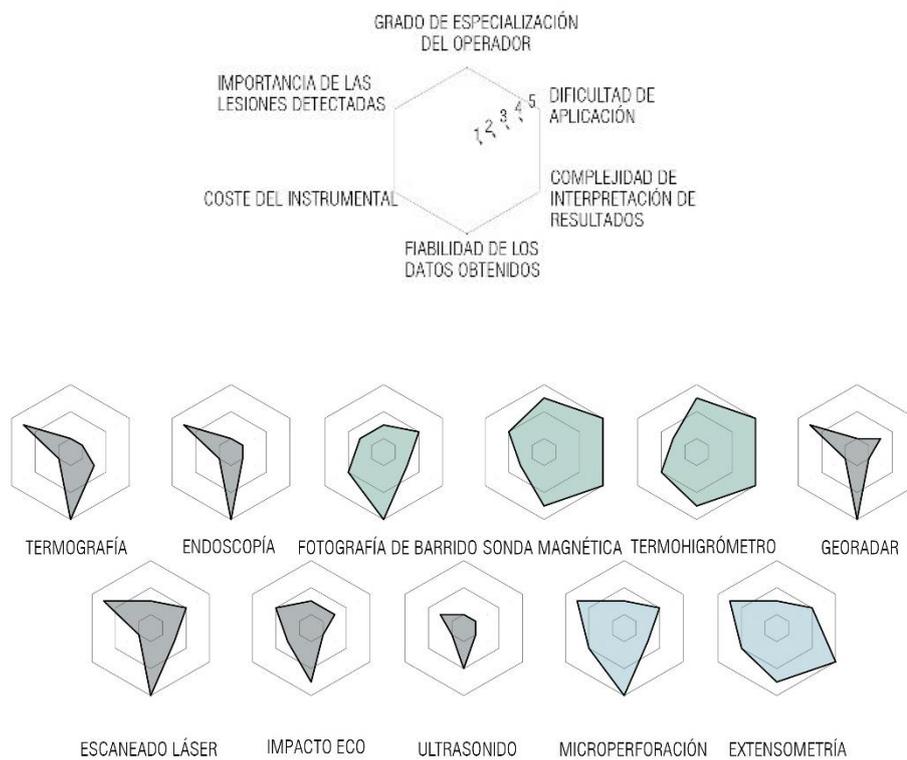


Ilustración 17: Comparativa de los parámetros de las técnicas de inspección.

El análisis más interesante para la implementación de las técnicas de inspección óptimas en el proyecto ROBIM es la recopilación de los datos de las dimensiones, el peso y el coste del instrumental, teniendo en cuenta su implementación en la plataforma robótica de inspección. Con los esquemas elaborados es muy sencillo percibir, referido a la escala humana, el tamaño de los diferentes aparatos, que vienen acompañados de su peso y el precio (Ilustración 18).

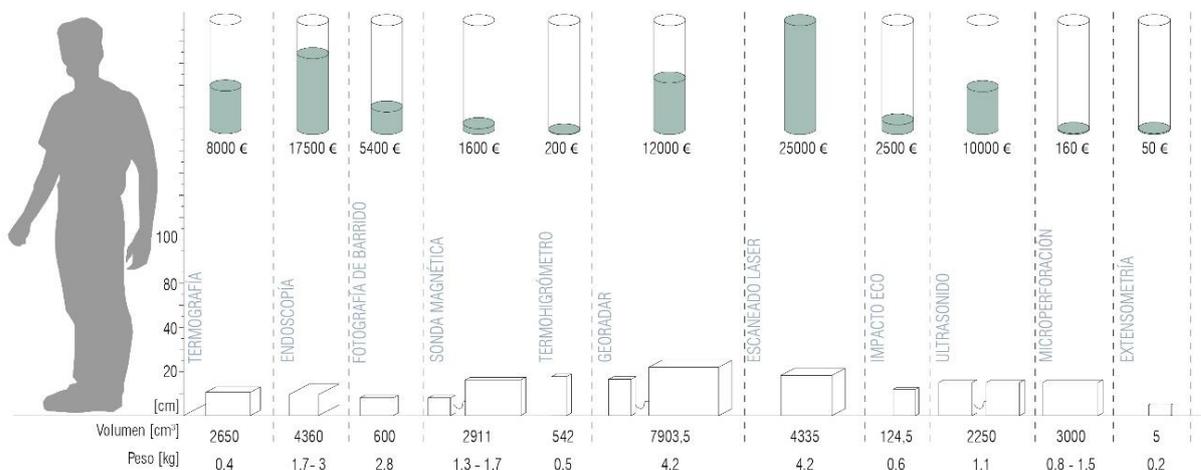


Ilustración 18: Comparativa de volumen, peso y precio de las técnicas analizadas. Año 2018.

Pronto se detecta que los volúmenes de los distintos componentes de cada técnica son bastante homogéneos. Tampoco hay grandes estridencias en el peso de los componentes, que varía entre los 0,2 kg y los 4,2 kg.

Sin embargo, en el precio sí hay variaciones apreciables: desde los más económicos, entre 50 y 200 euros, como el termohigrómetro, la microperforación y las galgas extensométricas; hasta los 17.500-25.000 euros del video endoscopio y el escáner láser. Todos estos datos, que son intrínsecos de las técnicas, orientan acerca de cuáles pueden ser las más apropiadas para la investigación.

Por otro lado, se ha analizado su idoneidad para la detección de lesiones. Para ello se ha tenido en cuenta el abanico de lesiones que son capaces de identificar, ponderando su importancia según los criterios o parámetros establecidos en el cuadro inicial de las fichas, definiendo las tres clases de lesiones estipuladas: tipo A, B o C. De esta forma, se valora la capacidad analítica de cada técnica, desde el punto de vista cualitativo, además del cuantitativo. En la figura adjunta se recoge el resumen de los resultados obtenidos, por número de lesiones de cada tipo y en porcentaje de idoneidad, una vez aplicada la ponderación (Ilustración 19).

TÉCNICA DE INSPECCIÓN O ENSAYO	Ataques de hormigón	Corrosión de Armadura	Lesiones de Muros	Físicas	Mecánicas	Químicas	TOTAL
T.I. 01 TERMOGRAFÍA	70 %	100 %	0 %	66,7 %	30%	89,5 %	59,4 %
T.I. 02 ENDOSCOPIA	0 %	71,4 %	6,3 %	0 %	70 %	63,2 %	35,1 %
T.I. 03 FOTOGRAFÍA DE BARRIDO	100 %	100 %	100 %	33,3 %	100%	100 %	88,9 %
T.I. 04 SONDA MAGNÉTICA	0 %	100 %	25 %	0 %	0 %	21 %	24,3 %
T.I. 05 TERMOHIGRÓMETRO	70 %	100 %	0 %	66,7 %	0 %	95,7 %	55,2 %
T.I. 06 GEORADAR	0 %	42,9 %	6,3 %	0 %	70 %	0 %	19,9 %
T.I. 07 ESCANEADO LÁSER	100 %	71,4 %	100 %	11,1 %	100 %	0 %	63,8 %
T.I. 08 IMPACTO ECO	0 %	42,8 %	6,3 %	0 %	60 %	0 %	18,2 %
T.I. 09 ULTRASONIDO	0 %	42,8 %	6,3 %	0 %	60 %	0 %	18,2 %
E.01 MICROPERFORACIÓN	100 %	0 %	43,8 %	0 %	50 %	57,9 %	42 %
E.02 EXTENSOMETRÍA	40 %	28,6 %	50 %	0 %	70 %	0 %	31,4 %

Ilustración 19: Porcentaje de importancia según la clasificación de la norma UNE y las técnicas analizadas.

TÉCNICA DE INSPECCIÓN O ENSAYO	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TOTAL
T.I. 01 TERMOGRAFÍA	12	11	3	26
T.I. 02 ENDOSCOPIA	8	6	4	18
T.I. 03 FOTOGRAFÍA DE BARRIDO	18	18	7	43
T.I. 04 SONDA MAGNÉTICA	1	4	2	7
T.I. 05 TERMOHIGRÓMETRO	13	8	3	24
T.I. 06 GEORADAR	1	4	3	8
T.I. 07 ESCANEADO LÁSER	8	13	6	27
T.I. 08 IMPACTO ECO	1	3	3	7
T.I. 09 ULTRASONIDO	1	3	3	7
E.01 MICROPERFORACIÓN	10	5	6	21
E.02 EXTENSOMETRÍA	1	6	5	12

Ilustración 20: Número de lesiones que puede reconocer cada técnica.

Se observa en la primera (Ilustración 20) cómo el número total de lesiones reconocidas hacen que la fotografía de barrido, la termografía, el escaneado láser y el termohigrómetro tienen un papel destacado. Esto es debido, por una parte, a que la termografía y la termohigrometría son capaces de detectar variaciones de humedad y temperatura, lo que implica que pueden participar en la detección de todas aquellas lesiones cuyo origen sea, directa o indirectamente, la presencia de humedad. Por otra parte, la fotografía de barrido y el escaneado láser detectan, respectivamente, el aspecto superficial y la geometría más detallada posible de la envolvente, de modo que todas aquellas lesiones cuyos síntomas sean visibles, bien a simple vista o con aumento, o que supongan alteraciones de la capa superficial de la envolvente, serán susceptibles de ser analizadas mediante estas dos técnicas.

Cuando se introduce la ponderación descrita en la siguiente tabla, adoptando un valor de 1 para las lesiones de tipo A, 2 para las lesiones tipo B y 3 para las lesiones tipo C, los datos permiten seleccionar qué técnicas son capaces de reconocer mayor número de lesiones y de mayor importancia. Así los resultados difieren algo respecto a la tabla anterior, pero siguen destacándose las mismas cuatro técnicas mayoritarias.

III.1.3 Sistemas constructivos

La colección de fichas de sistemas constructivos ha sido elaborada por otro miembro del consorcio del proyecto ROBIM [5], en consonancia con las desarrolladas en esta investigación, pero son importantes su exposición en este apartado para la justificación de las siguientes decisiones del proyecto.

La inclusión de estas terceras fichas es clave para dotar de sentido a la información que se ha obtenido en las de lesiones y técnicas de inspección, pues permite obtener datos de los materiales y sistemas a analizar, necesarios para poder identificar las lesiones tras la inspección, realizada con técnicas elegidas.

Las fichas desarrolladas para cada sistema constructivo se dividen en dos partes, donde en cada apartado se describe el sistema constructivo y sus características particulares.

NOMBRE: ... Fn₁.A.n₂		I. Identificación Página 1											
NÚCLEO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO		ENCABEZADO: Nombre de fachada + Código final (ficha ROBIM)											
Tipo de cámara <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No tiene <input type="checkbox"/> No ventilada (convencional) <input type="checkbox"/> Ventilada 	PRESTACIONES <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>COSTE</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>MANTENIMIENTO</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>TÉRMICA</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			-	+	COSTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MANTENIMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TÉRMICA	<input type="checkbox"/>
	-	+											
COSTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
MANTENIMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
TÉRMICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
Aislamiento <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No tiene <input type="checkbox"/> Al exterior de la hoja soporte <input type="checkbox"/> Al interior de la hoja soporte 	CAPACIDAD DE MEJORA: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CAPACIDAD DE SUSTITUCIÓN: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	BLOQUE 1.1: Caracterización del sistema (Composición del núcleo + Prestaciones)											
EJEMPLOS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS:		BLOQUE 1.2: Ejemplos de edificios construidos											
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; position: relative;"> <div style="position: absolute; bottom: 5px; left: 5px; font-size: small;">Imagen 1. xxx</div> <div style="position: absolute; bottom: 5px; right: 5px; font-size: small;">Imagen 2. xxx</div> </div>													
GENERALIDADES		BLOQUE 1.3: Generalidades											
LESIONES TÍPICAS ASOCIADAS AL SISTEMA CONSTRUCTIVO:		BLOQUE 1.4: Lesiones típicas											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>CÓDIGO</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>LS.X.n.n</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>LS.X.n.n</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>LS.X.n.n</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>LS.X.n.n</td> <td>...</td> </tr> </table>			CÓDIGO	...	LS.X.n.n	...	LS.X.n.n	...	LS.X.n.n	...	LS.X.n.n	...	
CÓDIGO	...												
LS.X.n.n	...												
LS.X.n.n	...												
LS.X.n.n	...												
LS.X.n.n	...												

DETALLES TIPO:

Figura 1. Leyenda **Fn** según CEC (CTE)

Figura 2:
F_{n1}.A.n₂ sin
cámara de aire

Figura 3:
F_{n1}.A.n₂ con
cámara de aire
no ventilada

I. Identificación | Página 2

BLOQUE 2.1:
Detalles tipo (CEC-CTE)

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO:

Exterior ↑	Material / Elemento	Continuidad	Descripción	E: espesor (mm)	
				Mínimo	Máximo
RE Revestimiento exterior	<input checked="" type="checkbox"/> Soporte visto	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D		---	---
	<input type="checkbox"/> Material amorfo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
	<input type="checkbox"/> Elemento adherido	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
	<input type="checkbox"/> Elemento adosado (fijación mecánica)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
NOTA ¹ : [C] Fachada de Superficie CONTINUA [D] Fachada de Superficie DISCONTINUA					
HP Hoja principal	<input checked="" type="checkbox"/> --			---	---
	<input type="checkbox"/> Revestimiento intermedio				
C-AT Núcleo	<input type="checkbox"/> Cámara de aire				
	<input type="checkbox"/> Aislamiento térmico				
HI² Hoja Interior	<input checked="" type="checkbox"/> Trasdosado tradicional Fábrica de ladrillo hueco [E=70 mm]		<input checked="" type="checkbox"/> Trasdosado junta seca Placa de yeso laminado [E=15 mm]		<input checked="" type="checkbox"/> Otros E.g. Fábrica de bloque
RI² Revestimiento Interior	<input checked="" type="checkbox"/> Enfoscado Guarnecido Cemento o Pasta de yeso [E=15 mm]		<input checked="" type="checkbox"/> Alicatado E.g. Baldosa de gres [E=10 mm]		<input checked="" type="checkbox"/> Otros E.g. Estuco
Interior ↓					
NOTA ² : La Hoja interior [HI] y el Revestimiento interior [RI] no se consideran una característica propia de cada uno de los sistemas constructivos; pueden darse distintas combinaciones de elementos y materiales, independientemente del					

BLOQUE 2.2:
Configuración del sistema constructivo

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO:

Empty box for description of the construction system.

BLOQUE 2.3:
Descripción del sistema constructivo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Material / Elemento	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	C_p (J/Kg.K)	μ (Factor, β)	R_c (N/mm ²)	U (W/m ² K)
Ext. ↑	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
RE <input type="checkbox"/> Soporte visto	X	X	X	X	X	X
HP <input type="checkbox"/> FÁBRICA DE LADRILLO CERÁMICO [LC]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
<input type="checkbox"/> Enfoscado de mortero	X	X	X	X	X	X
C + AT <input type="checkbox"/> Cámara de aire	—	—	—	X	—	X
<input type="checkbox"/> Aislamiento térmico	[00-00]	[00-00]	—	[00-00]	[00-00]	[00-00]
HI <input type="checkbox"/> Fábrica de ladrillo hueco [UH]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
<input type="checkbox"/> Placa de yeso laminado [YL]	X	X	X	X	X	X
RI <input type="checkbox"/> Enlucido yeso + pintura	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
<input type="checkbox"/> Alicatado	X	X	X	X	X	X
Int. ↓	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
T TOTAL Sistema (mm) ...	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]
Edificio referencia. EXT→INT	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]	[00-00]

MAGNITUDES → ρ : Densidad | λ : Conductividad térmica | C_p : Calor específico | μ : Resistencia al vapor de agua | R_c : Resistencia a compresión | U : Transmitancia térmica

BLOQUE 3.1:
Características físicas

OTRAS CARACTERÍSTICAS:

BLOQUE 3.2:
Otras características

GEOMETRÍA Y CONDICIONES DE CONTORNO

BLOQUE 3.3:
Geometría y
Condiciones de contorno

RETOS Y LIMITACIONES:

BLOQUE 3.4:
Retos y Limitaciones

III.2. Selección de las técnicas incorporadas en sistemas robotizados

III.2.1. Justificación de la selección de las técnicas de inspección

Durante el desarrollo de la investigación, se consensuaron ciertas prioridades a la hora de seleccionar el alcance final del sistema. Estas prioridades se decidieron por el consorcio completo del proyecto ROBIM.

Estas condiciones obligaron a realizar un cribado de las técnicas de inspección a embarcar en el robot, atendiendo a las diferentes necesidades detectadas en ROBIM, en base al contraste con los mercados de interés, las soluciones constructivas y las lesiones que era conveniente analizar, así como por las posibilidades tecnológicas en el ámbito de la robótica y la transmisión de datos.

A partir de esas limitaciones, se identificaron las técnicas más adecuadas a implementar en el robot. Las técnicas de inspección seleccionadas para sus estudios fueron las siguientes:

- [T.I.01] Termografía
- [T.I.02] Endoscopia
- [T.I.03] Fotografía de barrido
- [T.I.04] Sonda Magnética
- [T.I.05] Termohigrómetro
- [T.I.06] Georadar
- [T.I.07] Escaneado Láser
- [T.I.08] Impacto Eco
- [T.I.09] Ultrasonido
- [E.01] Microperforación
- [E.02] Extensometría

En fases posteriores del desarrollo del proyecto, se llegó a la conclusión de que algunas de las técnicas de inspección escogidas debían ser finalmente descartadas para ser montadas sobre la plataforma robótica, por las dificultades que implicaba incorporarlas a las alternativas de tecnología y diseño que se estaban barajando en el desarrollo robótico.

Por una parte, se descartaron aquellas que exigían la realización de perforaciones en el cerramiento, la microperforación y la endoscopia de manera convencional, fundamentalmente por dos motivos:

- La imposibilidad de poder ejercer, por parte del robot, una fuerza perpendicular al plano de fachada capaz de atravesar los materiales de ésta, contando con un sistema de fijación del robot al muro suficientemente resistente para contrarrestarla, sin infringir un daño excesivo al cerramiento.

- La imposibilidad de embarcar el instrumental auxiliar de perforación adecuado, bien por el exceso de peso que supondría emplear maquinaria convencional, o bien por la previsible ineficacia de utilizar maquinaria muy ligera, específica de otros sectores como el sanitario, con unos costes de adquisición y mantenimiento fuera del alcance y los intereses del consorcio.

Sin embargo, la endoscopia sí se embarca en la plataforma, para poder llegar a los huecos ya existentes en la fachada analizada, es decir se incorpora como una cámara extra para poder ver con detalle algunos puntos de la fachada desde cerca, sin tener que poner en riesgo el robot completo al intentar acercarnos a la misma.

Por otra parte, se descartó la que implicaba colocar sensores para captar deformaciones a lo largo del tiempo, la extensometría, por no tratarse de un instrumental montado sobre el robot para realizar inspecciones cuyo diseño debía adaptarse, sino que aquí únicamente se requería transportar una pieza o aparato y colocarlo en un punto de la fachada, como podría hacerse con cualquier otro elemento destinado a la monitorización del cerramiento.

Así pues, las técnicas finalmente escogidas para su adaptación al sistema robótico fueron la termografía, la fotografía de barrido, la sonda magnética, el termohigrómetro, el georadar y el escáner láser 3D.

A partir de éstas, se han seleccionado los distintos modelos de instrumental que ofrece el mercado, con capacidad para proporcionar las características específicas requeridas para su incorporación al sistema robótico en fase de estudio.

Se llevo a cabo un trabajo de localización, comparación y selección del instrumental de aplicación de las técnicas de examen con las prestaciones adecuadas, identificando las alternativas y reconociendo las limitaciones de cada uno de los aparatos seleccionados.

Así pues, se ha analizado en cada una de las técnicas las diferentes soluciones aportadas por el mercado en el momento que se desarrollaba la investigación, considerando el grado de cumplimiento de los requisitos básicos necesarios para su implementación.

Las propiedades y características que interesaba analizar especialmente se resumen en la tabla siguiente:

Peso	Potencia	Dimensiones	Precio	Autonomía	Interfaz	Voltaje	Transmisión de datos
g	W	mm (LxAxH)	€	Min	Hardware	V	Mbps

Para todas las técnicas de inspección se han tenido en cuenta los valores de peso, siendo éste uno de los requisitos más restrictivos del proyecto, pues el sistema robótico escogido tiene unas limitaciones de carga muy ajustadas.

Junto con el peso, las dimensiones de todo el instrumental estudiado han sido otro de los factores fundamentales para descartar muchos de los aparatos que ofrece el mercado, pues en la gran mayoría de los casos, los aparatos convencionales que suelen usarse para la inspección son de un tamaño demasiado grande para poder embarcarlo en el sistema robótico.

También se ha tenido en cuenta la potencia de los aparatos, así como el voltaje. Ambos parámetros tienen que ver con la alimentación y con la autonomía: según los valores que se obtengan es posible decidir si se necesita alimentación mediante cable que aporte energía eléctrica o se puede incluir una batería en el robot, incluso ambas opciones.

Por otro lado, hay otros datos que se han valorado, aunque en la evaluación global han tenido una incidencia menor, como son el interfaz y la transmisión de datos, así como el precio.

En las tablas e imágenes siguientes se muestran los diferentes modelos de los apartados estudiados en cada técnica analizada. Se han analizado al menos tres modelos por

técnica, de los cuales se han recabado los datos necesarios para satisfacer las necesidades de la investigación.

Las principales dificultades para llevar a cabo esta tarea han sido la escasez de distribuidores especializados, dado lo específico de los productos requeridos y, dentro de este ámbito, la identificación de las especiales características demandadas por el sistema en proceso de diseño.

Por otro lado, en algunos casos se han encontrado grandes dificultades para recibir asistencia técnica en la identificación las prestaciones buscadas.

En lo referente a las posibilidades tecnológicas de evaluación y diagnóstico, el trabajo se ha centrado en la identificación del tipo de datos y su capacidad para ser almacenados en los sistemas embarcados o transmitidos a una base remota, además de sus posibilidades de incorporarse a la base de datos del modelo BIM, o incluso para el aporte de parte de la información necesaria para generar dicho modelo.

En el caso de la monitorización mediante medios robotizados, aunque las opciones para incluir sistemas embarcados que proporcionen datos en periodos de tiempo prolongados son escasas, es necesario estudiar previamente las posibilidades que ofrece el mercado actual en este ámbito, para valorar si es posible superar las limitaciones identificadas.

III.2.1.1. Valoración de la idoneidad de las técnicas seleccionadas para su implementación en sistemas robotizados y selección del instrumental

Para validar la idoneidad de aplicación de una determinada técnica de inspección, es imprescindible contar con un instrumental específico concreto, capaz de ofrecer las prestaciones adecuadas para su utilización en medios robotizados. De ahí que la tarea se centre en una primera selección del instrumental susceptible de ser empleado, para valorar las posibilidades de aplicación de una determinada técnica.

Tras analizar las distintas soluciones que existen en el mercado se ha elegido la que más se adapta a los intereses de la investigación.

Además, ha sido necesario identificar los sistemas de fijación previsibles y la posición relativa de cada elemento respecto al cerramiento en cada caso.

Por otra parte, se han detectado las necesidades de adaptación previsibles en el instrumental o de alguno de sus elementos, para que sean compatibles con la metodología de inspección que se ha desarrollado. Tanto en esta tarea como en la anterior, se ha procedido a tratar cada técnica por separado.

No obstante, hay ciertos requerimientos de diseño que son comunes a las técnicas cuya adquisición de datos consiste en la captación de imágenes. Estas técnicas son la termografía, la fotografía de barrido y el escaneado láser 3D.

En todas ellas el aparato tendrá que fijarse al sistema robótico y posicionarse en él a una distancia suficiente de la pared inspeccionada para captar correctamente las imágenes. Obviamente el área del cerramiento que quede dentro del encuadre de la óptica deberá estar despejada de cualquier elemento del sistema robótico que pueda distorsionar o entorpecer la adquisición de imágenes.

Cabe señalar, como otra necesidad o especificación común a las técnicas de contacto que requieren desplazamiento superficial, como son la sonda magnética, la endoscopia y el georradar, que será necesario incorporar al sistema un accesorio que mantenga los elementos de captación muy próximos a la superficie, pero sin entrar en contacto físico con ésta (especialmente si es muy rugosa), tal como lo hacen algunos modelos diseñados para inspeccionar suelos o paredes manualmente, mediante dispositivos rodantes.

[T.I.01] TERMOGRAFÍA

Los parámetros más determinantes en este caso han sido el peso, el tamaño del aparato y la calidad/resolución de la imagen obtenida, que se relaciona directamente con la capacidad para detectar diferencias de temperatura, de las que deducir las posibles lesiones existentes en las fachadas y su origen.

Se han localizado 3 modelos de cámara de tamaño reducido, todos de la marca FLIR: la C3, la Vue Pro-R y la Lepton. El peso de la última es el más reducido, así como las dimensiones de la cámara, sin embargo, la calidad de las imágenes es peor que la VUE PRO. Esta marca está especializada en instrumental de este tipo, y ofrece modelos especialmente diseñados para ser operados de forma remota y montados en medios móviles.

En la tabla inferior, se pueden observar las características analizadas de los 3 modelos.

[T.I.01] CÁMARA TERMOGRÁFICA

EMPRESA	FLIR	FLIR	FLIR
MODELO	C3 (640X480)	Vue ProR (640x512)	Lepton 3/3.5 (160x120)
PESO (G)	130	113	9
POTENCIA (W)	-	2	0.65
DIMENSIONES (MM)	125x80x24	45x45x63	13x11x7
PRECIO (€)	1100	2000	250
AUTONOMÍA (MIN)	240	240	240
INTERFAZ HARDWARE	-	Analog/HDMI/MaVLink	SPI
VOLTAJE (V)	6	5-28	1,2-3,1
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	22	1,3



Ilustración 21: Modelo C3



Ilustración 22: Modelo VUE PRO-R



Ilustración 23: Modelo LEPTON

La cámara elegida es de la marca FLIR, modelo Vue Pro-R, que al igual que la Lepton, está especialmente diseñada para ser embarcada en dispositivos móviles. De ahí que sus pesos y dimensiones sean los más reducidos posible, pudiéndose además controlar ambas a distancia, desde una aplicación móvil.

La C3, por el contrario, aunque es muy ligera, pequeña y con buena resolución (640x480), por su diseño está pensada para ser utilizada manualmente, pues incluye una pantalla, innecesaria en este caso, y su carcasa se adapta a la ergonomía del operador humano. Aunque admite transmisión de datos wifi, no está equipada para manejo remoto.

Además, el modelo elegido aprovecha con menor peso y con unas dimensiones menores en ancho y alto, la profundidad algo mayor que la C3, para mejorar la calidad de la óptica y los parámetros de imagen en general. La Lepton, pese a ser tremendamente ligera y pequeña, se ha rechazado por no alcanzar la resolución y calidad óptica de las otras dos.

Finalmente, la Vue Pro-R además de tener una resolución alta (640x512) es radiométrica, lo que conlleva que se puedan obtener datos numéricos de la medida de las temperaturas en cada punto de las imágenes tomadas. Esto hará más fácil trasladar los datos obtenidos a una base de datos.

Las siguientes especificaciones del fabricante más importantes para el desarrollo de la investigación son las siguientes:

- Ángulo del campo de visión (FOV): 9 mm; 35° × 27°.
- Resolución de imagen: (640 x 512)
- Espectro electromagnético: 7500 - 13500 nm
- Posibilidad de grabar en video.

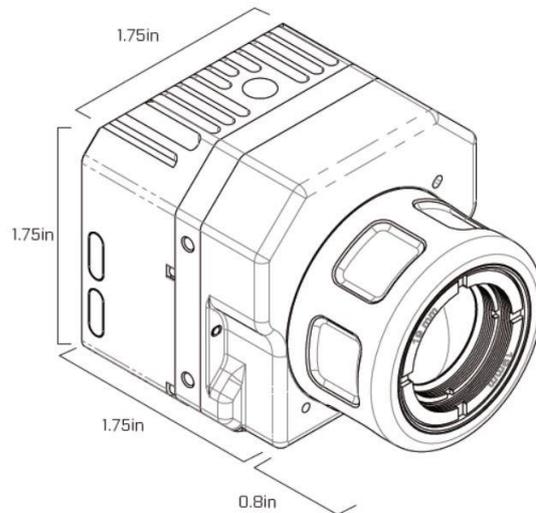


Ilustración 24: Documentación gráfica Cámara VUE PRO R.

En cuanto la fijación al sistema robótico no es necesario adoptar ninguna medida especialmente relevante en el diseño, pues está dotada de un sistema de fijación estándar, compatible con cualquier cabezal de un trípode, con el paso de rosca habitual en cámaras comerciales.

Esto permite poder decidir si interesa incorporar un solo sistema de fijación compartido para intercambiar el instrumental, según las necesidades de inspección previstas; o si, por el contrario, se prefiere disponer de varias fijaciones para embarcar los aparatos simultáneamente y poder utilizar el que convenga durante el propio proceso de inspección.

[T.I.02] ENDOSCOPIA

El análisis de los aparatos adecuados para esta técnica está ligado a la necesidad de un sistema para poder perforar el cerramiento, por el que poder introducir la cámara en el interior de la fachada, y taponar posteriormente la perforación. También es posible emplear esta técnica entre las juntas del cerramiento discontinuo, si éste tiene la suficiente holgura entre piezas para que pueda penetrar la cámara.

La dimensión de la cámara es lo más determinante, barajando diámetros muy pequeños, como puede observarse en los datos ofrecidos en la tabla. Se han buscado aparatos de diferentes disciplinas como la medicina o la restauración de arte.

Como ya se ha indicado, finalmente se adapta esta técnica, sin contemplar la posibilidad de emplear medios auxiliares para perforar el cerramiento, que condicionaban las características que debía cumplir el robot, al requerir en su diseño la capacidad para fijarse fuertemente al cerramiento y perforarlo, a la vez que se le exigía una extrema ligereza para poder elevarse y desplazarse, pero sí se incorpora para tener una técnica capaz de acercarse a los detalles de la fachada.

Los 3 video endoscopios son muy diferentes, pero cumplen con el objetivo de tener una cámara de tamaño reducido.

El primero de la tabla procede de una empresa que fabrica instrumental oncológico, el segundo para otorrinolaringología y el último para uso doméstico o no profesional. Por ello la calidad de la imagen varía significativamente.

[T.I.02] ENDOSCOPIA

EMPRESA	Vimex	VideoNaso	Pancellet
MODELO	Endoscopy	Faringoscopio	Android Camara
PESO (G)	90	-	100
POTENCIA (W)	-	-	-
DIMENSIONES (MM)	-	(diámetro 3,4)	(diámetro 5)
PRECIO (€)	1250	1650	10
AUTONOMÍA (MIN)	-	-	-
INTERFAZ HARDWARE	USB	USB	USB
VOLTAJE (V)	-	-	-
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	-	-



Ilustración 25: Modelo Vimex



Ilustración 26: Modelo Videonano



Ilustración 27: Modelo Pancellet

El componente elegido ha sido la cámara de la marca Pancellet, es un dispositivo muy sencillo de conectar y con una calidad suficiente para las necesidades de ROBIM. Además, tiene un diámetro adecuado para el uso necesario, ya que, al no poder realizar las perforaciones con el robot, se ha estimado su empleo para aprovechar las cavidades existentes en las fachadas o en huecos entre piezas de fachadas ventiladas.

Su conexión con el robot es muy sencilla, ya que tiene un cable USB lo suficientemente largo para realizar la inspección, así como un peso muy bajo. Los otros modelos analizados han sido descartados por su falta de robustez, ya que no son apropiadas para el exterior, pues están pensadas para un uso médico, siendo muy sensibles y con un coste elevado.

[T.I.03] FOTOGRAFÍA DE BARRIDO

En este caso se actuó de forma similar a la termografía, consultando a los expertos y distribuidores de las distintas marcas, descartando los modelos no preparados para ser utilizados en medios móviles a distancia.

Las especificaciones que orientaron la preselección fueron el reducido peso, la amplitud del ángulo de visión, el mínimo tiempo de captura la imagen y la resolución adecuada para tener la suficiente calidad en la imagen, donde apreciar los detalles necesarios para diagnosticar la fachada.

[T.I.03] FOTOGRAFÍA DE BARRIDO

EMPRESA	Allied Vision T	Genie	Genie
MODELO	Mako G223	Nano	Nano XL
PESO (G)	200	46	163
POTENCIA (W)	3	4	6,5
DIMENSIONES (MM)	120x30x30	38,9x29x44	30X59X59
PRECIO (€)	1000	1300	1500
AUTONOMÍA (MIN)	4800	4800	4800
INTERFAZ HARDWARE	GigE	GigE	GigE
VOLTAJE (V)	12-24	12	24
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	750	90	500



Ilustración 28: Genie Allied Vision T



Ilustración 29: Modelo Genie Nano



Ilustración 30: Modelo Genie Nano XL

La cámara escogida para la fotografía de barrido es la de la marca Allied Vision Tech, concretamente el modelo Mako G-223 NIR. Sus aplicaciones principales son la robótica, el control de calidad, la inspección, la imagen industrial, la visión de máquinas y la logística, por lo que es perfecta para implementarla en el sistema.

La cámara tiene un lente de 12mm y tiene las siguientes especificaciones del fabricante:

- Ángulo del campo de visión: 12 mm, ángulo de 100°.
- Resolución de imagen: 2048 × 1088 32bit 2.2 megapíxeles.
- Velocidad máxima de captura: de 30 μ s a 153 s, hasta 49.5 fps.
- Sensor: CMOS Global shutter, píxel de 5.5 μ m × 5.5 μ m.

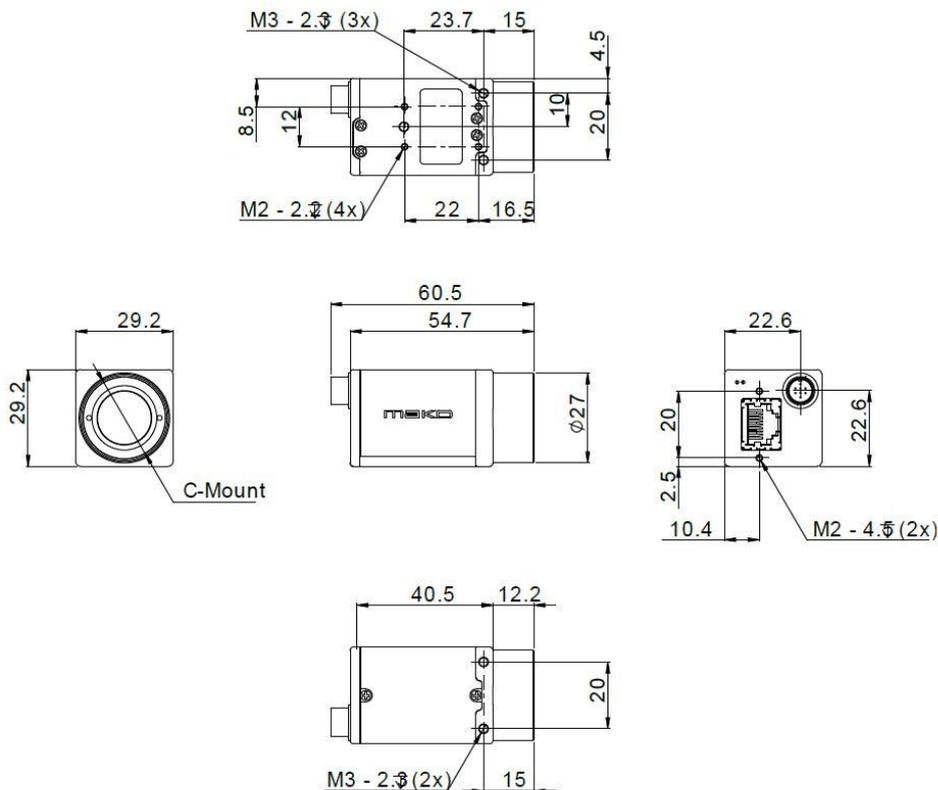


Ilustración 31: Documentación gráfica de la cámara Allied Vision.

En el caso de las otras dos cámaras estudiadas, tienen unas especificaciones técnicas que no se recomiendan para ser utilizadas en el exterior, a pesar de tener unas características parecidas.

En cuanto al sistema de anclaje, existe un adaptador para trípode ofrecido por el fabricante, que permite utilizar la cámara montada sobre un trípode convencional, tal y como se prevé hacer con el resto del instrumental seleccionado de este tipo.

[T.I.04] SONDA MAGNÉTICA

Las especificaciones más relevantes para la selección de la sonda magnética han sido la relación entre peso y precisión, así como el formato de salida de datos disponible.

El instrumental disponible actualmente en el mercado para detección de elementos metálicos en cerramientos puede incorporar todos sus componentes en la misma carcasa u ofrecer por separado la sonda y el resto de los componentes. No obstante, la segunda opción es menos abundante y los modelos compactos se han impuesto en el mercado, siendo muy ligeros y de mejores prestaciones.

[T.I.04] SONDA MAGNÉTICA

EMPRESA	Proceq	Proceq	Elcometer
MODELO	Profoscope	Profoscope plus	331
PESO (G)	570	570	1500
POTENCIA (W)	-	-	-
DIMENSIONES (MM)	55x55x255	55x55x255	230x150x125
PRECIO (€)	2200	2600	1800
AUTONOMÍA (MIN)	4800	4800	3200
INTERFAZ HARDWARE	Tarjeta SD	Tarjeta SD	-
VOLTAJE (V)	9	9	6
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	-	-



Ilustración 32: Sonda magnética marca Proceq



Ilustración 33: Sonda magnética marca Elcometer

Entre los diferentes modelos y marcas se ha seleccionado el de la marca Proceq, modelo Profoscope plus, por su relación peso, dimensiones y precisión, además de incorporar un software capaz de mostrar y almacenar para su exportación, una tabla con los datos de distancia desde el origen y de profundidad de cada elemento o barra metálica que se detecte en la superficie inspeccionada.

Pese a que existen otros modelos en los que la sonda se suministra por separado, en estos casos, el peso es siempre superior al del modelo seleccionado, que se caracteriza precisamente por su ligereza, al ser muy compacto, por lo que en la selección han primado estas características de peso y tamaño.

El hecho de integrar todos los componentes en una sola carcasa, pese a las ventajas de peso y tamaño muy reducido, genera otras dificultades técnicas para su incorporación al robot, que habrá que solventar en coordinación con el diseño de éste y su evolución. En concreto, la ubicación del aparato se debe estudiar en base a dos posibilidades:

- Colocarlo en contacto con el cerramiento, de modo que se conecte al sistema desde esta posición, con un posible desequilibrio en el robot, cuyo centro de gravedad se prevé alejado del cerramiento, donde se ubicará otro instrumental embarcado y el hardware propio del sistema para desplazamiento, almacenamiento de datos, alimentación y transmisiones.

En este caso, la ventaja sería mantener el instrumento tal como viene de fábrica, sin tener que separar ningún componente.

- Extraer la sonda del resto de elementos, para colocarla en contacto con el cerramiento, conectada mediante cable a la parte receptora del aparato, ubicada junto al resto del hardware embarcado, de modo que el desplazamiento del centro de gravedad del sistema robótico sea mínimo.

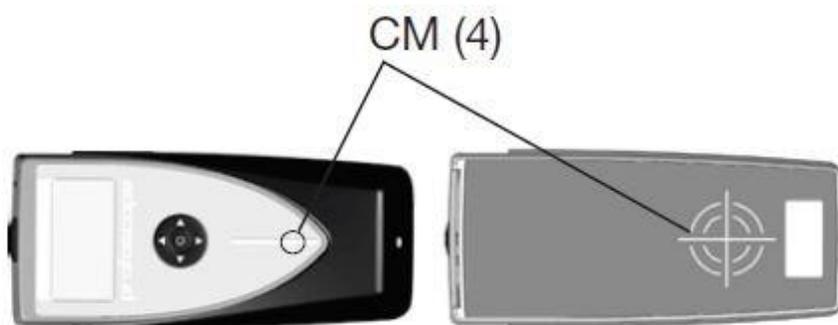


Ilustración 34: Documentación gráfica del modelo Proceq

La ventaja aquí reside en que se minimiza el peso y tamaño de los elementos que deben entrar en contacto con la pared inspeccionada, facilitando la estabilidad y control de los movimientos del robot.

Por otra parte, no se han localizado aparatos con posibilidad de ser operados a distancia, por lo que será necesario manipular la unidad central de proceso y operación del instrumento elegido, de modo que se pueda conectar al sistema robótico para su manejo remoto.

[T.I.05] TERMOHIGRÓMETRO

La detección de la temperatura y la humedad es una de las técnicas más sencillas de adaptar, y los aparatos en el mercado tienen unos valores similares en cuanto dimensiones y precio, siendo el peso la única diferencia significativa.

Existen modelos con agujas, que penetran levemente en el material de la superficie en función de su dureza; o de contacto, que incorporan el sensor a una superficie plana que entra en contacto con la pared analizada, que no debe presentar excesiva rugosidad.

No obstante, también pueden encontrarse en el mercado sensores de temperatura y humedad ambiental como componentes electrónicos de muy bajo coste, que pueden incorporarse a los sistemas digitales y electrónicos embarcados en el robot.

[T.I.05] TERMOHIGROMETRO

EMPRESA	Proceq	Testo	Proceq
MODELO	Torrent	625	Hygropin
PESO (G)	450	250	150
POTENCIA (W)	-	-	-
DIMENSIONES (MM)	-	182x64x40	-
PRECIO (€)	450	550	200
AUTONOMÍA (MIN)	4800	4800	4800
INTERFAZ HARDWARE	-	-	-
VOLTAJE (V)	12	9	12
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	-	-



Ilustración 35: Higrómetro marca Torrent



Ilustración 36: Higrómetro marca Testo



Ilustración 37: Higrómetro marca Proceq Hygropin.

El caso de la detección de temperatura y humedad, finalmente se ha optado por escoger uno de los sensores que puede suministrar Insyte, empresa miembro del consorcio ROBIM, dado que se considera necesario disponer de una medición de la temperatura y humedad ambiental, a la vez que se están tomando datos del cerramiento inspeccionado con la cámara termográfica, con el fin de poder contrastar y ponderar los resultados en los procesos de evaluación y diagnóstico.

Estos datos se transmiten automáticamente con la plataforma web donde se almacenan el resto de los datos en directo.

Estos sensores son simplemente una placa electrónica con pequeños componentes, integrable en el sistema general del robot de forma sencilla.

Tales sensores pueden incorporarse también a la hora de tomar datos relativos a la humedad superficial en contacto con la pared, integrándolos en los medios previstos para los sistemas de inspección que exigen una alta proximidad a la superficie analizada. Para ello deben conectarse mediante cable a la unidad de recepción y almacenamiento de datos, desde la pieza elegida para realizar la toma, bien sea mediante agujas o sólo por contacto superficial.

[T.I.06] GEORADAR

El instrumental adecuado para la aplicación de esta técnica ha sido el más complejo de seleccionar, pues existen fuertes condicionantes, en especial en el peso y el tamaño, que hacen difícil su adaptación al sistema robótico en desarrollo.

Otras especificaciones, como la profundidad máxima de inspección, también han influido en la selección del modelo concreto, siempre en función de los condicionantes más restrictivos de peso y tamaño.

Los georradars pueden funcionar con diferentes antenas, pues dependiendo de las necesidades de inspección es necesario llegar a una profundidad u otra. Existen marcas que incluyen todos sus componentes en una sola carcasa, con lo que disponen de antenas fijas para una frecuencia concreta (y por tanto hasta una profundidad determinada) para inspeccionar, pero también hay modelos que permiten intercambiar antenas de distintas frecuencias, dependiendo las necesidades de cada caso.

En este tipo de aparatos de tecnología tan específica resulta complicado identificar modelos con capacidad de adaptación a las condiciones del sistema robótico, puesto que son arquitecturas bastante cerradas y optimizadas para un funcionamiento correcto y por medios manuales. Así pues, las partes o elementos que no son necesarias para operarlos de forma remota y robotizada son difícilmente separables de las esenciales para este tipo de uso, siendo esta posibilidad de extracción de elementos básicos de funcionamiento una de las claves importantes para la selección.

[T.I.06] GEORADAR

EMPRESA	Panatec	Radarteam	Sensoft
MODELO	Mala CX	Model SE-150	EKKO
PESO (G)	2800	3500	4400
POTENCIA (W)	-	-	-
DIMENSIONES (MM)	-	9200x220x220	286x171x50
PRECIO (€)	-	-	13370
AUTONOMÍA (MIN)	-	960	-
INTERFAZ HARDWARE	-	-	-
VOLTAJE (V)	-	40	12
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	-	-



Ilustración 38: Georadar marca Panatec.



Ilustración 39: Georadar marca Radarteam.



Ilustración 40: Georadar marca Sensoft

En cuanto al georadar elegido, es de la marca Sensors & Software, concretamente el modelo pulseEKKO, junto con las antenas de 1000 MHz. El peso y la capacidad de dividir el equipo en componentes individuales ha sido lo más relevante para elegir este instrumento, frente al resto de opciones. Esto permite mantener las partes más pesadas cerca del centro de gravedad del sistema robótico, alejando de éste solo las partes más ligeras, en este caso las antenas.

De hecho, el fabricante suministra una variante que elimina la pantalla incorporada en otros aparatos similares, de modo que puede operarse de forma remota incluso desde un dispositivo digital comercial tipo tableta, por vía inalámbrica.

El modelo seleccionado permite también la alimentación por cable, pudiendo conectarse al sistema de alimentación del robot, ya sea mediante batería o por cable.

Además, en este caso, las antenas son muy pequeñas y ligeras, en comparación con otros modelos, permitiendo estar alejadas de la unidad receptora, conectadas a través de cables de hasta 2 metros. Estas antenas permiten detectar irregularidades en el interior del cerramiento hasta profundidades más que suficientes para los tipos de cerramiento estudiados.

En el caso del georadar de la marca Panatec, también está dividido y cuenta de hecho con un sistema de ruedas para desplazarlo por la pared, pero debido a su peso se ha descartado.

Finalmente, el otro modelo es totalmente compacto, lo que supone una dificultad añadida para separar las antenas y el transductor, sin que mejore el resto de las especificaciones.

En cuanto a la fijación en el robot, se deberá incluir en el diseño del robot un adaptador, accesorio o pequeño bastidor que fije las dos antenas situadas en paralelo a la superficie a una distancia mínima, que permita el deslizamiento sin entrar en contacto con la pared. De este modo, el módulo de control puede ir incorporado en el núcleo central del robot.

[T.I.07] ESCÁNER LÁSER 3D

Se han analizado numerosos sistemas y aparatos, incidiendo especialmente en el tamaño, peso, software de utilización y precisión, en las condiciones de montaje que se pretende emplear el escaneado láser.

En este caso, existe además una gran variedad de precios. Desde los muy económicos hasta los más costosos, hay hasta decenas de miles de euros de diferencia, por lo que el precio se convierte aquí en un factor bastante determinante.

Existe una relación entre el coste, el peso y el tamaño con la precisión de medida de los aparatos, de modo que se puede llegar a alcanzar un altísimo grado, pero a un coste muy elevado, con un peso y dimensiones cada vez mayores. Por otra parte, el citado grado de precisión depende también de las condiciones de captación, más restrictivas en cuanto a estabilidad y movimiento del instrumento, cuanto mayor se requiera éste.

[T.I.07] ESCÁNER LÁSER 3D

EMPRESA	Artec 3D	XYZ Printing Escaner	IFM	Stereolabs	Intel	Flir	PMD
MODELO	Artec Leo	4715872	O3M160	Zed	Realsense D435	Bumblebee2	Pico Monstar
PESO (G)	2600	240	2400	159	72	342	142
POTENCIA (W)	-	-	60	1,9	-	2,5	-
DIMENSIONES (MM)	22,3x16x3x22,8	4,1x6,1x15,7	10x85x144	30x175x30	90x25x25	157x36x48	62x66x29
PRECIO (€)	22700	180	1500	400	150	2000	1500
AUTONOMÍA (MIN)	-	-	-	-	-	-	-
INTERFAZ HARDWARE	Tarjeta SD	USB 3.0	CAN/Ethernet	USB 3.0	USB 3.0	FireWire	USB 3.0
VOLTAJE (V)	-	-	9	5	5	12	5
TRANSMISIÓN DE DATOS (MBPS)	-	-	-	-	-	-	-

Además de las características comunes a otros equipos, la clave reside en encontrar el punto de equilibrio entre el nivel de precisión y la estabilidad que pueda alcanzar el sistema.



Ilustración 41: Escáner marca Artec.



Ilustración 42: Escáner marca XYZ Printing



Ilustración 43: Escáner marca IFM.



Ilustración 44: Escáner marca ZED.



Ilustración 45: Escáner marca Intel.



Ilustración 46: Escáner marca Flir.



Ilustración 47: Escáner marca PMD.

El escáner láser ha sido la única técnica en la que finalmente se ha elegido dos aparatos, debido a que había más de uno que cumplía con las condiciones necesarias, a un coste razonable.

Finalmente se ha elegido dos cámaras escáner. Este tipo de instrumentos se conocen como, cámaras de tiempo de vuelo, y pertenecen a una nueva generación de cámaras que han salido al mercado gracias al desarrollo de LIDAR y la popularización de tecnologías de escaneo de entornos para navegación de vehículos autónomos y otros equipos robóticos.

Esta tecnología es disruptiva y a pesar de ser muy novedosa, su implementación masiva ha visto los precios descender y el acceso a algoritmos y herramientas abiertas aumenta en modo exponencial.

El principio es relativamente sencillo: utilizando un sensor similar al de una cámara, con píxeles sensibles a una franja específica del espectro electromagnético, se mide el tiempo entre la emisión de un pulso y la llegada a cada uno de los píxeles del sensor.

Al medir el tiempo entre emisión y llegada del impulso, la cámara internamente calcula la distancia a la que se encuentra la superficie sobre la cual refleja la luz y puede ubicar en el espacio esa coordenada y así mismo la de todos los demás píxeles del sensor, generando en tiempo real y con buena precisión, una reconstrucción en 3D de todo lo que está a la vista del sensor.

Para elegir los adecuados, de nuevo se han filtrado diversos parámetros, como son el peso, la precisión o el precio, y se han escogido dos escáneres láser: la cámara marca Pico, modelo Monstar, y la cámara modelo ZED de la marca Stereolabs.

Las características publicadas por el fabricante son las siguientes: (Pico Monstar)

Distancia de análisis: 0.5-6 m

Ángulo de visión: 100° (H) x 85° (V)

Velocidad de captura: 60Hz

Resolución del sensor: 352 x 287 (100k) píxeles

Tiempo mínimo de captura: 5ms

Longitud de onda del pulso: 850nm

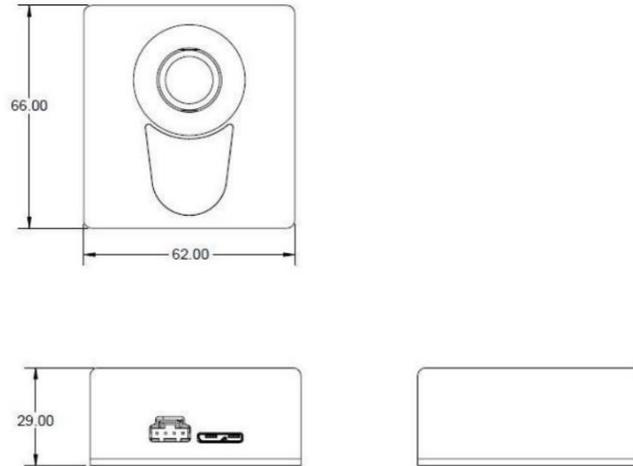


Ilustración 48: Documentación gráfica modelo Pico Monstar.

Un equipo de medición estereoscópico utiliza dos cámaras separadas por una distancia fija para calcular a qué distancia de la cámara se encuentra cada píxel usando el mismo principio de la visión humana.

Existen principalmente dos tipos de cámaras estereoscópicas: las activas y las pasivas. Las primeras, usan un sistema de proyección de luz para generar patrones sobre la escena y objetos que están midiendo. Esto ayuda a encontrar puntos conocidos en el espacio y saber la diferencia de posición entre las dos imágenes, que permite rápidamente y con alta precisión calcular a qué distancia se encuentra; lo que, junto con el cálculo de los demás píxeles de la imagen, permite crear información 3D de lo que se captura.

Una desventaja de esta tecnología es que el patrón proyectado puede verse afectado por luz en el ambiente, lo que la hace más apropiada para ser empleada en interiores.

Las cámaras estereoscópicas pasivas requieren más poder computacional y son susceptibles de más errores de medida, pero para entornos con iluminación intensa, en especial iluminación de amplio espectro como la luz solar, suelen ser más fiables que las de medición activa. La cámara estereoscópica ZED es del tipo pasivo, por lo que no se ve afectada por la luz en exteriores, y aunque no es factible siempre hacer reconstrucción 3D en tiempo real debido a las exigencias de procesamiento, esto se puede hacer en modo diferido sin problemas después de realizar la captura, por lo que no influye negativamente en su funcionamiento.

La cámara se puede utilizar para diversos propósitos, desde seguimiento de objetos en el espacio hasta identificar personas y crear esqueletos virtuales para identificar gestos y biomecánica. Pero también se puede utilizar para hacer una reconstrucción 3D de objetos y entornos, como un escáner 3D.

Las librerías de código disponibles permiten usar la cámara para trabajar en modo semiautomático una reconstrucción virtual de una fachada, pero al ser un sistema que puede ser susceptible a desviación acumulada, se debe utilizar el sistema auxiliar de posicionamiento para corregir esa desviación.

La cámara estereoscópica elegida es la ZED de Stereolabs Inc. con las siguientes características del fabricante:

Distancia de análisis: 0.3 - 25 m

Ángulo de visión: 90° (H) x 60° (V)

Velocidad de captura: 100Hz



Ilustración 49: Documentación gráfica modelo ZED.

Ambas cámaras cumplen con los requisitos definidos en grado similar, pero en esta ocasión aportan cualidades diferenciadas que pueden ser de interés para el sistema robótico, que se consideró interesante ensayar, para poder tomar una decisión definitiva:

- La cámara Pico Monstar tiene una sola óptica, y es capaz de generar una nube de puntos con la precisión adecuada mediante video, el cual, se puede separar en distintos fotogramas para crear las nubes de puntos. Esto es algo de lo que también son capaces los otros aparatos seleccionados, pero la ventaja de esta cámara es la capacidad para ser programada en su operación y, por lo tanto, ampliar sus opciones de utilización remota y automatizada.

- La cámara ZED Stereolabs, opera con dos ópticas, lo que hace que pueda tener una precisión de la distancia que separa el modelo del objeto mucho mayor, siendo la mayor

diferencia entre ambas cámaras. Otra característica que la hace única es su capacidad de ser programada para mallar un modelo a partir de un video, sin tener la necesidad de ir uniendo modelos de diferentes fotogramas generados a partir de éste.

En cuanto a la fijación al robot, la cámara Pico Monstar dispone de un accesorio en forma de escuadra para su adaptación a trípode convencional, mientras que la cámara ZED Stereolabs incorpora incluso un pequeño trípode para usar con la fijación estándar en su suministro.

III.2.1.2. Mejora y adaptación de las técnicas y sistemas escogidos para su implementación como procesos automatizados de inspección, evaluación y diagnóstico.

En el estudio de la mejora y adaptación de las técnicas y sistemas escogidos se ha tenido en cuenta cuál es su metodología de inspección óptima, según sus características. Se busca lograr los mejores resultados en el menor tiempo posible.

Para ello se deben explotar sus cualidades y aprovechar las condiciones del robot para aportar nuevas usabilidades y precisión realizando una fusión sensorial de los diferentes sistemas, para, de esta manera, obtener *sets* de datos más ricos gracias a las diferentes particularidades que aporta cada técnica de inspección.

Una vez elegidas las técnicas que se utilizaron en el marco del proyecto ROBIM, se estudiaron por separado su implementación en el robot, no solo desde el punto de vista físico-mecánico (cómo fijarse al cerramiento con la suficiente estabilidad o cómo operar el aparato desde dentro del robot), sino también respecto a la metodología de inspección.

La manera en la que cada técnica transmite los datos y el formato de éstos condicionó su posibilidad de ser incluidos en el modelo BIM y por lo tanto su utilidad y viabilidad para la evaluación y diagnóstico inteligente.

En cada instrumento y metodología de inspección se obtuvieron datos muy diversos, desde imágenes o diagramas, a datos numéricos. Es por ello por lo que fue necesario homogeneizar la información obtenida, para facilitar la importación de valores a un modelo que haga más sencillo el diagnóstico global del edificio inspeccionado.

Una vez incorporado en el modelo BIM los resultados de la inspección se pudo deducir el estado del cerramiento y sus posibles lesiones y deterioros, a través de la interpretación de los resultados por parte de personal experto. Asegurando la fiabilidad de este diagnóstico gracias al apoyo de los nuevos sistemas de tratamiento y representación de datos que se proponen.

[T.I.01] TERMOGRAFÍA

La cámara termográfica VUE PRO-R tiene unas características concretas que han sido analizadas para averiguar cuál es la distancia adecuada para realizar la inspección.

El dato requerido para averiguar esta distancia es el ángulo focal, que genera un tamaño diferente de imagen dependiendo de la separación con la fachada, siempre en un rango lógico, para no mermar la calidad de ésta.

La metodología de inspección para esta cámara consiste en la grabación de un vídeo continuo, del que se puede obtener fotografías mediante un control remoto a través de una aplicación diseñada para sistemas Android, llamada Flir UAS. Toda la información capturada es almacenada en una tarjeta mini SD, con la posibilidad de volcarla en un ordenador local o enviarla a una base remota, con el fin de que fuera procesada e implementada en el modelo BIM, para que el operador experto pudiera emitir el correspondiente diagnóstico tras haber evaluado los datos.

Se obtuvieron unas imágenes con diferentes paletas de colores, donde se apreciaron los cambios de temperatura y humedad, así como los diferentes materiales. Estas imágenes tienen una resolución concreta, y en función de ello se necesitó una cantidad variable de imágenes a coordinar para barrer toda la superficie de la fachada.

El reto estaba en conseguir la unión de todas las imágenes que se realizaron de la fachada, así como no perder nunca de vista el rango de temperaturas obtenido.

Conociendo los materiales del cerramiento, las condiciones meteorológicas durante la captación y la temperatura y humedad detectada por la cámara en la imagen, con el apoyo puntual del termohigrómetro, es posible diagnosticar cuestiones como la presencia de humedades no deseadas y su posible origen, la existencia de puentes térmicos u otros problemas que puede presentar el cerramiento.

[T.I.02] ENDOSCOPIA

En el caso de la endoscopia, se ha desarrollado un bastidor desde el equipo de robótica que permite usar en directo y de manera desatendida la cámara. En este caso y según las pruebas y test realizados, la cámara empleada no requiere ninguna mejora significativa.

La operación más delicada que tiene la implementación de la endoscopia en este proyecto es la calidad de la imagen en ubicaciones poco luminosas y sitios estrechos que permiten mover con facilidad y con un alcance útil para la toma de datos y posterior lectura el dispositivo de manera remota.

Estas pruebas únicamente se llevaron a cabo en las pruebas con el sistema robot completo, cuando se analizó su alcance en un edificio piloto.

[T.I.03] FOTOGRAFÍA DE BARRIDO

La fotografía de barrido tiene las mismas características de obtención/adquisición y transmisión de datos que la cámara termográfica, pues al fin y al cabo se trata de barrer toda la fachada con fotografías, en las que se pueda observar cualquier lesión reconocible mediante inspección visual detallada en un modelo unificado de toda la fachada.

En la cámara MakoG-223 NIR, se analizan sus cualidades para identificar la distancia adecuada a la superficie a inspeccionar, en función del ángulo focal.

Este valor aporta la información de cuántas fotos son necesarias para barrer toda la fachada, así como la distancia entre el primer punto de toma de datos y el siguiente.

Sabiendo la distancia entre los puntos seleccionados, el tiempo necesario por cada captación de imagen y la velocidad del robot, puede deducirse cuál es el tiempo necesario de la inspección, considerando el tiempo empleado en hacer todas las fotografías y por otro lado en desplazarse hasta esos puntos.

La metodología de inspección para esta cámara se mejoró mediante la grabación de un vídeo continuo, en el que se pudo obtener fotografías mediante el control de un miniordenador incorporado.

La propuesta de diseño del sistema es similar a la del sistema empleando termografía, donde se pretendía emplear puntos de enlace en el modelo BIM con las imágenes registradas en el barrido, de modo que sean fácilmente identificables en posición y tamaño, para poder analizar en detalle las lesiones y deterioros visibles desde una posición muy cercana al plano de fachada. Se previó la posibilidad de emplear una imagen de menor resolución como “índice” visual para escoger las ampliaciones necesarias del modelo fotográfico, cuya alta resolución haría imposible manejarlas en un mismo archivo.

Así mismo, una vez detectadas las lesiones (por ejemplo, fisuras, grietas o desprendimientos) a través del barrido fotográfico, se previó generar un código de identificación gráfica que permitió al operador ubicar cada lesión o grupo de lesiones en el modelo BIM, visualizándose mediante símbolos, elementos lineales o superficiales, que incluyan las características e información necesaria para la evaluación y el diagnóstico, así como para poder realizar un seguimiento en su reparación y mantenimiento.

[T.1.04] SONDA MAGNÉTICA

La sonda magnética debe estar muy próxima la fachada, pero sin llegar a tener contacto con el cerramiento a estudiar, para evitar desgaste o deterioro de la sonda o el revestimiento. En cualquier caso, la separación máxima debe ser 50 mm, lo que hace que la metodología de inspección sea muy clara y concreta, debiendo hacerse un barrido a una separación constante de la fachada.

El barrido debe ser siempre mediante un desplazamiento en dirección perpendicular a la disposición de las barras que se pretende estudiar. Por otro lado, el software del *Profoscope+* es capaz de almacenar las medidas tomadas en una tarjeta mini SD.

Con el fin de optimizar y organizar la información que se adquiere, se propuso una metodología de inspección para la automatización, consistente en la sectorización de la superficie a inspeccionar, de modo que el sistema robótico sepa dónde va a comenzar y terminar la inspección, para almacenar la información por zonas, reconfigurando la medición a medida que se avanza.

El modelo de instrumental escogido tiene dos modalidades de toma de datos: la manual y la automática. En este caso se usó la automática. Cuya metodología de captación aparece explicada en el manual.

Por último, los archivos que se generan se almacenan en la tarjeta mini SD con extensión *.csv*, obtenida del manual. Éstos pueden ser enviados por el sistema para su introducción en el modelo BIM, para ser recuperados por el usuario en los procesos de evaluación y diagnóstico.

[T.I.05] TERMOHIGRÓMETRO

En esta técnica cabe desglosar dos variantes metodológicas: la toma de humedad y temperatura ambiente y la toma de humedad por contacto.

En el primer caso, se trata de obtener una información complementaria a la captada mediante la cámara termográfica, pues es necesario conocer estos datos ambientales a la hora de evaluar y diagnosticar con mayor precisión los que se obtienen con la imagen térmica, dado que su interpretación depende muchas veces de las condiciones ambientales inmediatas a la fachada analizada.

De hecho, la posibilidad de captar la temperatura y humedad ambiente en el entorno próximo de la imagen termográfica ya supone una mejora en la metodología normalmente empleada para este tipo de inspección, pues aporta datos que no es posible obtener desde la distancia a la que se toman las fotografías por medios manuales, muy alejadas de la superficie a inspeccionar, con suficiente fiabilidad.

Así, el sensor fue montado en el sistema robótico y se sincronizó su captación de datos con la posición del robot durante el barrido termográfico, almacenando los datos de temperatura, humedad y posición en periodos de tiempo previamente determinados.

En el segundo caso, se trata de tomar la humedad de forma puntual en la superficie del cerramiento, con el fin de obtener un dato de comprobación para la inspección mediante termografía, o bien comprobar un punto de especial interés para la inspección a juicio del operador, por su singularidad o sospecha de deterioros causados por la humedad.

De este modo, a diferencia del sensor ambiente, que puede permanecer fijo en la estructura del robot, el sensor de contacto debe colocarse junto a la pared a inspeccionar, y por tanto su posición será variable y se debe adaptar a la geometría de la fachada, de modo que pueda aproximarse a ésta correctamente en cada situación.

Una vez conocida la ubicación del punto de medida, el robot debe desplazarse hasta éste. Lo importante es que haya contacto entre la pared y el sensor. Por lo tanto, el sensor ha de ser capaz de tomar la temperatura y humedad de la fachada con un breve contacto, mediante la proyección de un elemento o el acercamiento del conjunto.

Todos estos datos fueron leídos por el centro de control y guardados con la localización concreta de la toma de datos, para ser incorporados al modelo BIM, para la mejora de los métodos de evaluación y diagnóstico.

Los sensores elegidos para adquirir la información necesaria en el diagnóstico ofrecen datos numéricos. Estos datos se trasladan en forma de tablas, relacionadas a través del modelo con la posición de cada punto analizado. La geolocalización de cada punto debe de ser muy exacta para tener la mayor fiabilidad posible en la información obtenida, complementaria de la termografía, con cuyos datos deberá coordinarse en la representación en el modelo BIM, para permitir un diagnóstico y evaluación adecuados.

[T.I.06] GEORADAR

El georadar cuenta con varios elementos para poder realizar la inspección. Por un lado, están las antenas, que se colocan juntas y cuyas superficies de captación no deben entrar en contacto directo con la pared, pero sí estar muy próximas a ésta. Son las piezas que hacen el barrido por la fachada y transmiten los datos al módulo de control a través de un cable. Se emplean dos porque se trabaja a altas frecuencias, enviando la señal de una a otra, por lo que en esencia una hace de transmisor y otra de receptor.

Existen otros georadares con antenas más grandes que solo usan un componente, en el que se unen emisor y receptor. Este sistema duplicado hace que el barrido sea mucho más rápido con una transmisión de datos inmediata entre ambas antenas.

Por otro lado, se necesita un módulo de control que almacene los datos y reconozca, con ayuda de un odómetro, la posición de las antenas, la dirección y el sentido en el que se desplazan. Esta pieza ha de ir embarcada también en el robot, y transmitirá los datos por vía inalámbrica a una pantalla mediante un software propio de la empresa *Sensoft*.

La metodología del georadar en ROBIM es muy similar a la de la sonda magnética, pues consiste en realizar un barrido sistemático por la superficie objeto de estudio, y ser capaz de hacerlo a una distancia cercana, pero sin tocar la fachada.

Los datos de los radiogramas se obtienen en formato *.jpg*, es decir, imágenes que deben ser interpretadas por expertos para poder hacer el diagnóstico pertinente. Las posibilidades de realizar un diagnóstico inteligente pasan por elaborar patrones de referencia de los materiales analizados en estado óptimo o no deteriorado, de modo que se pueda comparar fácilmente entre los inspeccionados y el patrón modelo, para extraer conclusiones adecuadas en el diagnóstico y la evaluación de daños.

Cada imagen corresponde a una superficie concreta de la fachada, por lo que el robot debe localizar muy bien su posición para trasladarla al modelo BIM con exactitud.

[T.I.07] ESCÁNER LÁSER 3D

En el caso de la técnica de escaneado láser 3D, hay que distinguir la mejora desde dos puntos de vista, a través del software y del hardware.

El hardware de ambos escáneres puede ser tratado de igual forma, pues el recorrido, separación de la pared y velocidad del robot son similares al funcionar en condiciones óptimas. Sin embargo, el software es muy diferente, pues cada escáner funciona de manera distinta.

En el caso de la Cámara Pico Monstar, está diseñado para que se pueda aumentar sus posibilidades mediante la programación. En el software disponible en la página web de la cámara viene compilada una serie concreta de acciones para ejecutar en su programación.

Entre ellas, la posibilidad de fotografiar, grabar y ser manejada desde un acceso remoto. Esto ha permitido conocer la resolución y rangos de distancias óptimas a la superficie a inspeccionar.

En cuanto a la ZED Stereolabs, trae consigo una programación interna más compleja, que permite generar mapas de profundidad con valores, que se exportan a tablas Excel.

Además, también permite generar modelos de nubes de puntos con cierta rapidez. Durante los ensayos fue posible identificar cuál de las dos opciones es más adecuada para el sistema robótico.

Esta técnica pretende utilizarse para generar un modelo tridimensional de forma rápida y semiautomática, que sirva como base para la obtención del modelo BIM, con las propiedades y datos que se requieran.

A partir de las grabaciones generadas por la inspección, se obtiene un modelo 3D en forma de nube de puntos de la geometría analizada, que mediante un software de tratamiento específico es posible exportar a un archivo inteligible por aplicaciones BIM.

El mayor problema que aparece es que, si bien la importación a un modelo 3D del escaneo realizado es sencillo, únicamente puede hacerse de cada fotograma del video o de una sola fotografía, no del conjunto captado en el video completo. La mejora que es conveniente ensayar consiste en la programación de una aplicación ejecutable en cualquiera de los lenguajes de programación que acepta el instrumental, para conseguir generar una rutina capaz de unir los modelos de cada fotograma de un video completo.

Este ensayo sería un avance importante en el mundo del escaneo láser, y generaría un modelo virtual 3D de manera rápida y con la precisión adecuada para trasladar a un modelo BIM.

III.2.2. Planificación y diseño de las pruebas y ensayos a realizar en laboratorio

En los apartados anteriores a esta tesis doctoral, se identificaron las técnicas de inspección que más se adaptan a las necesidades de ROBIM, en función de las lesiones en fachadas que pueden detectar y de los sistemas constructivos seleccionados.

En este apartado, se ha hecho un trabajo de comprobación y verificación, con el fin de conocer la idoneidad de cada una de las técnicas y aparatos escogidos para incorporar al robot, y para ello hay que tener en cuenta varios aspectos fundamentales para determinar la capacidad de integración de cada una de ellas en el sistema.

Por un lado, las técnicas de inspección poseen una serie de características intrínsecas, que operan en base a una serie de parámetros modificables en función del elemento a inspeccionar, las condiciones climáticas o gravedad de las lesiones, para obtener una inspección óptima, que garantice unos resultados de la máxima eficacia.

Por otro lado, los sistemas robotizados tienen limitaciones que afectan a la metodología de inspección, requiriendo unos modos de inspección sensiblemente diferentes a los empleados en los escenarios para los que suele estar diseñado el instrumental convencional.

Por este motivo, resulta necesario diseñar unas pruebas que se adapten a las nuevas condiciones de contorno planteadas por el sistema de inspección robotizado.

Las pruebas se han diseñado en función de diferentes parámetros que se deben conocer para validar, tanto las características y especificaciones de cada una de las técnicas de inspección, como la adecuación al sistema robótico diseñado para el proyecto.

En cuanto a las características técnicas intrínsecas de los aparatos elegidos, destacan la distancia óptima que hay entre la fachada a inspeccionar y el instrumental de la técnica empleada, así como la velocidad de inspección.

Con el fin de unificar en lo posible las distancias y velocidades óptimas de las distintas técnicas, atendiendo a las condiciones de inspección de cada una de ellas, el diseño de

los ensayos ha permitido dividirlos en dos grupos, adaptando así sus parámetros para realizar las diferentes pruebas.

A partir del diseño de las pruebas, se ha generado una matriz de parámetros de cada una de las técnicas en cada tipología de fachada, donde se han introducido como variables la separación a la fachada del instrumental y la velocidad de desplazamiento en la captación.

III.2.2.1. Metodología y especificaciones de las pruebas

Los ensayos realizados tienen como objetivo principal la verificación de las hipótesis planteadas en los apartados anteriores acerca del nivel de idoneidad de las técnicas elegidas para incorporar en sistemas robotizados. Por este motivo se ha planteado una metodología capaz de arrojar datos lo más objetivos posible que ayuden a la toma de decisiones.

La metodología empleada en los ensayos de verificación de la idoneidad de las técnicas tiene unas especificaciones con distintas variables que atienden a las limitaciones propias del sistema robotizado y las propias técnicas en sí mismas.

III.2.2.2. Sistema robotizado

El sistema fue desarrollado por el consorcio de ROBIM, concretamente por el Instituto Tecnológico de Aragón, quienes adquirieron, modificaron e implementaron las distintas partes que componen el robot.

El sistema robotizado elegido es un dron formado por una pieza central de forma octogonal, fabricada principalmente en fibra de carbono. A este elemento se le unen los ocho brazos fabricados con tubo de fibra de carbono utilizando una serie de piezas y acoples mecánicos. La plataforma robótica tipo UAV resultante es de aproximadamente un metro de diámetro y que puede transportar hasta 10 kg de peso.

El dron tiene una estabilidad en vuelo difícil de controlar con mucha precisión. Puede realizar movimientos cortos o muy despacio, pero no puede quedarse demasiado tiempo parado en vuelo, esto hace que se necesite conocer la velocidad de movimiento mínima y sus vibraciones.

Una vez conocidos estos datos, aportados por los especialistas en robótica del consorcio ROBIM, se han planteado unos rangos de valores aproximados de velocidad de inspección autónoma, con el fin de conocer su alcance en unas condiciones óptimas, así como tener los valores de separación adecuados de cada técnica para realizar los ensayos y poder validarlos.

Con todos estos datos de partida se ha planteado una metodología que sea capaz de evaluar de manera equivalente, los distintos parámetros que hacen válida una inspección.



Ilustración 50: Plataforma voladora de fibra de carbono.

III.2.2.3. Matrices de ensayos

La metodología consiste en crear 4 matrices de ensayos, en que se unen los sistemas constructivos y las técnicas de inspección, ambos identificados por los códigos de las fichas realizadas en el apartado 1 de este capítulo.

Controlando la separación de fachada y la velocidad de inspección. Además, para cada valor de la matriz se han hecho 3 repeticiones, para corroborar que los resultados obtenidos en cada celda de la matriz son fiables. Así se puede comprobar que los resultados individuales y en su conjunto tienen coherencia con las condiciones de contorno dadas, siendo más sencillo tener una idea de cómo será la inspección con unas técnicas embarcadas en un sistema tan novedoso como ROBIM, pues casi ninguna de las técnicas elegidas está pensada para ser llevada a cabo de esta manera.

En total, se han realizado los siguientes ensayos teniendo en cuenta las 4 matrices de resultados:

-Matriz A: Hormigón armado visto vertido in situ (F13.G.0)

-Matriz B: Revestimiento discontinuo adherido convencional y sin aislamiento interior (F6.A.2)

-Matriz C: Fábrica vista (F1.A.0)

-Matriz D: Fábrica de ladrillo cerámico con revoco exterior, convencional y sin aislamiento interior (F3.A.1)

T.I 01 Termografía [72 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 1 B: 2

Velocidad [mm/s] A: 20 B: 40 C: 60

T.I 03 Fotografía de Barrido [108 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 0,5 B: 1 C: 2

Velocidad [mm/s] A: 20 B: 40 C: 60

T.I 04 Sonda Magnética [72 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 0,05 B: 0,1

Velocidad [mm/s] A: 1 B: 3 C: 5

T.I 06 Georradar [72 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 0,05 B: 0,1

Velocidad [mm/s] A: 10 B: 30 C: 50

T.I 07 Escáner Láser (ZED) [108 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 1 B: 2 C: 3

Velocidad [mm/s] A: 20 B: 40 C: 60

T.I 07 Escáner Láser (Pico Monstar) [108 ensayos]

Separación a la fachada [m] A: 1 B: 1,5 C: 2

Velocidad [mm/s] A: 20 B: 40 C: 60

III.2.2.4. Fichas de ensayos

Una vez fijadas las variables de las pruebas necesarias para medir la fiabilidad, se desarrollaron unas fichas para rellenar con cada prueba realizada, con el fin de estandarizar todos los resultados de una manera sencilla.

Las fichas tienen una estructura similar a las anteriormente utilizadas en el proyecto para analizar lesiones, técnicas de inspección o tipologías constructivas.

En este caso se ha usado el mismo esquema descrito anteriormente. Existen 4 colecciones de fichas para cada técnica, una por cada una de las tipologías constructivas ensayadas. En cada colección de fichas, se han tomado datos relevantes para el condicionamiento del ensayo, con el fin de tener unos valores similares para cada inspección, como son las características del ensayo, la hora del día, la temperatura y la humedad del ambiente. De esta manera se conocen todos los datos ambientales de cada uno de los 540 ensayos realizados.

Como se puede observar en la (Ilustración 51) hay una información general del instrumental y de la técnica de inspección.

ROBIM		FICHA INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO	
NOMBRE:	TERMOGRAFÍA	T.I.01	
<u>TIPO DE INSTRUMENTAL:</u> FLIR VUE PRO 640 R		<u>PESO</u> 113g	
<u>CAPTACIÓN</u> Video			
<u>OBJETIVO DE LA INSPECCIÓN:</u> La termografía permite reconocer pequeños gradientes o cambios en la radiación visible e infrarroja, al tratar de embarcarlo sobre un sistema robotizado, se ha escogido hacer la inspección en forma de video y grabar a diferentes velocidades para conocer en función de distintos parámetros cual es el rango de velocidad adecuado.			

Ilustración 51: Ficha de ensayo.

En las siguientes tablas aparece el número de ensayos realizados, las separaciones a fachada del ensayo, la distancia recorrida por cada equipo, las velocidades a las que se ha probado la técnica y el número de series para validar los datos.

Además, se aporta una tercera tabla con las características externas, como son la hora y fecha, la temperatura y la humedad, y por último una pequeña valoración de la calidad de los datos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSPECCIÓN

Nº ENSAYOS	SEPARACIONES FACHADA	DISTANCIA RECORRIDA	VELOCIDADES	SERIES
18	1,5-2 m	2 m	20-40-60	3

HORA	FECHA	TEMPERATURA	HUMEDAD	CALIDAD DE LOS DATOS
18-18:20	07/02/2020	14	8	BUENA

Ilustración 52: Características generales de la inspección.

Para finalizar existe un cuadro complementario donde se pueden referenciar eventuales problemas que hayan ocurrido durante los ensayos.

PROBLEMAS DETECTADOS

El programa incorporado del software de ZED es algo inestable y con facilidad se desconecta y deja de tomar información, por otro lado cuando se quiere guardar las imágenes junto a la malla se debe tener suficiente espacio en el disco, si no hay espacio se cierra el programa.

Ilustración 53: Problemas detectados.

III.2.2.5. Equipos auxiliares

Los ensayos han sido diseñados con unos valores fijos de separación a la fachada y velocidad. Para poder asegurar que estos ensayos se realizan correctamente se han utilizado una serie de elementos auxiliares:

- Andamio con ruedas
- Actuador lineal
- Piezas de acople entre el actuador y el actuador lineal

El andamio es un elemento de apoyo donde se han colocado los aparatos necesarios para realizar las pruebas, al tener las ruedas ha sido muy sencillo hacer los ensayos a las separaciones de la fachada escogidas.

Un actuador lineal es un dispositivo electrónico capaz de convertir el movimiento rotativo de los motores de paso a un movimiento lineal. En definitiva, un elemento capaz de mover linealmente el instrumental embarcado controlando la velocidad de movimiento en una longitud determinada.

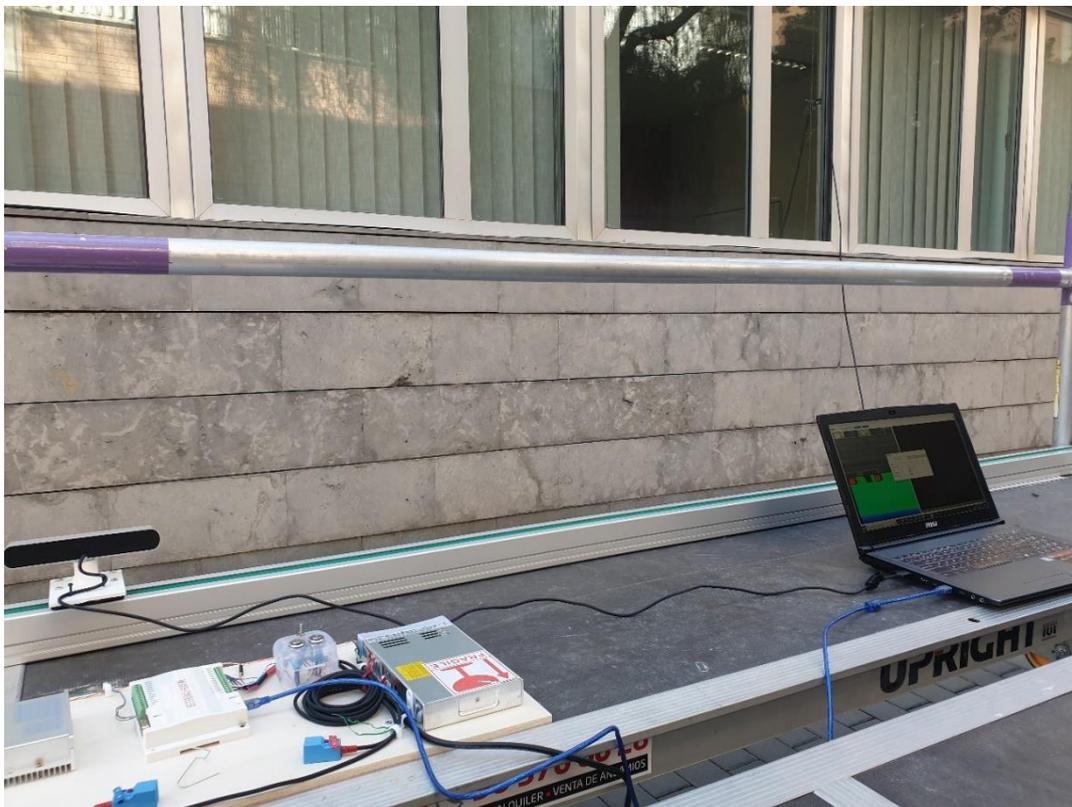


Ilustración 54: Toma de datos del edificio 1F de la UPV.

El actuador tiene una longitud de 2,60 metros e incorpora un software capaz de controlar el movimiento lineal, mediante la introducción de unos parámetros, como puede ser la velocidad continua, la longitud recorrida o el libre movimiento hacia derecha o izquierda.

El software del actuador ha permitido poder calibrar y controlar los distintos parámetros del funcionamiento de éste, así como validar la velocidad a la que se mueve.

En la ilustración (55) se observa cómo se puede regular y modificar el número de pasos del motor y la conversión a medidas lineales que tiene este modelo concreto. Ello permite verificar que el movimiento indicado es el correcto. Se puede observar el panel de control de los distintos sistemas predefinidos por el actuador, para poder definir diferentes tipos de movimientos posibles. En este caso interesaba poder definir una velocidad concreta y una distancia a recorrer.

Por último, en la ilustración (55) se muestran los diferentes parámetros necesarios para llevar a cabo la parte experimental del proyecto. Por un lado, la velocidad constante de movimiento y, por otro lado, la distancia a recorrer, que puede ser fija o libre, así como moverse en ambas direcciones.

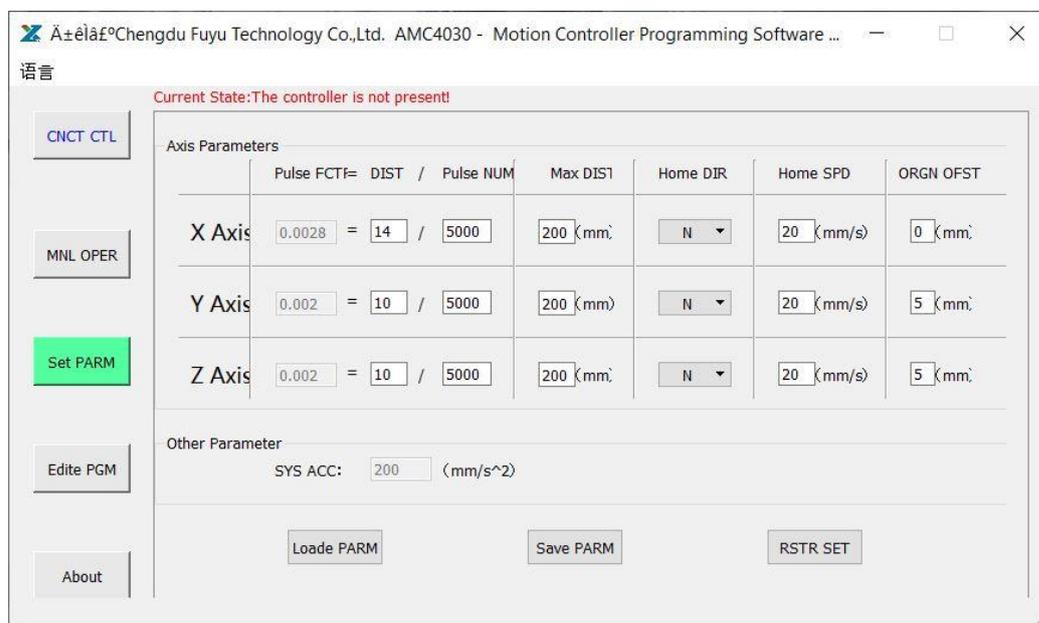


Ilustración 55: Pantalla de control actuador lineal.

Gracias a la utilización del andamio con ruedas, se pudo garantizar la estabilidad del actuador en la posición fija, a la vez que se facilitaba su desplazamiento, permitiendo nivelarlo y posicionarlo en paralelo a la superficie de inspección fácilmente.

Para colocar de manera segura los equipos sobre la base móvil del actuador, ha sido necesario diseñar y fabricar distintos elementos de acople mediante impresión 3D (Ilustraciones 8-16), puesto que cada aparato presenta un sistema de anclaje distinto o incluso hay algunos que no disponen de él, debido a que están pensados para manejarse de manera manual. La fabricación aditiva permite obtener piezas a medida en poco tiempo y con prestaciones mecánicas que superan las exigencias requeridas.

De esta manera, utilizando las medidas de cada uno de los instrumentos, se diseñaron los sistemas de anclaje específicos para mantener el instrumental seguro y en la posición deseada, al igual que permitir sujetar cables, y otros elementos necesarios para cada prueba.

Con estos diseños, se procedió a la impresión y verificación de las piezas. En algunos casos, tras la primera prueba fue necesario modificar el diseño y repetir la impresión. La ventaja de este método reside en el hecho de que basta con unas horas o un día para introducir los cambios y volver a fabricar la pieza, sin necesidad de tener que contar con fabricantes externos y métodos más lentos y económicamente inviables.

Se diseñaron un total de 4 fijaciones, 3 de ellas a medida para la fotografía de barrido, el georradar y la sonda magnética. En el caso de los escáneres y la cámara termográfica, por disponer de mismo sistema de fijación, se diseñó una sola pieza de unión.

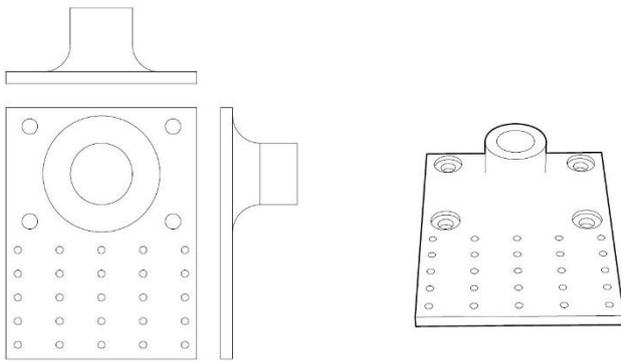


Ilustración 56: Soporte diseñado mediante impresión 3D para la cámara termográfica.



Ilustración 57: Pruebas de la cámara termográfica en el actuador.



Ilustración 58: Pruebas del escáner láser Pico Monstar.



Ilustración 59: Pruebas del escáner láser ZED.

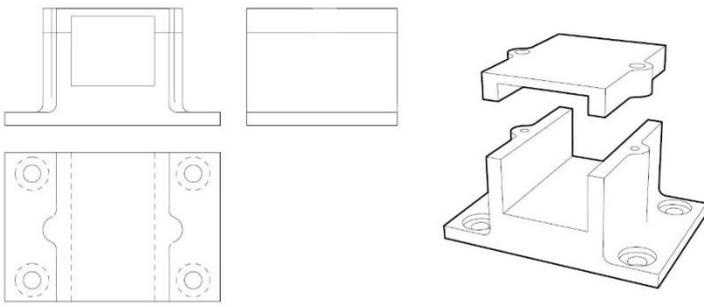


Ilustración 60: Soporte diseñado mediante impresión 3D para colocar la cámara.

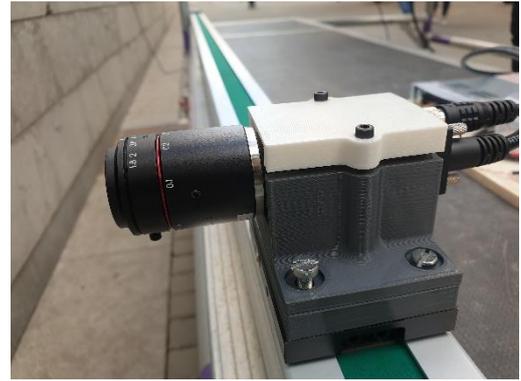


Ilustración 61: Pruebas de la cámara fotográfica sobre el actuador.

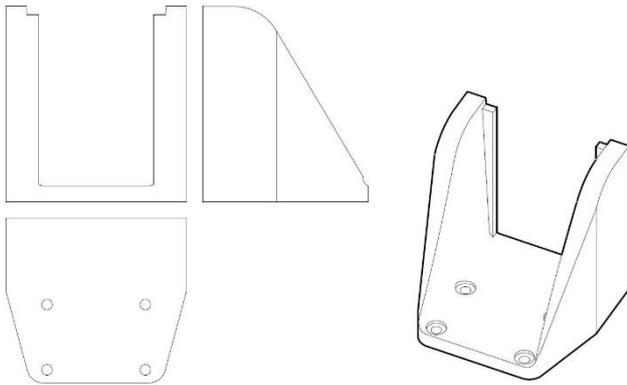


Ilustración 62: Soporte diseñado mediante impresión 3D para la sonda magnética.



Ilustración 63: Sonda magnética sobre actuador lineal.

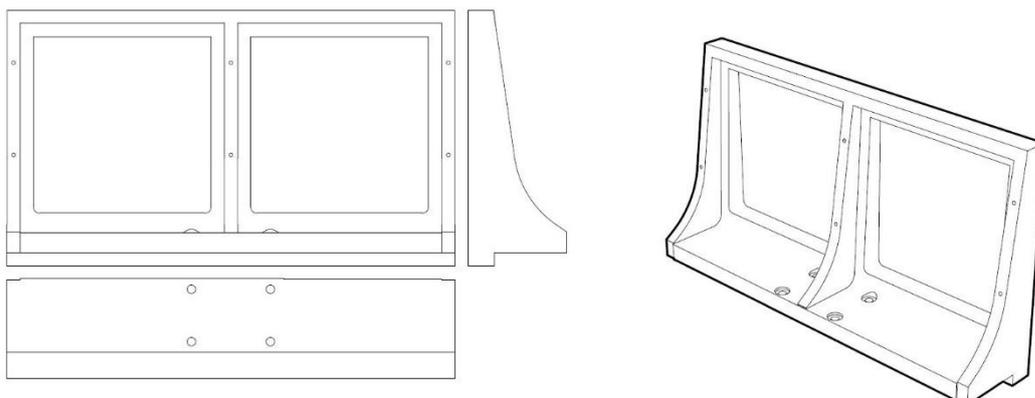


Ilustración 64: Soporte mediante impresión 3D para antenas del georadar.



Ilustración 65: Pruebas del georadar sobre el actuador lineal.

III.2.3. Validación de las técnicas de inspección elegidas

Una vez caracterizadas las técnicas de inspección en función de sus necesidades para operar y teniendo en cuenta también las limitaciones de los sistemas robotizados, se prepararon unos ensayos en laboratorio y pruebas de campo.

Los ensayos en laboratorio han sido utilizados para comprobar la compatibilidad entre el actuador y la velocidad de movimiento aplicada a los aparatos, pues era importante conocer si el hardware de cada una de las técnicas implantadas era compatible con el sistema de fijación en el actuador y su conexión con el ordenador portátil que recibe y almacena los datos de inspección.

Las pruebas de campo se realizaron en diversas fachadas, seleccionadas por su composición y estado.

A partir de la tipología de las fachadas seleccionadas para la investigación se identificaron los lugares para el desarrollo de la batería de ensayos.

III.2.3.1. Tipologías de fachada

Durante la primera parte del proyecto ROBIM se estudiaron las tipologías constructivas más significativas en el parque edificado de España, aglutinando toda esa información en unas fichas donde se recogían los datos necesarios para determinar cuáles son más relevantes para llevar a cabo la parte experimental de esta investigación.

Entre las tipologías de fachada estudiadas en las fichas, se han destacado por su relevancia para el proyecto de investigación, 4 sistemas constructivos:

- Fábrica vista (F1.A.0)
- Hormigón armado visto vertido in situ (F13.G.0)
- Revestimiento discontinuo adherido convencional y con aislamiento interior (F6.A.2)
- Fábrica de ladrillo cerámico con revoco exterior, convencional y con aislamiento interior (F3.A.1)

Dentro del campus de la Universitat Politècnica de València, existen diferentes edificios con estos acabados, además, algunos tienen lesiones visibles que los hacen más interesantes como objeto de investigación. Los edificios elegidos del campus son los siguientes:

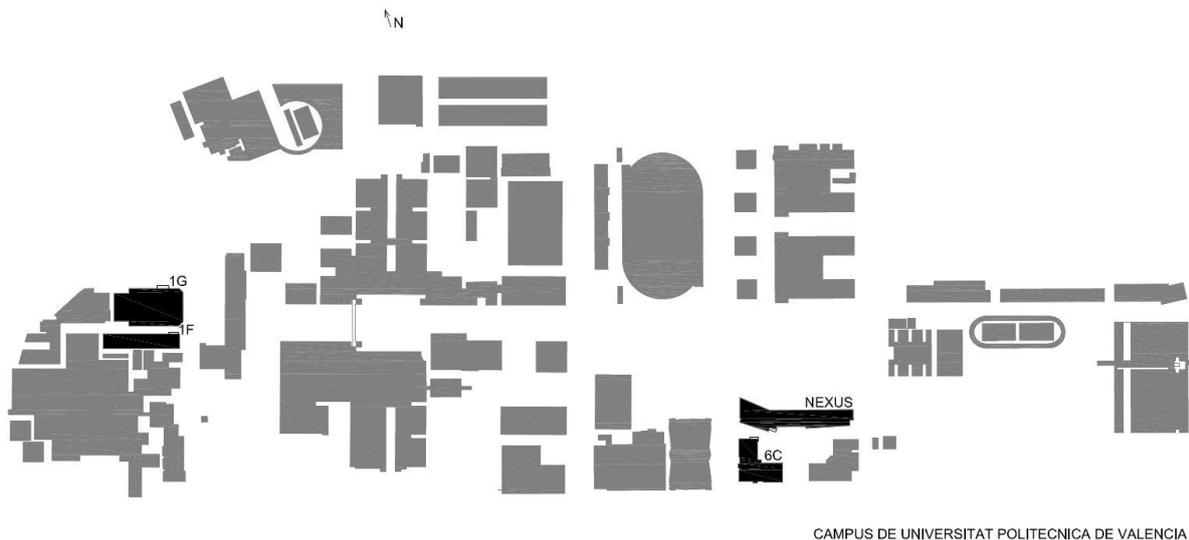


Ilustración 66: Esquema campus UVP.

Los edificios 1G y 1F forman parte de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, ambos edificios están compuestos por una estructura de hormigón armado a base de pórticos.

El 1G tiene un cerramiento de ladrillo perforado visto, a partir del nivel del alféizar de las ventanas de planta baja, que se sitúan a la cota de 1 metro. Bajo esta cota el cerramiento es un muro de hormigón que sirve de antepecho y apoyo a las ventanas.

El siguiente tramo de fachada es el que se ha utilizado para probar las técnicas con la categoría de fachada con acabado de hormigón armado visto vertido in situ (F13.G.0).

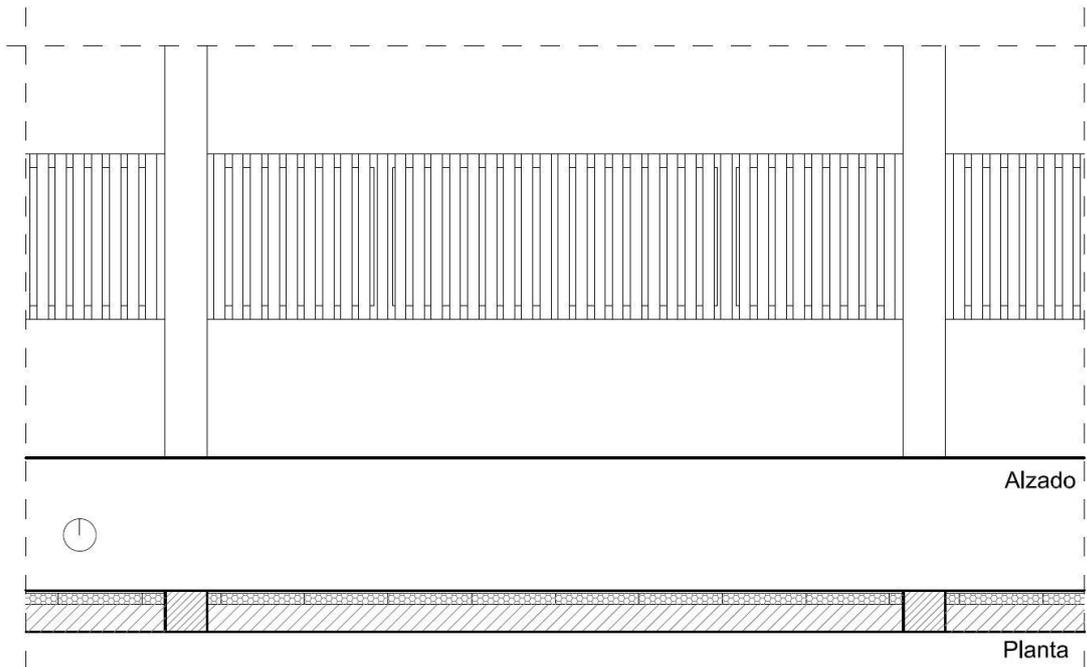


Ilustración 67: Planta y alzado edificio 1G.

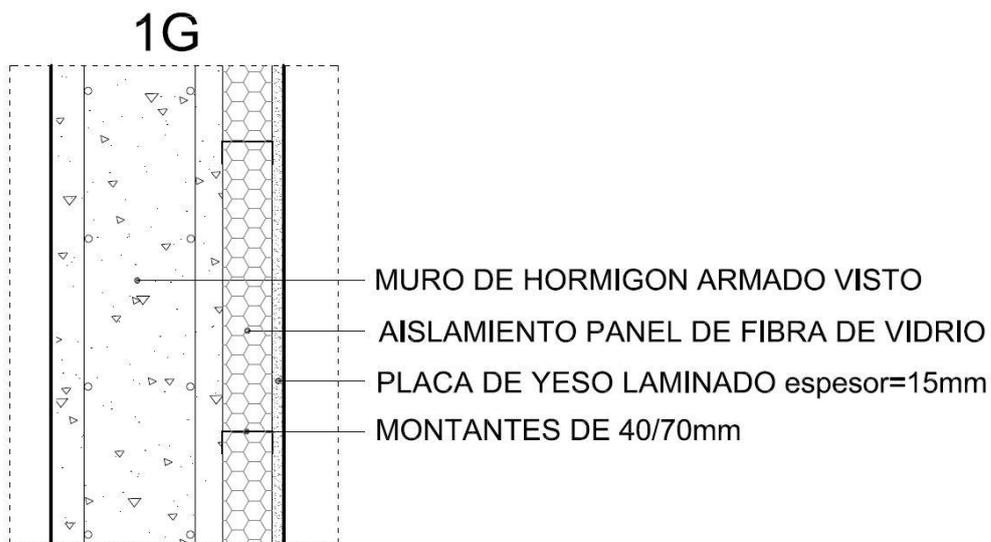


Ilustración 68: Sección constructiva 1G.



Ilustración 69: Fotografía del edificio 1G.

El edificio 1F está compuesto por una fachada multicapa, cuya lámina resistente es una hoja de ladrillo perforado de medio pie, sobre la que se sujeta el aplacado pétreo; en la cara interior hay un trasdosado autoportante de cartón yeso, donde se ha colocado el aislamiento térmico.

La parte de fachada analizada es la hoja exterior como revestimiento discontinuo adherido convencional y con aislamiento interior (F6.A.2)

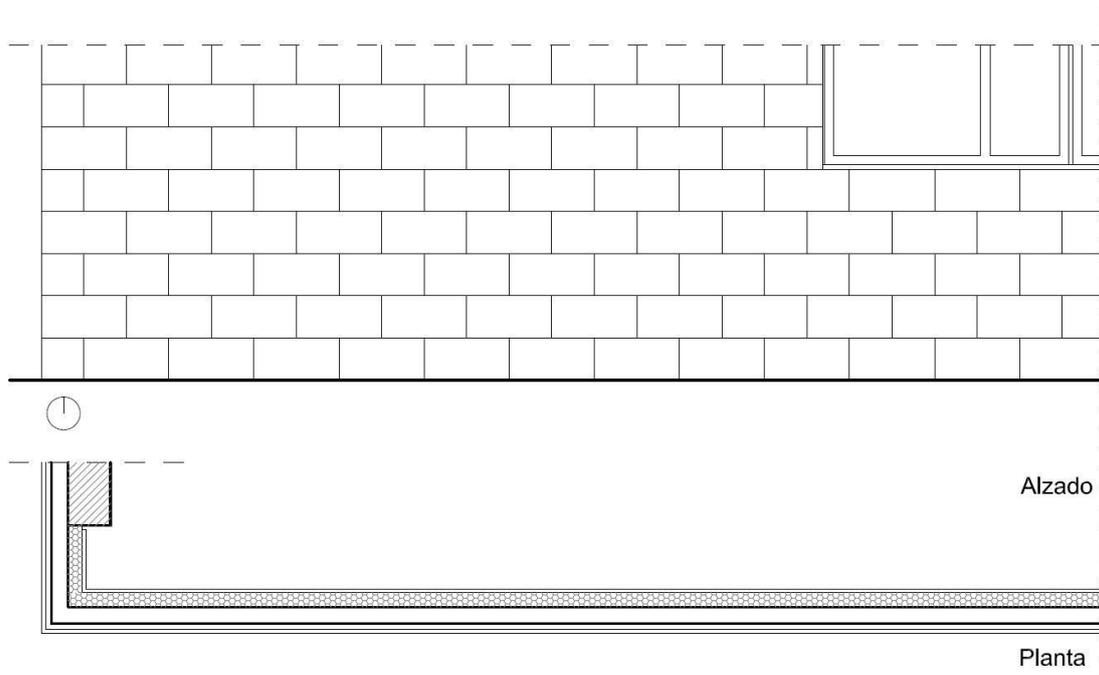


Ilustración 70: Planta y alzado edificio 1F.

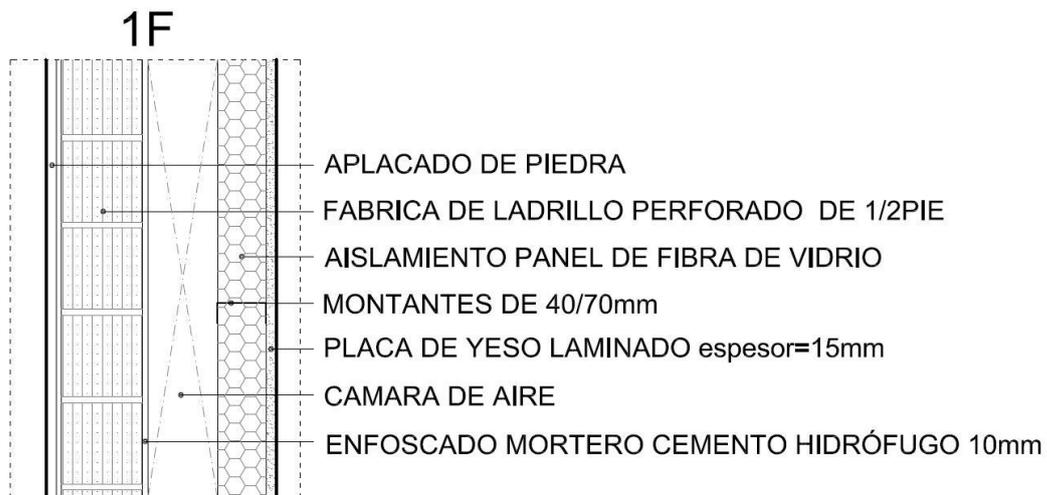


Ilustración 71: Sección constructiva 1F.

El siguiente edificio analizado fue el 6C. Es un edificio de laboratorios con planta en forma de "L", construido por pórticos de hormigón armado y fachada de fábrica vista no portante (F1.A.0).

La inspección se desarrolló en la fachada norte, donde se encuentra un pequeño almacén de maquinaria de instalaciones del edificio. La fachada está compuesta por dos capas, la exterior de ladrillo visto de medio pie de espesor, con una cámara de aire, y una hoja interior de ladrillo hueco con un enlucido.

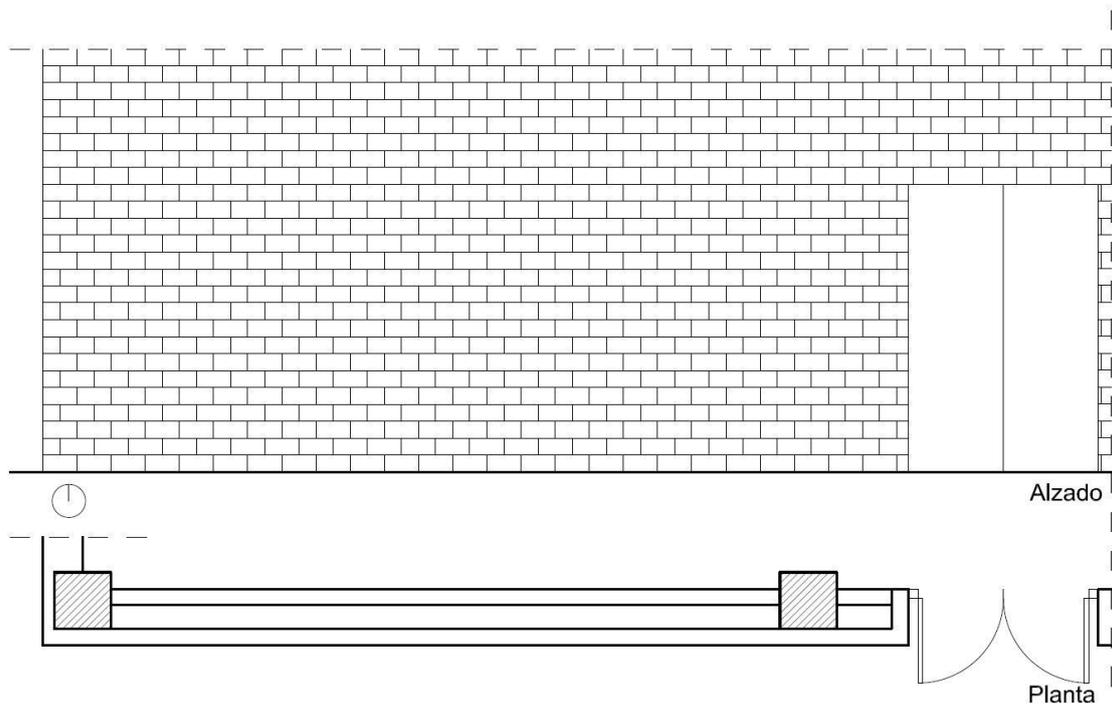


Ilustración 72: Planta y alzado edificio 6C.

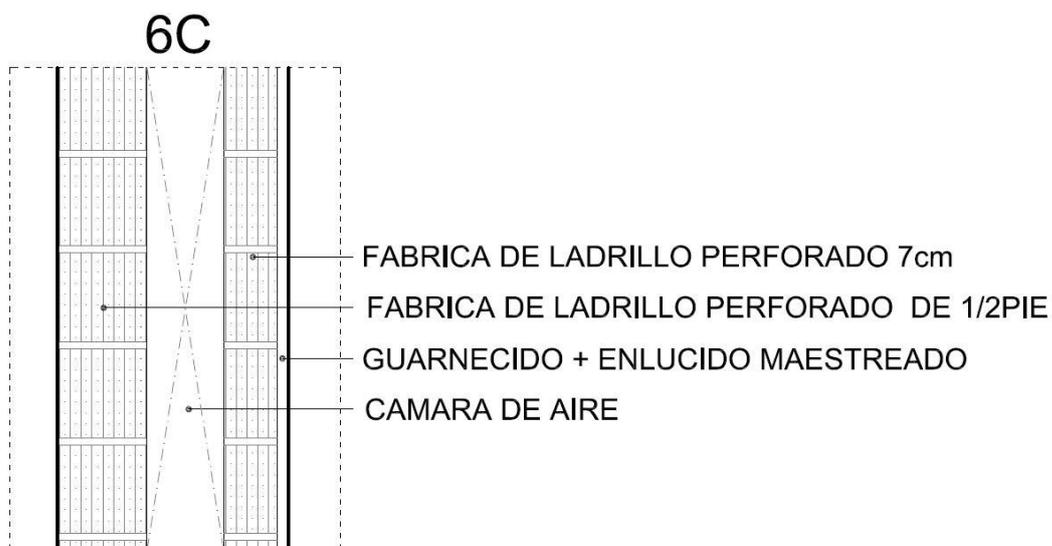


Ilustración 73: Sección constructiva edificio 6C.



Ilustración 74: Fotografías del edificio 6C.

El último edificio analizado fue el conocido como “Edificio Nexus”. Este edificio tiene un uso de oficinas de administración de la propia universidad. También cuenta con un salón de actos en la planta baja. Las fachadas están compuestas por distintos tipos de cerramientos, tienen un revestimiento de aplacado anclado mecánicamente en la planta baja y un revestimiento continuo en el resto de las plantas, excepto en parte de la fachada sur, que desaparece el aplacado, siendo el acabado un mortero continuo de color blanco. El tipo de acabado según se define en el proyecto es fábrica de ladrillo cerámico con revoco exterior convencional y con cámara de aire (F3.A.1).

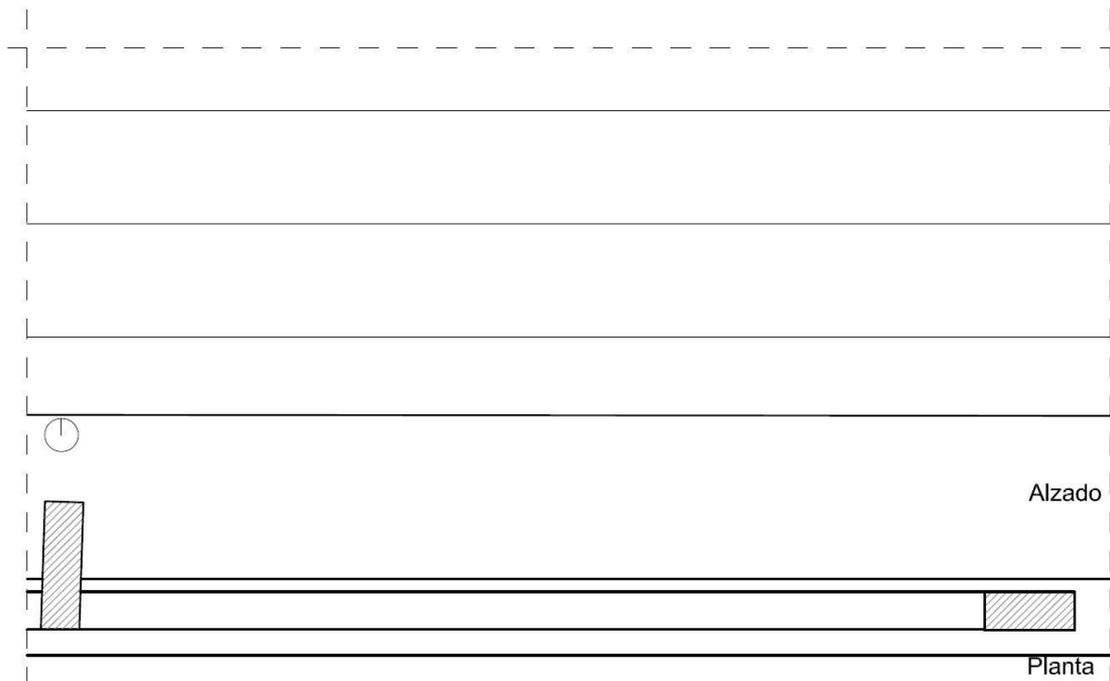


Ilustración 75: Planta y alzado edificio NEXUS.

NEXUS

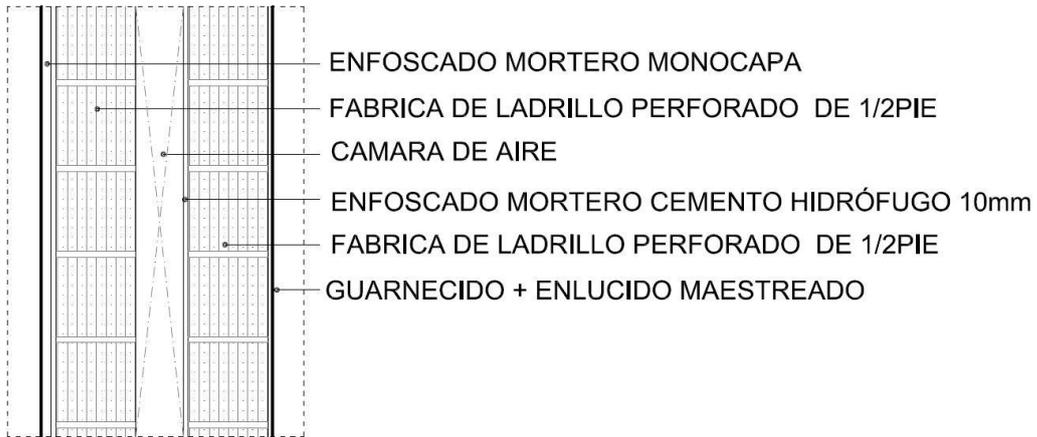


Ilustración 76: Sección constructiva edificio NEXUS.



Ilustración 77: Fotografías de edificio NEXUS.

III.2.3.2. Resultados de las técnicas de inspección en campo

Una vez obtenida la calibración y testadas en el laboratorio las velocidades aproximadas para cada una de las técnicas de inspección, teniendo en cuenta las separaciones de la fachada en las que cada una de las tecnologías es óptima para su cometido, se realizan las pruebas de campo.

En la ilustración (77) se puede observar un esquema gráfico de los ensayos, donde se aprecian diferentes aspectos, como la tipología constructiva del edificio ensayado y las separaciones a la fachada que se han preparado para cada una de las técnicas, así como el recorrido de cada prueba en el actuador.

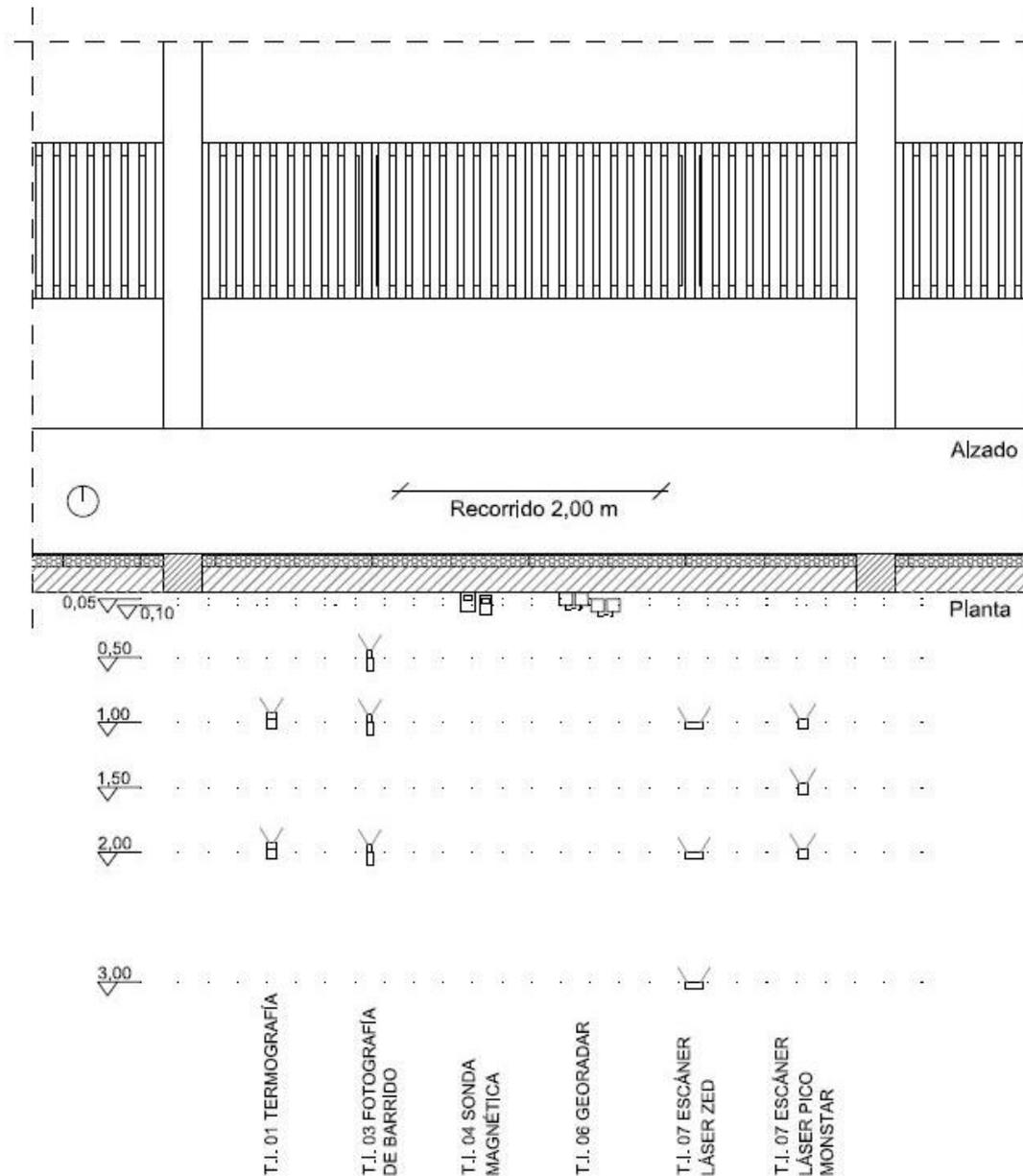


Ilustración 78: Esquema de los ensayos, planta y alzado donde se detallan las separaciones a la fachada de cada técnica de inspección.

Es importante entender que hay dos grupos diferenciados: las técnicas que toman datos a una separación entre 0,5 y 3 m y los que operan prácticamente tocando la fachada.

El objetivo del ensayo es fundamentalmente conocer la separación y velocidad óptima para cada técnica de inspección. Por tanto, se deben filtrar los resultados para identificar aquéllos que dan más información al técnico que debe evaluar y diagnosticar la fachada analizada.

Después de realizar este trabajo se pueden ordenar los resultados en las matrices generadas en cada técnica, en las filas de la matriz encontramos las velocidades a las que se han generado las pruebas y en las columnas las separaciones de la fachada.

Estas matrices hacen más sencilla la comparación cualitativa de los resultados y permiten que los expertos en las distintas materias puedan declinarse por los parámetros más adecuados, para implementar en el robot, a la hora de diagnosticar las lesiones existentes en los paramentos.

[T.I.01] TERMOGRAFÍA

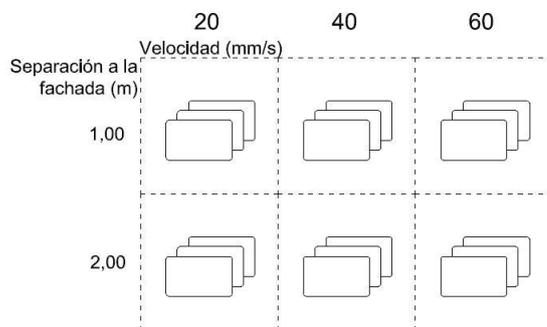
El objetivo con esta cámara es realizar un barrido de toda la fachada y obtener un modelo termográfico completo a partir de múltiples fotos para identificar lesiones.

Metodología

Para desarrollar el proceso de reconstrucción fotográfica, se hicieron pruebas capturando imágenes a dos distancias de la fachada y tres velocidades distintas.

Las distancias elegidas fueron 100 y 200 centímetros de separación de la fachada, que es el rango óptimo de funcionamiento del sistema ROBIM, y las velocidades fueron 20, 40 y 60 milímetros por segundo, que es el rango de velocidad del sistema.

T.I. 01 TERMOGRAFÍA



Esto generó 6 resultados distintos que se verificaron para identificar los efectos de la distancia y velocidad en la calidad de los resultados.

Ilustración 79: Esquema matriz de ensayos de la termografía.

Las secuencias de imágenes se analizaron para identificar posibles problemas y desajustes, y se ha desarrollado un proceso para corregirlos.

Con las imágenes corregidas se ha empleado un programa que, en modo automático, reconstruya la fachada a partir de las imágenes individuales.

Por último, se ha verificado mediante análisis cuantitativo y cualitativo que los resultados sean correctos para el objetivo de identificar lesiones en fachadas.

Implementación

Este tipo de cámaras se utiliza para realizar inspecciones con drones, y han sido diseñadas para capturar un amplio campo con el fin de facilitar la visualización, aunque esto introduce una distorsión significativa en las imágenes. La distorsión no suele ser un problema cuando se hace una inspección cualitativa de las imágenes, donde un técnico puede visualizar e interpretar la información a tiempo real, por lo que es preferible tener la mayor información posible dentro de la escena. Pero para la implementación, presenta un desafío significativo al momento de intentar hacer una reconstrucción de múltiples imágenes.

El análisis de las imágenes individuales ha determinado la distorsión y cambio cromático para poder corregir en modo sencillo todas las adquisiciones realizadas con esta cámara.

La principal distorsión morfológica causada por la lente es una distorsión de Barril de 40%. Este tipo de distorsión contrae la imagen en un 40% en sus diagonales, haciendo parecer más grande lo que está cerca del centro.

Para corregir este problema se realiza una deformación en el sentido opuesto, estirando las esquinas, hasta enderezar todas las líneas que aparecen curvas en la imagen pero que deberían ser rectas. En este caso, se toma como referencia la línea horizontal que atraviesa toda la imagen y se compensa la deformación hasta llegar a una línea recta.

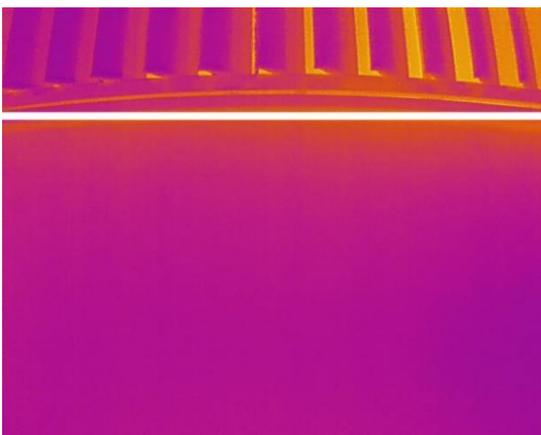


Ilustración 80: Imagen con deformación de barril

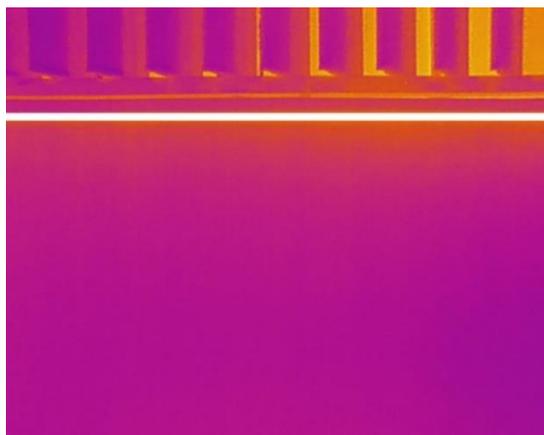


Ilustración 81: Imagen corregida.

Además de la deformación, las imágenes presentan también inconsistencia cromática. Esta es menos apreciable en imágenes individuales, pero al momento de intentar empalmarlas, se vuelve evidente el problema.

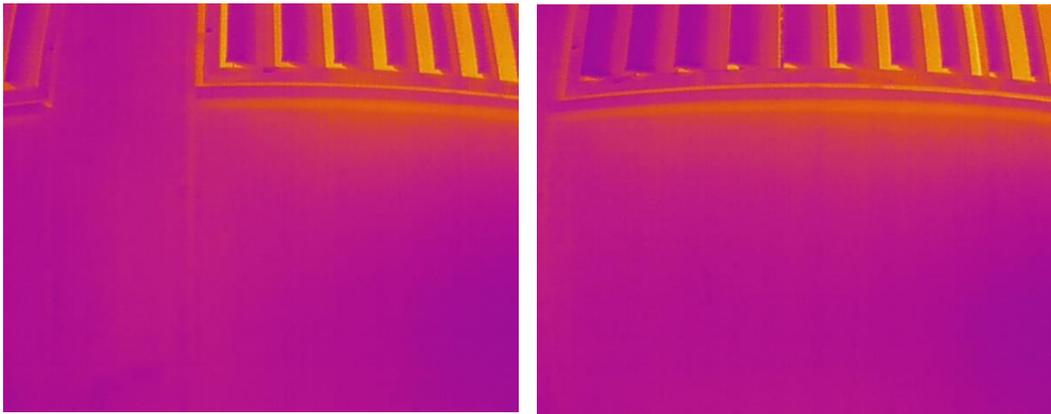


Ilustración 82: Imágenes térmicas capturas con un 50% de solape.

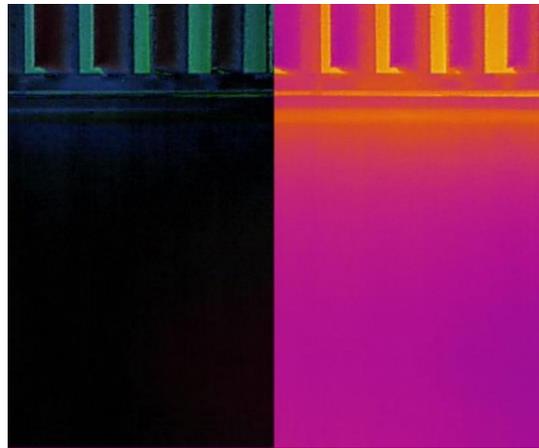


Ilustración 83: Variación cromática.

Para hacer la reconstrucción de la fachada a partir de múltiples imágenes, se desarrolló un proceso automatizado. Este proceso empieza por usar la zona central de la imagen que es la que menos distorsión y problemas cromáticos presenta, utilizándola para identificar cuanto desplazamiento hay entre imágenes consecutivas. Esto se llama “flujo óptico”.

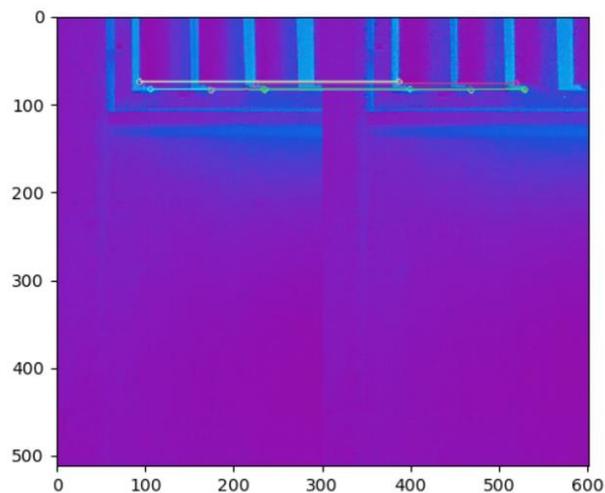


Ilustración 84: Análisis del flujo óptico.

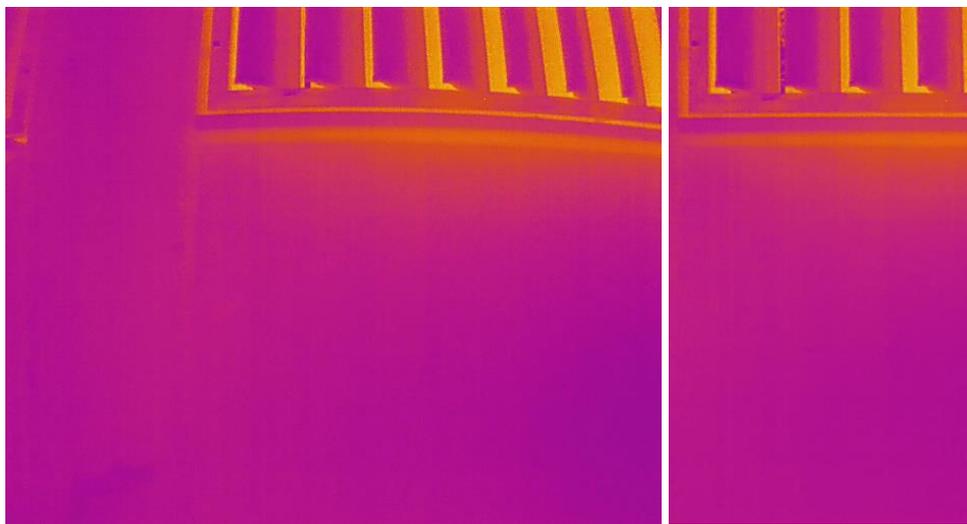


Ilustración 85: Frame completo, sección del flujo óptico.

Con el flujo óptico medido, se utiliza una fracción de la imagen del tamaño igual al desplazamiento para usar en la reconstrucción.

Esta estrategia no requiere mucho procesamiento y tiene un resultado bastante predecible, pero tiene algunas limitaciones que se debieron superar. La más significativa es que una sección central pequeña puede ser insuficiente para identificar el flujo óptico.

Esta dificultad se magnifica debido a que las imágenes termográficas suelen tener muy baja resolución, por lo que, en fachadas con pocos detalles, puede ser difícil calcular el desplazamiento.

Para compensar, se pueden utilizar tres fuentes de información adicional para el posicionamiento:

La primera es la odometría del sistema, que da una posición aproximada.

Una segunda verificación del posicionamiento puede ser el análisis de flujo óptico utilizando una sección más grande de la imagen termográfica. Esto dará el vector de desplazamiento, pero se utilizará solamente el fragmento central de mejor calidad.

Tercero, se puede utilizar la información de desplazamiento obtenida de la cámara de barrido, que tiene mayor resolución y ya se ha realizado para la reconstrucción con esas imágenes.

Para hacer el análisis y reconstrucción más independiente, se opta por utilizar inicialmente la información de las imágenes termográficas y usar las otras tres coordenadas como sistema de respaldo en caso de superficies de difícil análisis.

En esta imagen se ve la coincidencia de puntos clave usando una sección de solo 300 píxeles de ancho con una corrección de barril. Con esto es suficiente para determinar el flujo óptico y posteriormente posicionar solo una franja estrecha en el punto correcto.

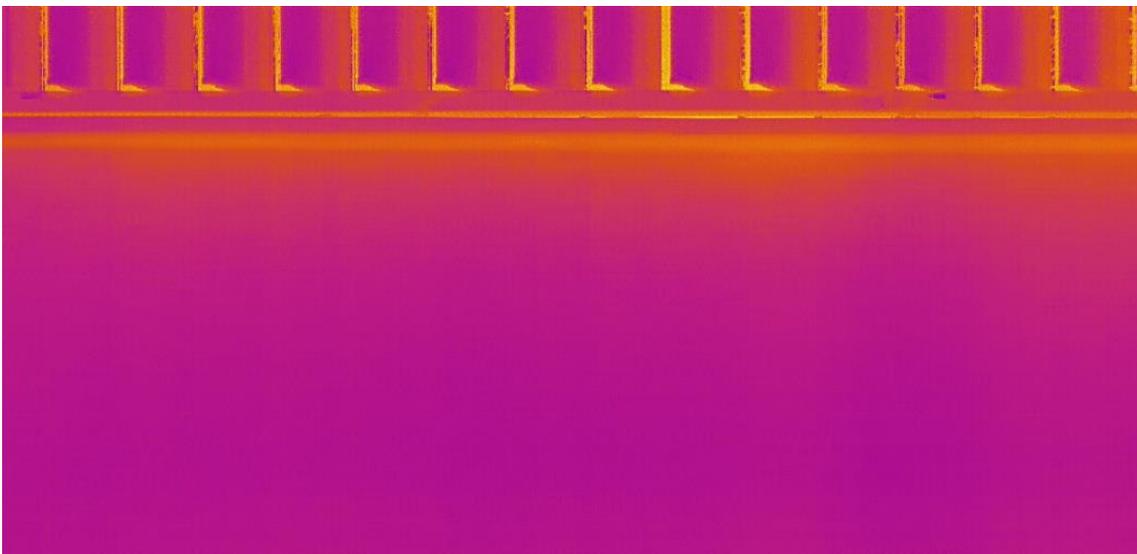
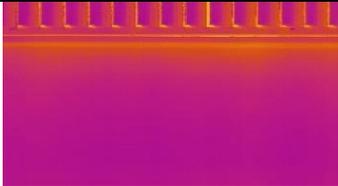
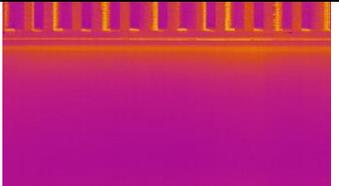
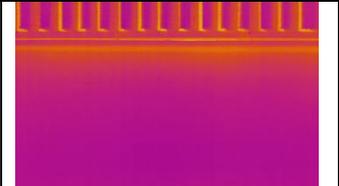
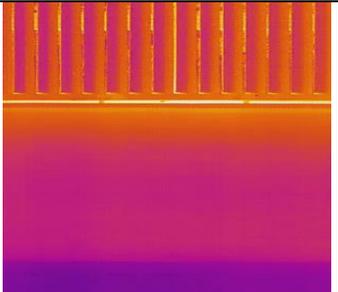
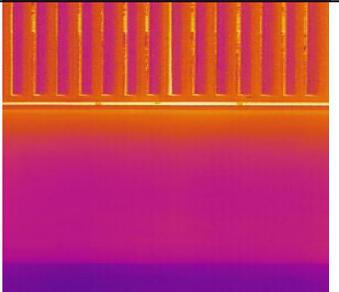
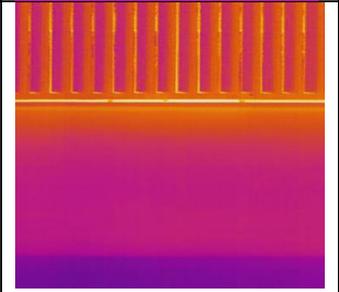


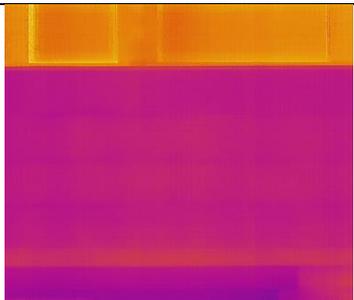
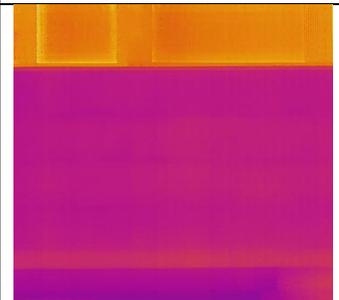
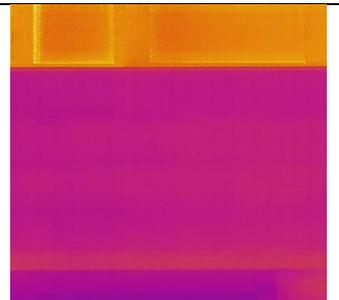
Ilustración 86: Reconstrucción panorámica final.

El resultado es el posicionamiento correcto de la secuencia de imágenes con mínima distorsión, consistencia cromática y mínimo procesamiento.

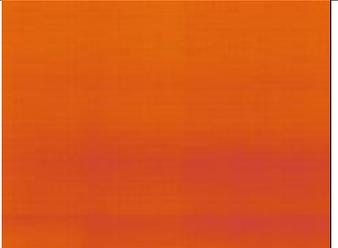
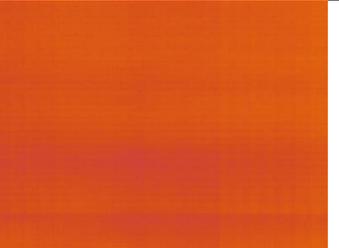
Resultados:

1G	20 mm/s	40 mm/s	60 mm/s
1m			
2m			

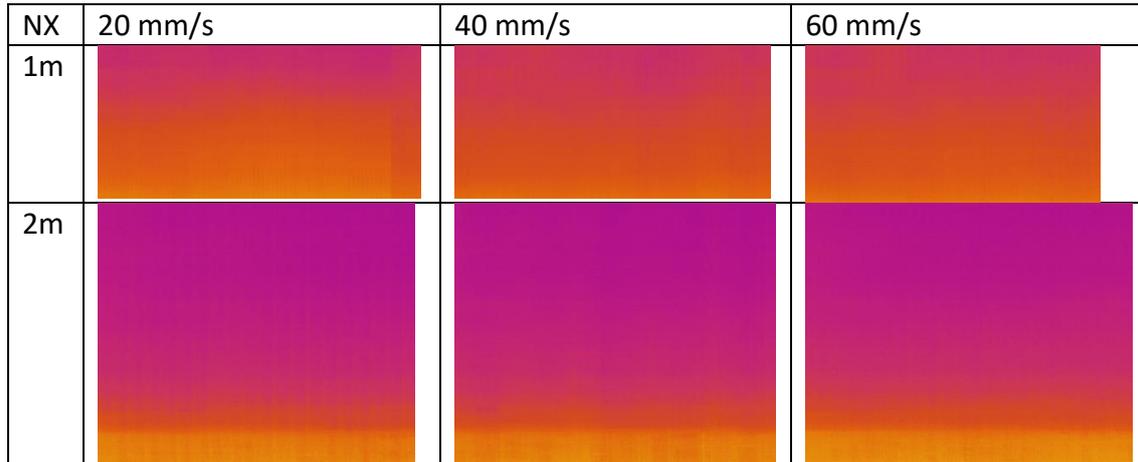
Edificio 1F

1F	20 mm/s	40 mm/s	60 mm/s
1 m			

Edificio 6C

6C	20 mm/s	40 mm/s	60 mm/s
1m			
2m			

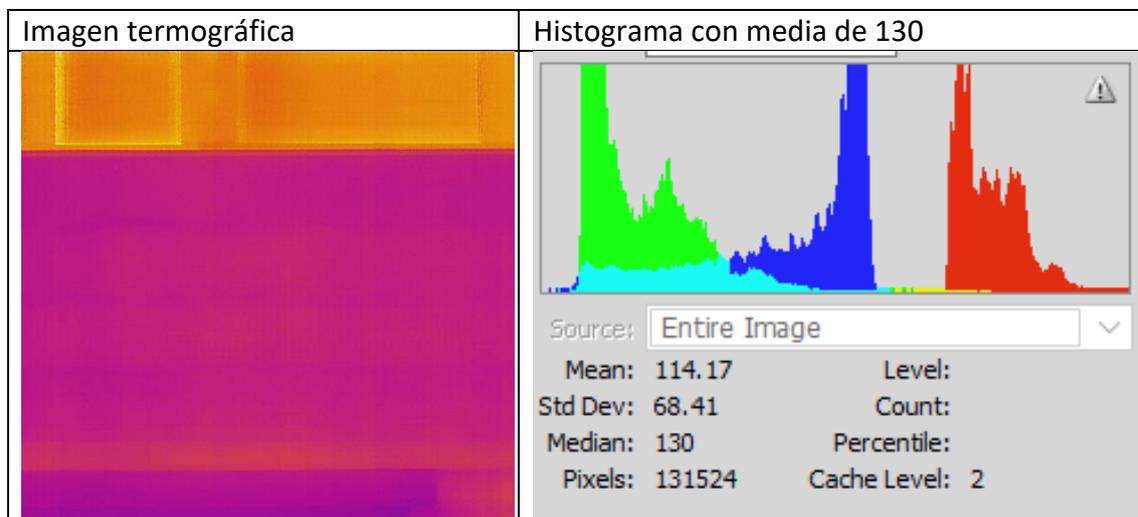
Edificio Nexus



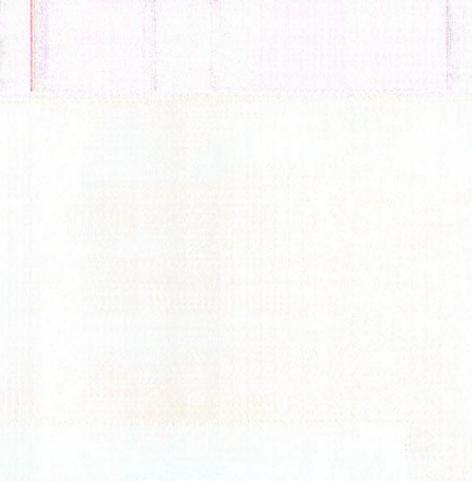
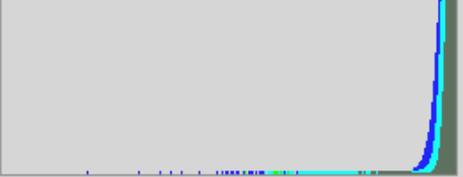
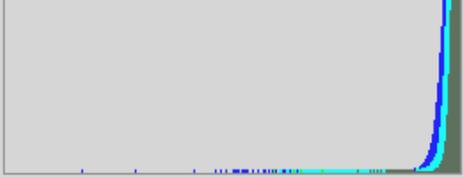
Análisis cuantitativo

El análisis realizado fue una substracción de imágenes y cuantificación del resultado para determinar la desviación, donde 0 sería ninguna similitud y 255 implicaría imágenes idénticas.

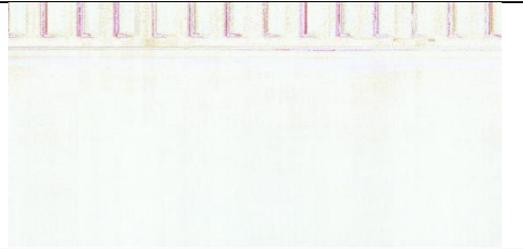
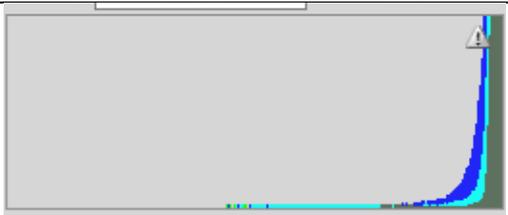
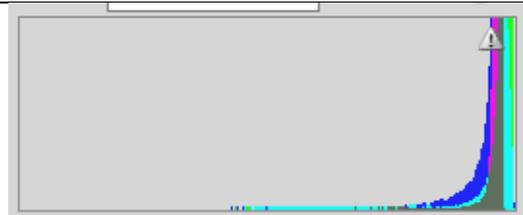
Las imágenes del residuo son casi completamente blancas, lo que indica gran similitud: solo se identifican algunas bandas en zonas de fuerte transición donde el sensor de la cámara termográfica tiene problemas para calibrarse a velocidades más altas, pero incluso en el caso de la máxima velocidad, esto solo representa una sutil diferencia respecto a la mínima velocidad.



Edificio 1F a 1 metro

1F	20mm/s vs 40mm/s	20mm/s vs 60mm/s																
Variación																		
Histograma	 <p>Source: <input type="text" value="Entire Image"/> ▾</p> <table border="0"> <tr> <td>Mean: 251.09</td> <td>Level:</td> </tr> <tr> <td>Std Dev: 4.11</td> <td>Count:</td> </tr> <tr> <td>Median: 252</td> <td>Percentile:</td> </tr> <tr> <td>Pixels: 296960</td> <td>Cache Level: 1</td> </tr> </table>	Mean: 251.09	Level:	Std Dev: 4.11	Count:	Median: 252	Percentile:	Pixels: 296960	Cache Level: 1	 <p>Source: <input type="text" value="Entire Image"/> ▾</p> <table border="0"> <tr> <td>Mean: 251.06</td> <td>Level:</td> </tr> <tr> <td>Std Dev: 4.66</td> <td>Count:</td> </tr> <tr> <td>Median: 252</td> <td>Percentile:</td> </tr> <tr> <td>Pixels: 241664</td> <td>Cache Level: 1</td> </tr> </table>	Mean: 251.06	Level:	Std Dev: 4.66	Count:	Median: 252	Percentile:	Pixels: 241664	Cache Level: 1
Mean: 251.09	Level:																	
Std Dev: 4.11	Count:																	
Median: 252	Percentile:																	
Pixels: 296960	Cache Level: 1																	
Mean: 251.06	Level:																	
Std Dev: 4.66	Count:																	
Median: 252	Percentile:																	
Pixels: 241664	Cache Level: 1																	

Edificio 1G a 1 metro

1G	20mm/s vs 40mm/s	20mm/s vs 60mm/s
Variación		
Histograma	 <p>Source: Entire Image</p> <p>Mean: 250.15 Level:</p> <p>Std Dev: 7.62 Count:</p> <p>Median: 252 Percentile:</p> <p>Pixels: 115200 Cache Level: 2</p>	 <p>Source: Entire Image</p> <p>Mean: 246.70 Level:</p> <p>Std Dev: 8.38 Count:</p> <p>Median: 248 Percentile:</p> <p>Pixels: 115200 Cache Level: 2</p>
Media	248	248

Edificio 6C a 1 metro

	20mm/s vs 40mm/s	20mm/s vs 60mm/s
Variación		
Histograma	<p>Source: Entire Image Mean: 250.71 Level: Std Dev: 4.68 Count: Median: 252 Percentile: Pixels: 273600 Cache Level: 1</p>	<p>Source: Entire Image Mean: 250.56 Level: Std Dev: 4.61 Count: Median: 252 Percentile: Pixels: 273600 Cache Level: 1</p>
Media	252	252

Edificio NX a 1 metro

	20mm/s vs 40mm/s	20mm/s vs 60mm/s
Variación		
Histograma	<p>Source: Entire Image Mean: 246.00 Level: Std Dev: 7.05 Count: Median: 248 Percentile: Pixels: 273600 Cache Level: 1</p>	<p>Source: Entire Image Mean: 247.65 Level: Std Dev: 5.91 Count: Median: 249 Percentile: Pixels: 273600 Cache Level: 1</p>
Media	248	249

Como conclusión de estas pruebas, se determina que la velocidad y distancia no han afectado la calidad de las imágenes ni la eficiencia del programa de reconstrucción, por lo que no hay limitaciones técnicas para usar cualquier combinación de distancia o velocidad entre 1 y 2 metros a 20 y 60 milímetros por segundo.

Análisis cualitativo

En cuanto al análisis cualitativo, se ha desarrollado una serie de consultas a expertos, donde los datos obtenidos en los ensayos han sido mostrados y extraído ciertas conclusiones.

Debido a la utilización de una cámara no radiométrica, las imágenes carecen de datos necesarios para su análisis en profundidad, pues el rango de temperaturas es fijo, y no pueden ser válidas para la obtención de conclusiones relativas a la inspección.

En la mayoría de las imágenes analizadas no existen saltos térmicos significativos, con lo que es difícil identificar lesiones en las imágenes térmicas.

Conclusiones

Las conclusiones globales de la cámara termográfica, teniendo en cuenta los datos arrojados por los análisis cuantitativos y cualitativos son los siguientes:

- La velocidad no ha modificado la calidad de las imágenes tomadas con la termografía, pues como puede verse en el estudio analítico no hay diferencia en la desviación de píxeles de las imágenes.

- La separación a la fachada solo ha alterado el tamaño de la imagen, puesto que los rangos en los que se han realizado los ensayos no han modificado la precisión ni la desviación.

En definitiva, la implementación de este aparato en el sistema robotizado, dentro de los rangos estudiados no merma la calidad de los datos obtenidos, y puede operar a una velocidad entre los 20 y 60 mm/s a una distancia entre 1 y 2 metros de separación de la fachada, rangos para los que está preparado el sistema ROBIM. Sin embargo, es importante destacar que la calidad de las imágenes por sí mismo de esta técnica de inspección, con esta cámara en concreto, no aporta toda la información que se esperaba, por lo que se debe considerar cambiar la cámara por otro modelo idéntico, pero con la herramienta radiométrica incorporada.

[T.1.03] FOTOGRAFÍA DE BARRIDO

La imagen de la fachada completa se realiza mediante una reconstrucción fotográfica usando múltiples imágenes de zonas más pequeñas. Estas imágenes se adquieren mediante cámaras digitales RGB.

Para aplicaciones en robótica y en la industria, diferentes marcas comerciales han desarrollado cámaras compactas de alta calidad donde la fiabilidad y la consistencia de imagen es lo más importante.

El objetivo con esta cámara es tener imágenes de alta resolución para poder hacer una reconstrucción de la fachada completa usando un algoritmo automático, para poder obtener un resultado que permita el análisis de la condición de la fachada por parte de expertos.

Metodología

Para desarrollar el proceso de reconstrucción, se hicieron pruebas capturando imágenes a tres distancias de la fachada y seis velocidades distintas.

Las distancias elegidas fueron 50 (que es la distancia mínima de enfoque del lente), 100 y 200 cm de separación de la fachada, que es el rango óptimo de funcionamiento del sistema ROBIM, y las velocidades fueron 10, 20, 30, 40, 50 y 60 milímetros por segundo, que es el rango de velocidad del sistema.

Esto generó 18 resultados distintos que se verificaron para identificar los efectos de la distancia y velocidad en la calidad de los resultados. Al ser una de las reconstrucciones con mayor peso para el desarrollo del estudio, se decidió hacer un análisis más amplio que el resto de las tecnologías.

Además, se necesitó verificar los ángulos del campo de visión (FoV), para comprobar la fiabilidad del cálculo del número de fotografías necesario para cubrir toda la superficie de la fachada.

Un factor importante para el correcto funcionamiento de la cámara es determinar los parámetros de adquisición. Éstos se deben elegir para balancear todas las variables que

influyen en la captura, como es la cantidad de luz, el tamaño del detalle más pequeño y la velocidad del movimiento del sistema.

El primer parámetro que se define es el tiempo de exposición mínimo para poder obtener una imagen con suficiente luminosidad en un entorno exterior durante el día. El tiempo de exposición debe ser lo más breve posible para evitar una imagen borrosa por el movimiento de la cámara.

Este tipo de cámaras tiene un enfoque manual, lo que evita un desenfoque accidental y estandariza el enfoque en toda la adquisición, pero debe ser establecido previamente según la distancia de trabajo.

Para poder mantener coherencia entre todas las imágenes y garantizar un adecuado funcionamiento de los algoritmos es importante tener todos los parámetros fijos al momento de realizar la captura, pero para poder facilitar la visualización en caso de que las imágenes tengan más o menos iluminación, se puede modificar el parámetro de Gamma, que aumenta o disminuye el brillo de la imagen sin cambiar ningún parámetro de adquisición. La cámara de fotografía de barrido ha sido analizada ubicándola a tres separaciones de la fachada y a seis velocidades, con lo que se generaron una serie de imágenes en cada cuadro de una matriz de 3 por 6.

T.I. 03 FOTOGRAFÍA DE BARRIDO

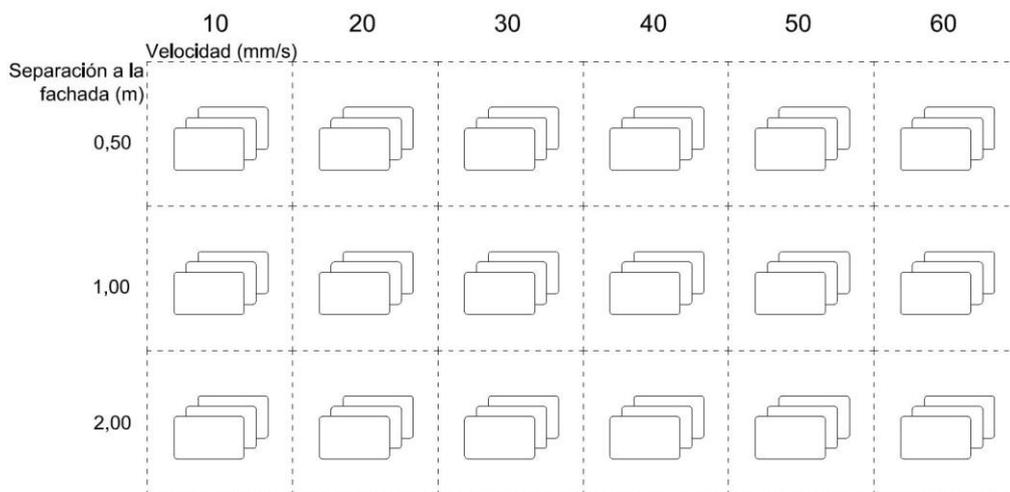


Ilustración 87: Esquema matriz de ensayos de la fotografía de barrido.

Los parámetros de la cámara para cada toma han sido los siguientes:

- Gamma (brillo), que se ha fijado en 0,75 en todas las tomas.
- La apertura del objetivo en F4.
- El tiempo de exposición en 3000 microsegundos.

Otros de los parámetros fijados han sido:

Para poder tener resultados homogéneos, se han conservado todos los parámetros de adquisición en todas las pruebas.

Se ha fijado la velocidad de 5 cuadros por segundo (fps) para todas las capturas, y el número de cuadros de cada toma ha variado en función de la velocidad, con el fin de obtener un número suficiente de imágenes para cubrir toda la fachada analizada.

En este sentido se decidió extraer 75fps para la velocidad de 10 mm/s; 50 fps para la velocidad de 20 mm/s y 30 mm/s; y 30fps para el resto de las velocidades.

Por último, el parámetro que ha sido modificado en función de las separaciones a la fachada ha sido el enfoque, que se regula hasta obtener el mejor resultado.

Implementación

La reconstrucción de la fachada utilizando imágenes individuales es un aspecto importante del proceso.

El punto de partida son imágenes que tengan al menos un 25% de solape y sin distorsión significativa, esto se consigue con una distancia focal moderada, un lente y sensor de buena calidad y manteniendo el sensor en paralelo a la fachada.

El procedimiento para reconstruir la fachada a partir de varios fragmentos más pequeños es mediante un programa de reconocimiento de puntos clave, que son zonas de cambio de contraste o color.

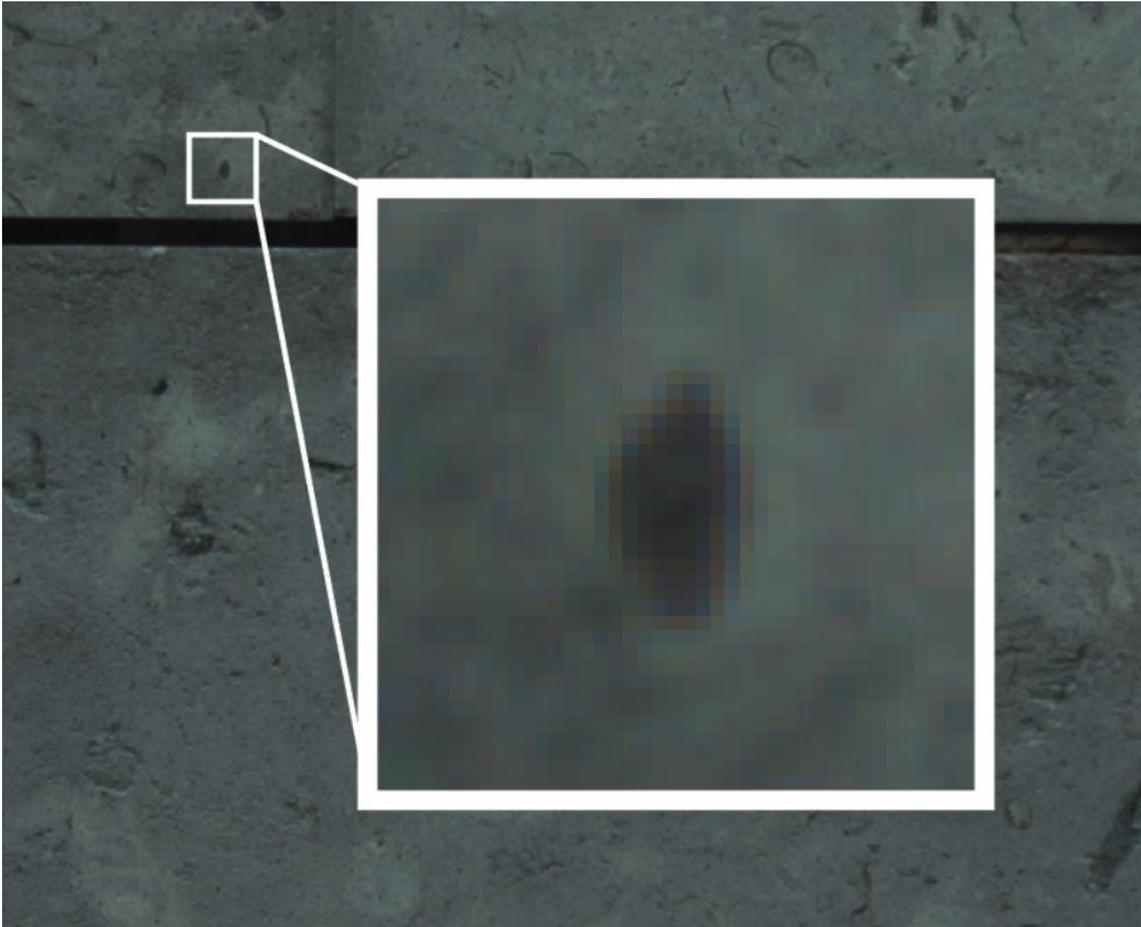


Ilustración 88: Ejemplo de un punto clave.

Con los puntos clave de cada imagen identificados, el algoritmo procede a comparar en todas las demás imágenes los puntos clave que tienen la misma característica y disposición.

Una vez el algoritmo identifica otra imagen que comparte los mismos puntos clave, se procede a posicionar las imágenes para que estos puntos coincidan. De esta manera, cada vez que el programa identifica puntos en común irá añadiendo las siguientes imágenes a la reconstrucción.

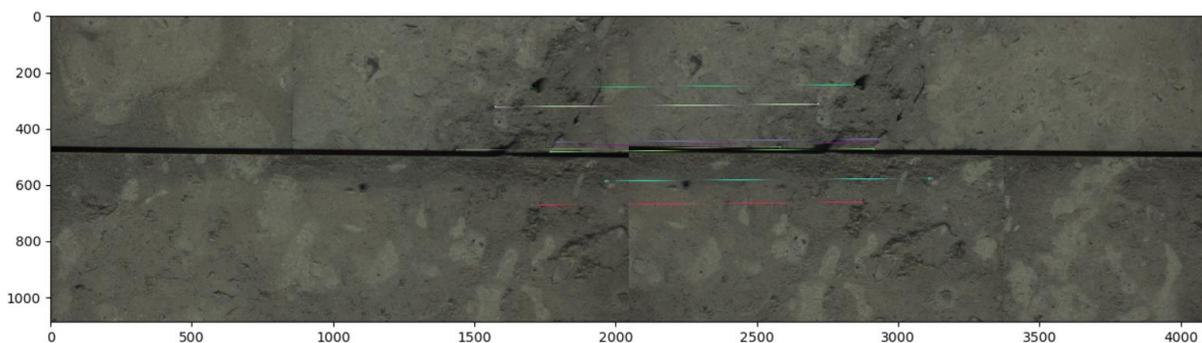


Ilustración 89: Flujo óptico de las imágenes.

Existen muchas técnicas, algoritmos y programas para desarrollar este procedimiento, y se eligieron los más apropiados según las características de las imágenes obtenidas.

En el caso de la reconstrucción de imágenes de fachadas, hay varias condiciones que pueden hacer este proceso más rápido y algunas consideraciones que se deben tener para evitar problemas.

La ventaja de la reconstrucción de la fachada es que las imágenes se toman desde la misma distancia, son paralelas a la fachada y con un lente y sensor que tienen poca distorsión, esto da imágenes muy consistentes que facilitan la reconstrucción.

Además, el modo de captura es secuencial, lo que hace que una foto va a estar al lado de las imágenes a las cuales se debe unir, evitando tener que buscar coincidencias entre todas las imágenes tomadas y reduciendo considerablemente el procesamiento.

En cuanto a los posibles problemas que se pueden presentar, son la falta de puntos clave, como puede ser en una fachada muy homogénea o completamente lisa o una fachada con demasiados puntos clave, lo que puede causar falsos positivos, forzando al programa a posicionar una imagen con el desplazamiento incorrecto.

Para evitar este problema, el algoritmo debe incluir algunos límites al desplazamiento de las imágenes y debe estar acompañado con un preposicionamiento usando la odometría del sistema. De esta manera, el algoritmo solo debe hacer un pequeño ajuste y buscar información en modo preciso en una zona muy específica de las imágenes, y en caso de que el posicionamiento del algoritmo falle, tendrá por lo menos un posicionamiento relativamente correcto para la imagen.

Cuando la imagen tiene la información de posicionamiento, es importante determinar cuánto se sobrepone con las demás imágenes, para poder generar un solape entre los dos bordes de las imágenes para reducir el contraste de luminosidad y aberración cromática que tienen las imágenes en cada parte, debido a la lente y al sensor.

En el siguiente ejemplo hay tres imágenes con cerca del 50% de solape, al posicionarlas sin corregir bordes, se puede apreciar las líneas generadas por el cambio abrupto entre imágenes, pero si se genera un degradado de transición entre las imágenes, este contraste desaparece y se aprecia la continuidad de las imágenes.



Ilustración 90: Tres imágenes independientes con 50 % de solape.



Ilustración 91: Unión de las imágenes sin corrección de transición.



Ilustración 92: Unión de imágenes con corrección de transición.

Resultados

Edificio 1G

Los datos mostrados a continuación pertenecen a la agrupación de las imágenes montadas a una velocidad de 60 mm/s en todas las separaciones tomadas.



Ilustración 93: Fotografía unida con separación de 50 cm.



Ilustración 94: Fotografía unida con separación de 100 cm.



Ilustración 95: Fotografía unida con separación de 200 cm.

Edificio 1F

Los datos mostrados a continuación pertenecen a la agrupación de las imágenes montadas a una velocidad de 60 mm/s en todas las separaciones tomadas.



Ilustración 96: Fotografía unida con separación de 50 cm.



Ilustración 97: Fotografía unida con separación de 100 cm.



Ilustración 98: Fotografía con separación de 200 cm.

Edificio 6C

Los datos mostrados a continuación pertenecen a la agrupación de las imágenes montadas a una velocidad de 60 mm/s en todas las separaciones tomadas.



Ilustración 99: Fotografía unida con separación de 50 cm.



Ilustración 100: Fotografía unida con separación de 100 cm.



Ilustración 101: Fotografía unida con separación de 200 cm.

Edificio Nexus

Los datos mostrados a continuación pertenecen a la agrupación de las imágenes montadas a una velocidad de 60 mm/s en todas las separaciones tomadas.



Ilustración 102: Fotografía unida con separación de 50 cm.



Ilustración 103: Fotografía unida con separación de 100 cm.



Ilustración 104: Fotografía separación de 200 cm.

Análisis cuantitativo

Hay dos procesos que se verificaron: el primero es la captura de la imagen y el segundo la reconstrucción de la fachada.

La captura de la imagen se ve afectada principalmente por el movimiento de la cámara, por lo que se hace un análisis de la variación de la imagen entre 10mm/s y 60mm/s para identificar qué cambios hay entre las dos imágenes.

Para obtener un valor cuantificable, se superpusieron las dos imágenes y se aplicó una sustracción. Esto deja solo los valores que son distintos entre imágenes. Además de un valor general de la diferencia, se hizo un análisis de la desviación máxima en un valor de píxeles.

Para poder visualizar mejor la variación, se aplicaron varios filtros que amplificaran la desviación de la imagen.

Se buscó la zona de mayor desviación y se contó el espesor máximo de píxeles para determinar la desviación máxima entre las imágenes.

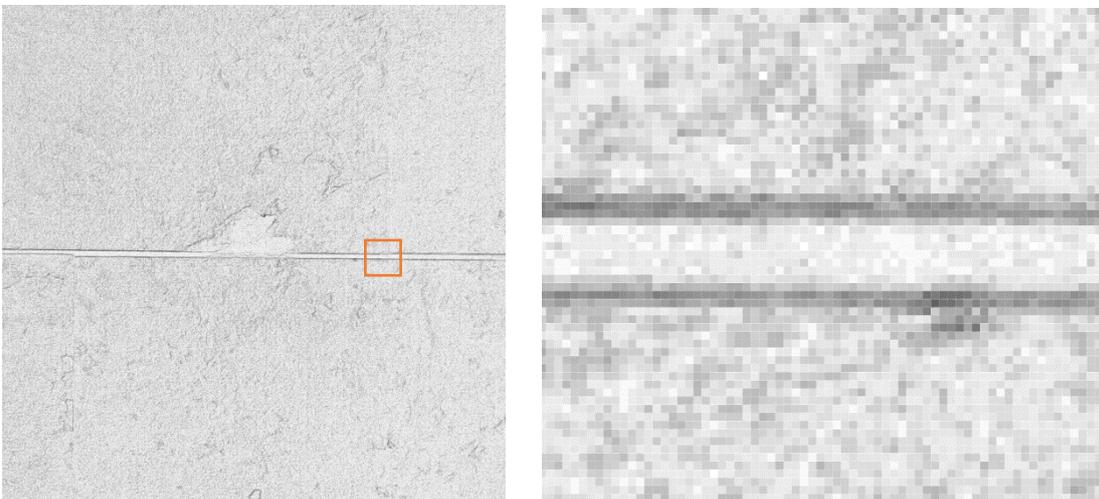
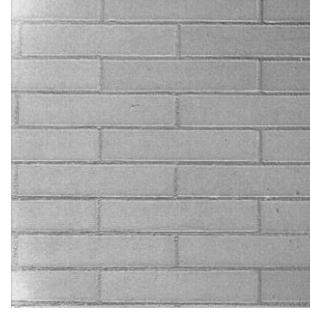
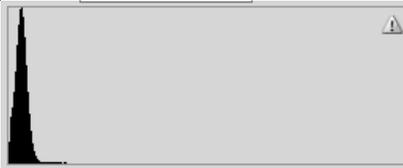
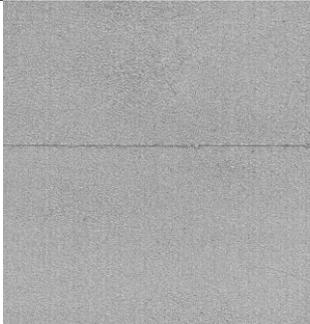


Ilustración 105: Imagen amplificada de desviación y vista de detalle.

	Histograma	Imagen ampliada	Desviación
1F	 <p>Source: Entire Image Mean: 3.11 Level: Std Dev: 2.30 Count: Median: 3 Percentile: Pixels: 330625 Cache Level: 1</p>		Pixeles: 3 Histograma: 3
1G	 <p>Source: Entire Image Mean: 1.91 Level: Std Dev: 1.65 Count: Median: 2 Percentile: Pixels: 295936 Cache Level: 2</p>		Pixeles: 2 Histograma: 2
6C	 <p>Source: Entire Image Mean: 8.73 Level: Std Dev: 6.05 Count: Median: 8 Percentile: Pixels: 295936 Cache Level: 2</p>		Pixeles: 3 Histograma: 8
NX	 <p>Source: Entire Image Mean: 8.57 Level: Std Dev: 15.42 Count: Median: 8 Percentile: Pixels: 295936 Cache Level: 2</p>		Pixeles: 2 Histograma: 8

Las imágenes presentan ligeras variaciones en exposición, lo que se ve reflejado como un cambio general que aumenta la variación entre imágenes, pero no es un cambio debido al movimiento, en todas las comparaciones, la desviación causada por movimiento se limita a pocos píxeles, lo que no afecta significativamente el uso final de la imagen.

En cuanto a la evaluación de la reconstrucción, se verifica la correcta alineación de las imágenes midiendo cuánto se deforman las líneas rectas y las distancias.

El resultado es inferior al 1% de desviación vertical y horizontal, lo que es más que suficiente para el uso final de las reconstrucciones.

Análisis cualitativo

En cuanto al estudio cualitativo de esta técnica de inspección se ha realizado mediante la comparativa de las panorámicas a varios expertos en la fotografía de barrido.

El objetivo del ensayo es validar que esta técnica de inspección con los parámetros adoptados para el sistema robótico tiene suficiente calidad como para reconocer lesiones en las fachadas analizadas.

El ensayo ha consistido en mostrar las 4 panorámicas, una a cada velocidad de ensayo realizada para cada tipología constructiva y que puedan dar valores acotados de calidad a cada una de ellas, recogiendo los datos en una pequeña encuesta para agilizar la toma de datos.

La encuesta está formada por una breve descripción del ensayo y 4 panorámicas seleccionadas, una para cada edificio, realizadas con las imágenes tomadas a la máxima velocidad y a la máxima separación de la fachada.

El contenido de ésta se transcribe a continuación:

El proyecto ROBIM (robótica autónoma para la inspección y diagnóstico de fachadas existentes con integración BIM), en el que participa la Universitat Politècnica de València, junto con otras universidades y empresas de ámbito nacional, ha realizado varias pruebas que deben ser validadas por expertos en cada una de sus áreas.

El ensayo ha consistido en fotografiar una porción de la fachada de 4 edificios que tienen diferentes sistemas constructivos en un recorrido de 2 metros.

Se ha realizado una panorámica de todas las fotografías de la superficie analizada.

Los ensayos se han realizado a 2 metros de separación de la pared y a una velocidad de 60 mm/s, con lo que se han generado 4 panorámicas de cada fachada.

Los edificios han sido nombrados según la nomenclatura del campus de la UPV, el edificio 1F, 1G, 6C y Nexus.

El objetivo consiste en visualizar las panorámicas y responder a las siguientes cuestiones.

A continuación, aparecen las preguntas a responder y las distintas posibilidades.

Facilidad de manejo del archivo

Muy poco; poco; regular; bueno y muy bueno

Fiabilidad de la imagen para detectar lesiones

Muy poca; poca; regular; buena y muy buena

Validez para identificar lesiones

Puntuación del 1 al 5

Resultados

Una vez realizado este ensayo los resultados han sido los siguientes:

En cuanto al edificio 1G:

La facilidad ha sido valorada como buena o muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como buena o muy buena

La validez ha sido valorada entre 4 y 5 puntos.

En cuanto al edificio 1F:

La facilidad ha sido valorada como buena o muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como regular o buena

La validez ha sido valorada entre 3 y 4 puntos.

En cuanto al edificio 6C:

La facilidad ha sido valorada como buena o muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como regular o buena

La validez ha sido valorada entre 3 y 4 puntos.

En cuanto al edificio Nexus:

La facilidad ha sido valorada como buena o muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como buena o muy buena

La validez ha sido valorada entre 4 y 5 puntos.

Conclusiones

Las conclusiones que se pueden extraer de esta técnica son las siguientes:

La velocidad a la que se ha realizado el ensayo no ha sido un problema para ser capaces de unir las distintas fotografías que componen la panorámica que permite tener una visión completa en una sola imagen de la fachada analizada.

La diferencia de velocidad ha modificado el resultado de la panorámica únicamente en el grado de distorsión, este parámetro se analizó cualitativa y cuantitativamente.

El análisis cuantitativo de la fotografía de barrido se ha realizado solo para detectar irregularidades en la reconstrucción por el algoritmo, la cámara ofrece imágenes de alta calidad y homogeneidad. Además, los resultados de los expertos avalan la utilización de esta técnica, con este aparato concreto, para la incorporación al sistema robotizado con el rango de velocidad y separación a la fachada aptos para ROBIM.

[T.1.04] SONDA MAGNÉTICA

La sonda elegida es de la marca Proceq, concretamente el modelo Profoscope plus, por su relación de peso, dimensiones y precisión, además de incorporar un software capaz de mostrar y almacenar para su exportación, una tabla con los datos de distancia desde el origen y de profundidad de cada elemento o barra metálica que se detecte en la superficie inspeccionada, para un diámetro prefijado.

Metodología

La prueba para validar la tecnología para el prototipo ROBIM ha consistido en la realización de una serie de tomas de datos para inspeccionar el recubrimiento de las barras a diferentes velocidades, en un rango adecuado para los movimientos que es capaz de realizar el sistema robótico.

El robot puede desplazarse a una velocidad constante de unos 0,1 m/s, por lo que se usaron valores en un rango en torno a ésta, para comprobar que, de una sola pasada, los datos adquiridos eran los correctos.

Una vez comprobada la velocidad adecuada para una correcta toma de datos, se pudo conocer cuál era el tiempo que tardaba el sistema ROBIM en inspeccionar la fachada

completa, conociendo además el tiempo necesario para desplazar el sistema entre pasadas distintas.

Por otro lado, se ensayaron diferentes distancias de separación a la fachada, desde los 50 mm hasta los 100 mm, para comprobar que en ese rango la toma de datos seguía siendo fiable.

Con estos parámetros de separación a la fachada y velocidad se prepararon las pruebas pertinentes para demostrar la idoneidad del dispositivo.

El ensayo consistió en inspeccionar un tramo de fachada conocido, debido a un previo análisis manual para verificar la ubicación de las armaduras. A continuación, se realizaron 6 barridos, a 3 velocidades y 2 separaciones de pared, para contabilizar cuántas armaduras fue posible detectar con el nuevo sistema de inspección.

T.I. 04 SONDA MAGNÉTICA

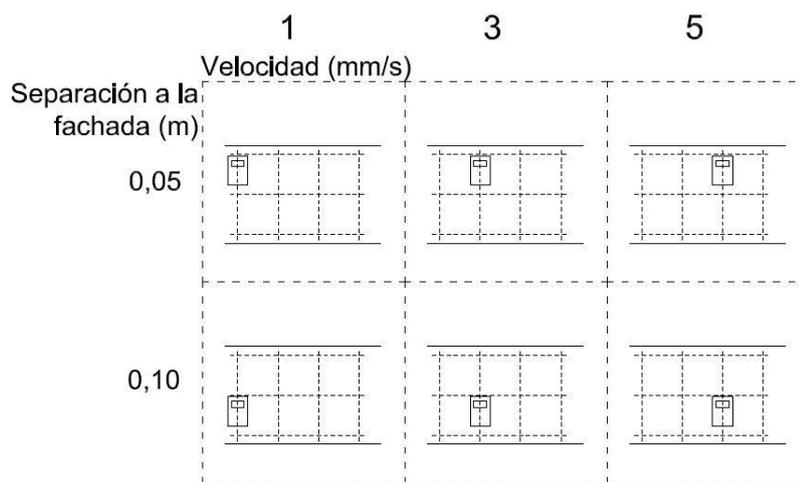


Ilustración 106: Esquema matriz de ensayos de la sonda magnética.

Implementación

La sonda magnética es una técnica de inspección no destructiva que suele usarse de manera manual, donde el operario realiza el ensayo moviendo el dispositivo en la dirección, sentido y velocidad que necesita para llegar a obtener los datos que quiera, pero esta aplicación es diferente pues va a probarse para usarse con un movimiento continuo.

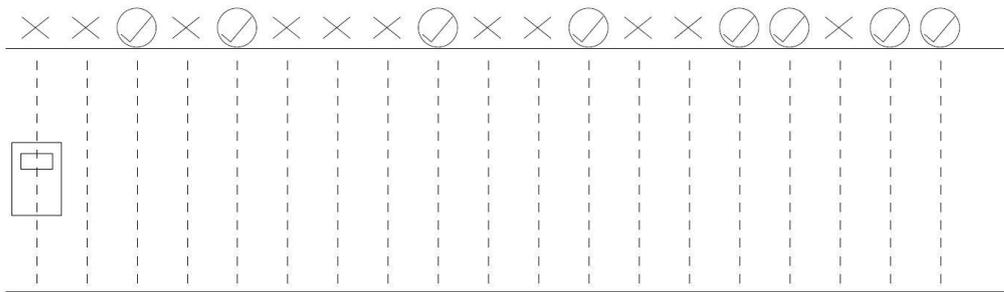
Se han presentado varios problemas para realizar un uso correcto, pues al ser un elemento pensado para el uso manual el dispositivo se apaga tras unos minutos sin notar actividad, esto ha dificultado mucho las pruebas pues en un recorrido relativamente corto

se desconecta y la toma de datos no es óptima. Esto implica que debe considerarse con detenimiento el uso de este dispositivo en el robot.

Resultados

Edificio 1G

Los resultados obtenidos son a una separación de 0,05 m y las velocidades indicadas con las que se pueden ver las diferencias de resultados en función de la velocidad.



Datos recogidos a una velocidad constante de 1 mm/s:

Ilustración 107: Resultados de barras encontradas a velocidad de 1 mm/s.

Datos recogidos a una velocidad constante de 3 mm/s:

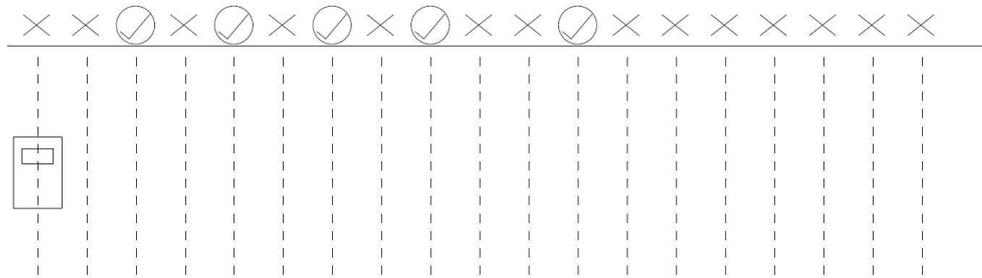


Ilustración 108: Resultados de barras encontradas a velocidad de 3 mm/s

Datos recogidos a una velocidad constante de 5 mm/s:

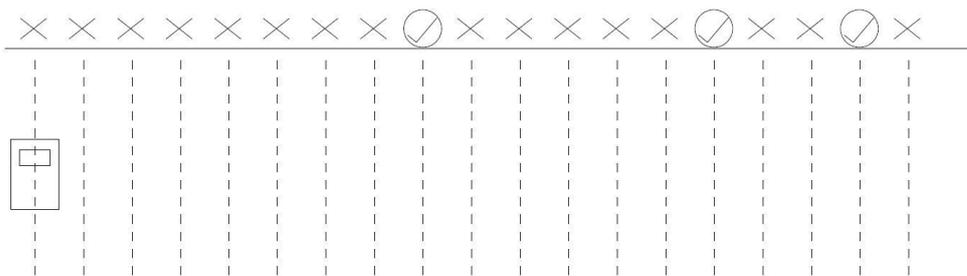


Ilustración 109: Resultados de barras encontradas a velocidad de 5 mm/s

Análisis

En estos ensayos se puede observar como el número de barras detectadas, varían entre 8 barras detectadas a 1 mm/s, 5 barras a 3 mm/s y 3 barras a 5 mm/ de un total de 19 ubicadas en el fragmento de fachada analizado.

En el resto de los edificios no se hizo el ensayo, pues no tenían ningún elemento metálico a inspeccionar y la ubicación de los elementos estructurales era inaccesibles para los medios auxiliares de los que se disponían.

Conclusiones

Los resultados del ensayo demuestran que el movimiento continuo no resulta ser muy efectivo, y que se necesita, al igual que usando este aparato de manera manual, un movimiento discontinuo que haga movimientos en ambos sentidos para indicar la ubicación exacta de los elementos metálicos.

Por otro lado, se debe solucionar la necesidad constante de mantener encendido el aparato, además de la necesidad de realizar las lecturas remotas exclusivamente mediante el visionado la pantalla del instrumento.

[T.I.06] GEORRADAR

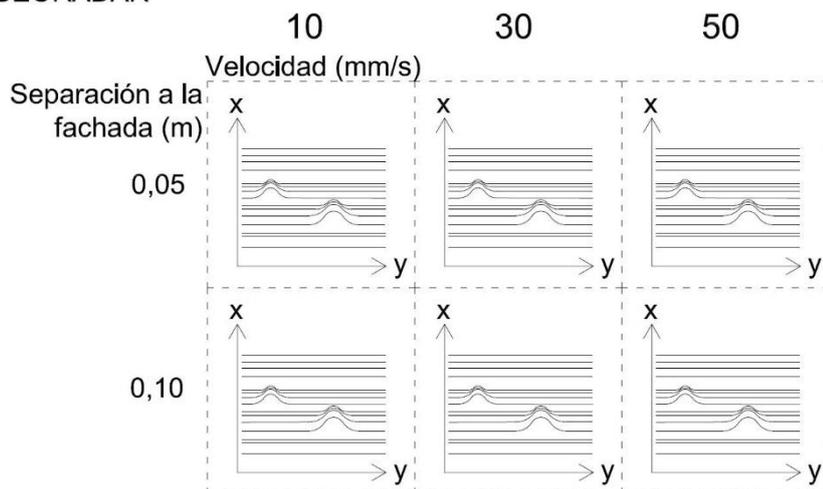
En cuanto al georradar elegido, es de la marca Sensors & Software, concretamente el modelo pulseEKKO, junto con las antenas de 1000 MHz. El peso y la capacidad de dividir el equipo en componentes separados ha sido lo más relevante para elegir este instrumento, frente al resto de opciones. Esto permite mantener las partes más pesadas cerca del centro de gravedad del sistema robótico, alejando de éste solo las partes más ligeras, en este caso las antenas.

Metodología

El georradar, al igual que la sonda magnética, necesita comprobar la velocidad adecuada para una correcta toma de datos, así como la separación de la fachada, por lo que se procederá de la misma manera.

Los ensayos se han establecido teniendo en cuenta las limitaciones de esta técnica, y por tanto se han determinado las separaciones a la fachada de 50 y 100 mm, y en cuanto a las velocidades, tras experimentar en el laboratorio se determinó que el rango debía encontrarse entre los 10 y 50 mm/s. Es por ello por lo que se establecieron 10, 30 y 50 mm/s como velocidades para los ensayos.

T.I. 06 GEORADAR



Implementación

La técnica de inspección del georradar tiene diferentes aplicaciones dependiendo lo que se requiera. Éstas pasan por analizar grandes dimensiones a altas profundidades o pequeñas superficies a bajas profundidades, en el caso que nos ocupa interesa la alta

precisión y poca incidencia, pues las fachadas suelen tener espesores que en pocas ocasiones superan los 40 cm.

El uso de esta tecnología tiene un objetivo claro durante el proyecto, pues es la única que permite conocer la composición interna de las fachadas analizadas, cuando no se dispone de perforaciones.

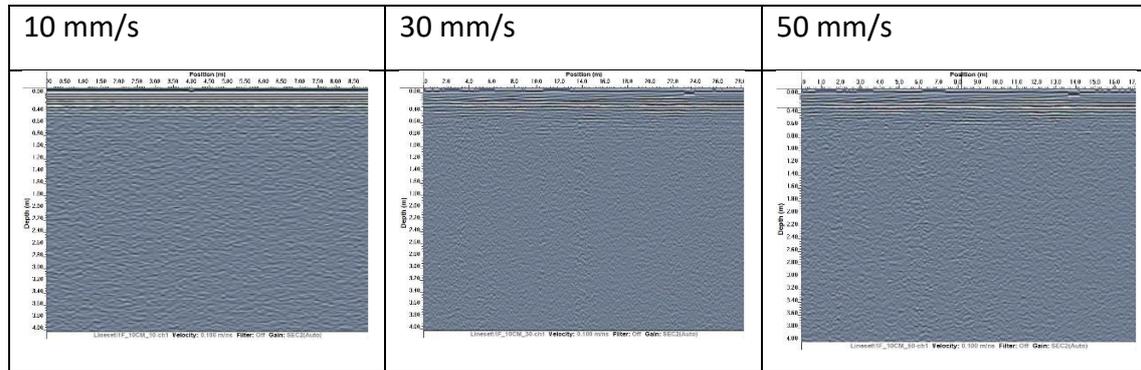
Las heterogeneidades del material provocan que parte de la energía de esta onda sea reflejada hacia la superficie, mientras que el resto de la energía sigue propagándose hacia el interior.

Al ser una técnica que requiere alta especialización para su uso, ha generado varios problemas con la puesta en marcha y la definición de los parámetros adecuados para un correcto análisis. Esto, sumado a la dificultad de lectura e interpretación de los resultados, ha generado que esta tecnología haya sido la técnica más compleja de implementar y ensayar.

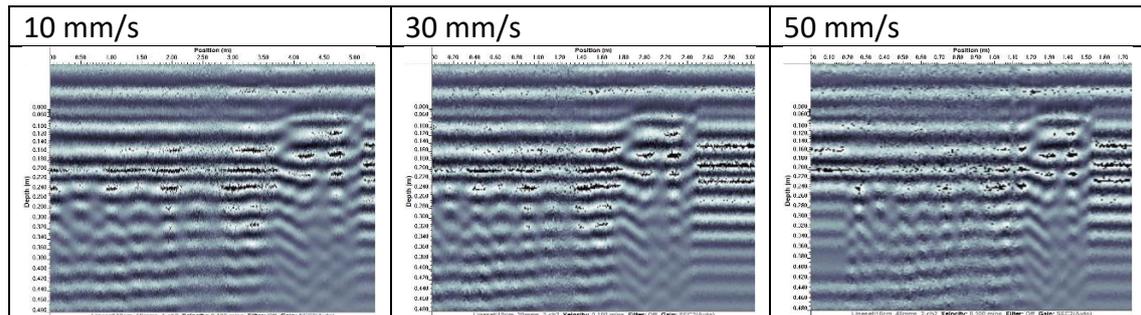
Resultados

Los resultados mostrados son los realizados a 10 cm de separación de la fachada, la separación más desfavorable.

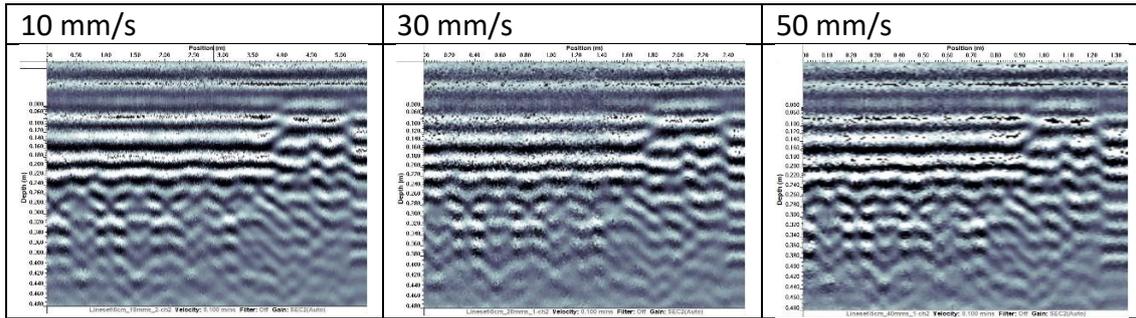
Edificio 1G



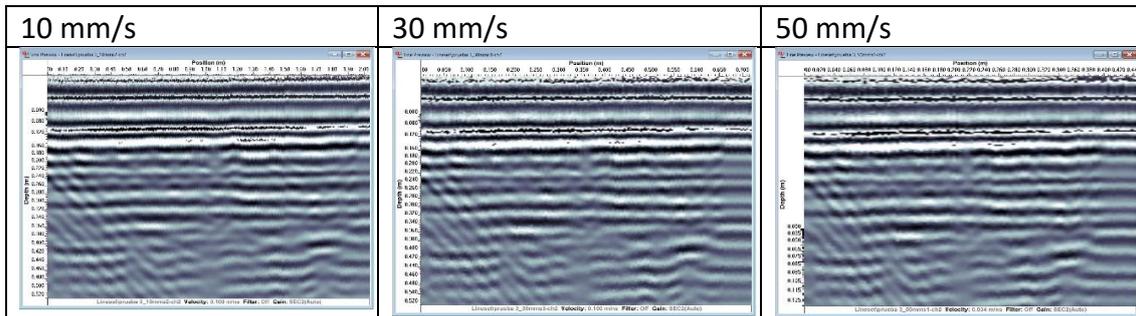
Edificio 1F



Edificio 6C



Edificio Nexus



Análisis cualitativo

El análisis de los resultados ha sido llevado a cabo por el equipo del IRP del Grupo de Tratamiento de Señal (GTS). Este equipo ha analizado los resultados obtenidos y ha comparado las imágenes separándolas por fachadas.

Los resultados del edificio 1G han sido descartados, debido a la falta de ajustes de los parámetros en el momento de la toma de datos, por lo que se consideran nulos. Como puede apreciarse en la matriz de resultados los datos son insuficientes.

En el edificio 1F los resultados obtenidos sí han sido validados, y se puede observar como la velocidad de 10 y 30 mm/s ha dado casi los mismos resultados, donde no existen casi distorsiones. Sin embargo, en el caso de los resultados de la velocidad mayor, hay demasiada distorsión y los resultados no pueden validarse. También es cierto que los resultados resultan de muy difícil interpretación y no pueden distinguirse las capas de la fachada ni tampoco ayudar a detectar problemas relevantes.

En el edificio 6C los resultados son muy buenos, y donde mejor pueden leerse las características de la fachada, e intuir la composición de la fachada multicapa, encontrando incluso un pilar oculto en la fachada tras la capa de acabado. En este caso apenas hay diferencia de los resultados modificando la velocidad.

En el edificio Nexus los resultados han sido satisfactorios y, en este caso, no han sido modificados por la velocidad, además de poder distinguirse las capas que componen la fachada, así como una interferencia que corresponde a una abertura de ventilación, que se muestra como una línea oblicua.

Conclusiones

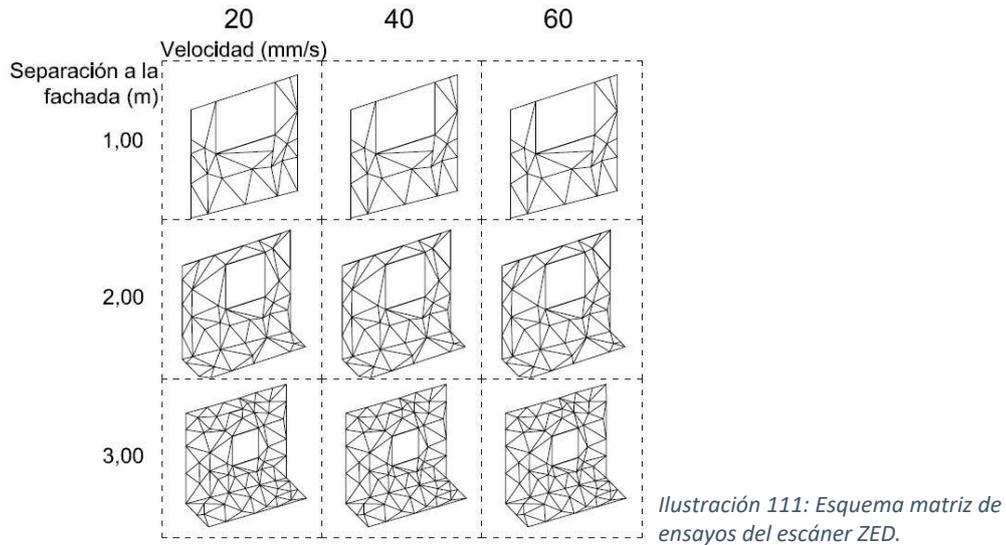
Las conclusiones generales del Georradar son las siguientes:

- La velocidad influye en la captación de datos, y la adecuada para la inspección está en torno a los 30 mm/s.
- La modificación de los datos de inspección del aparato deben ser probados y adaptados a cada caso de estudio por el personal experto a cargo de la inspección.
- La separación a fachada no ha afectado a los datos, pues debido a las características de este georradar, tiene la antena lo suficientemente grande para incidir sin problemas en las fachadas, que apenas cuenta con unas decenas de centímetros de espesor.
- Si existen problemas respecto a la continuidad de las capas de la fachada el georradar puede aportar datos muy importantes para la inspección.

[T.I.07] ESCÁNER LÁSER 3D ZED

El objetivo de usar esta tecnología es poder reconstruir una malla de la fachada analizada que contenga también la imagen de la fachada, y que sirva como una herramienta adicional para el análisis del estado de la estructura por parte de expertos.

T.I. 07 ESCÁNER LÁSER ZED



Metodología

Se ha realizado una reconstrucción en tiempo real de cuatro fachadas a lo largo de un desplazamiento lineal de 2 metros. Estas mediciones se han repetido tres veces, generando 3 series de pruebas con iguales rangos de separaciones a la fachada y velocidades para obtener un total de 9 variaciones iguales y 27 adquisiciones en total para cada fachada.

Para cada una de estas pruebas, se han comparado las tres adquisiciones para medir cuánto difieren y poder determinar la repetibilidad del ensayo.

La medición de la desviación se ha hecho con programas de comparación de modelos digitales, para poder identificar en qué zonas hay problemas y cuánta desviación entre modelos hay según la velocidad.

Al conocer el grado de desviación existente, se ha procedido a realizar una prueba de planicidad para verificar que el aparato es capaz de reconstruir en modo adecuado las principales características de las fachadas.

Implementación

La cámara estereoscópica ZED está siendo utilizada en un amplio espectro de aplicaciones, como reconstrucción 3D de espacios, navegación de robots autónomos y visión de ordenador, al combinar información visual con información de profundidad, las aplicaciones posibles aumentan continuamente.

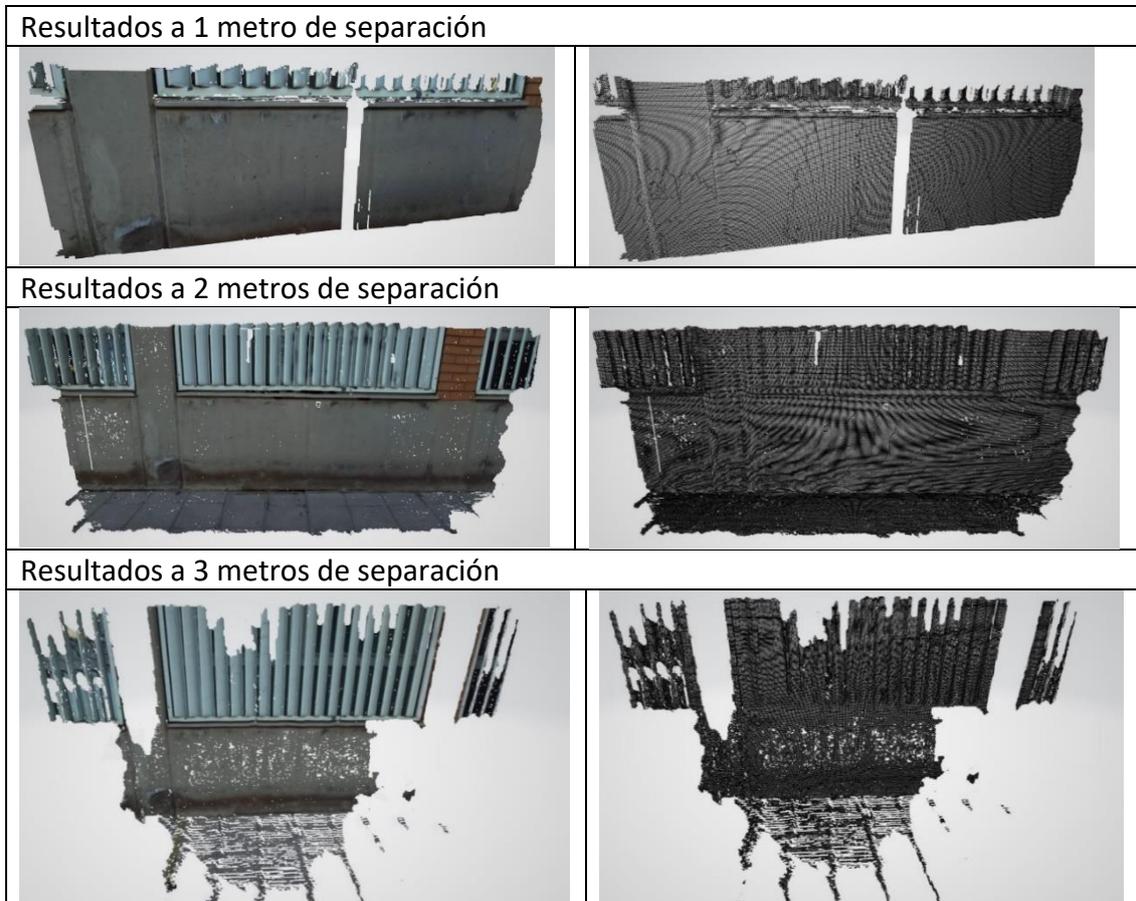
El procedimiento para la reconstrucción de la fachada empieza por hacer una captura a distancia y velocidad apropiadas, grabando la información junto con la telemetría del sistema. Con esta información, se procede a usar un algoritmo de reconstrucción incluido en las librerías del fabricante. Este algoritmo permite una reconstrucción automática de una malla poligonal según los parámetros indicados.

Para que el resultado sea óptimo, se debe indicar la distancia a la que se desea priorizar la reconstrucción y la densidad de la malla resultante.

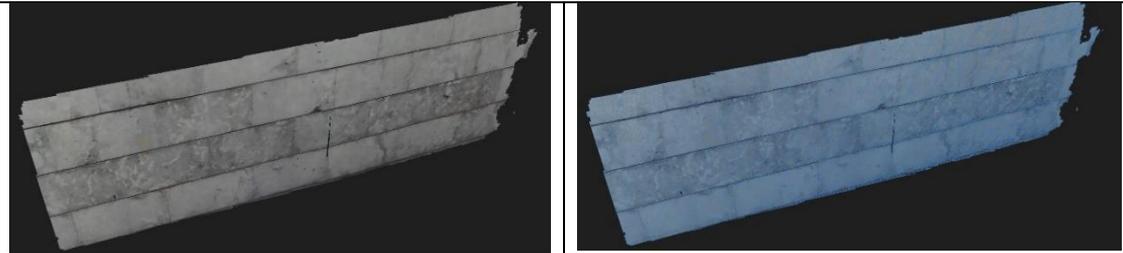
La reconstrucción final consiste en una superficie de resolución media, que no requiere mucho procesamiento y no utiliza excesiva memoria.

Resultados

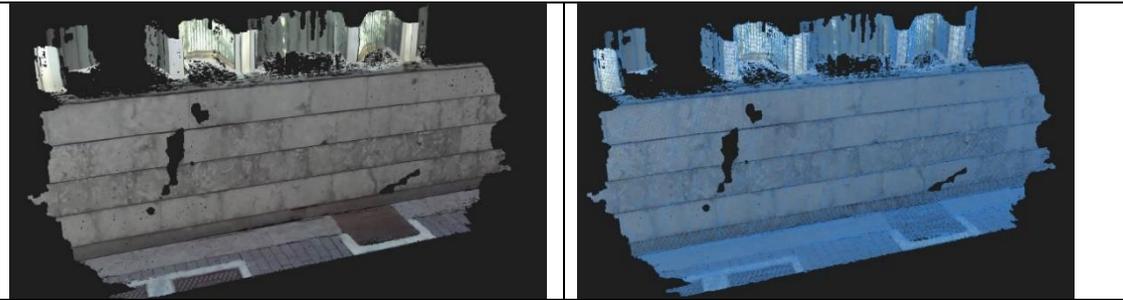
Edificio 1G



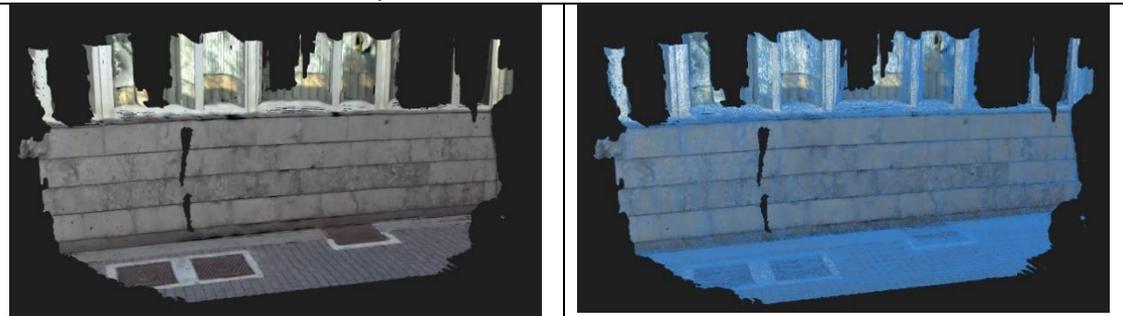
Resultados a 1 metro de separación



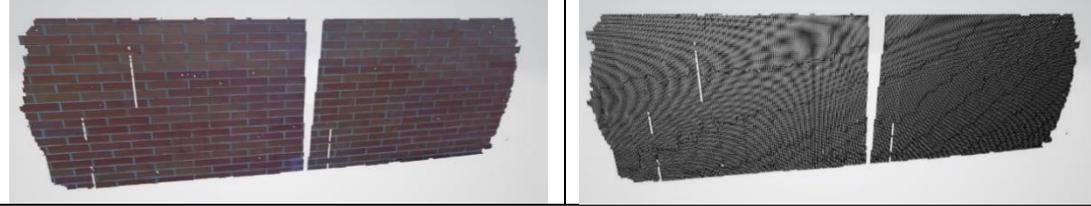
Resultados a 2 metros de separación



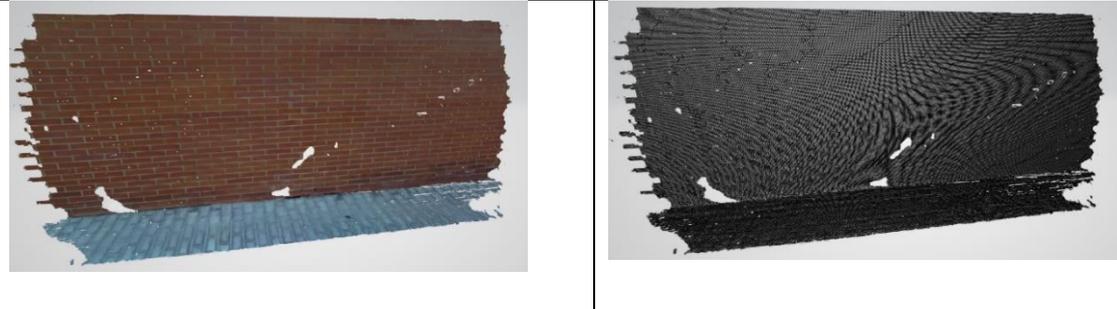
Resultados a 3 metros de separación



Resultados a 1 metro de separación



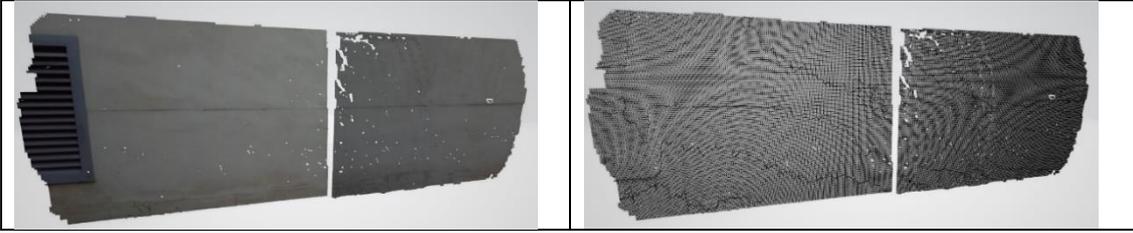
Resultados a 2 metros de separación



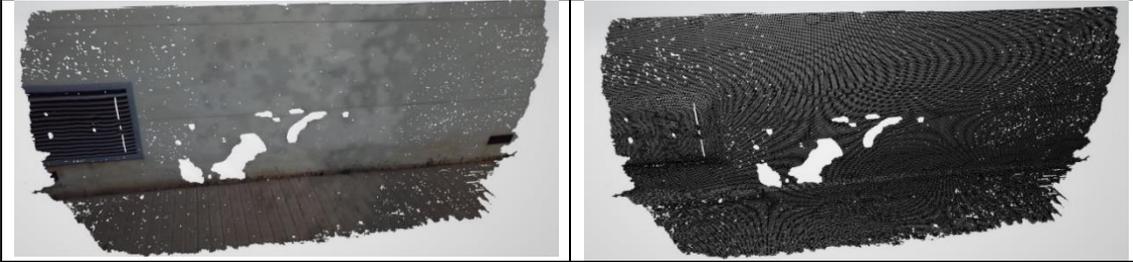
Resultados a 3 metros de separación



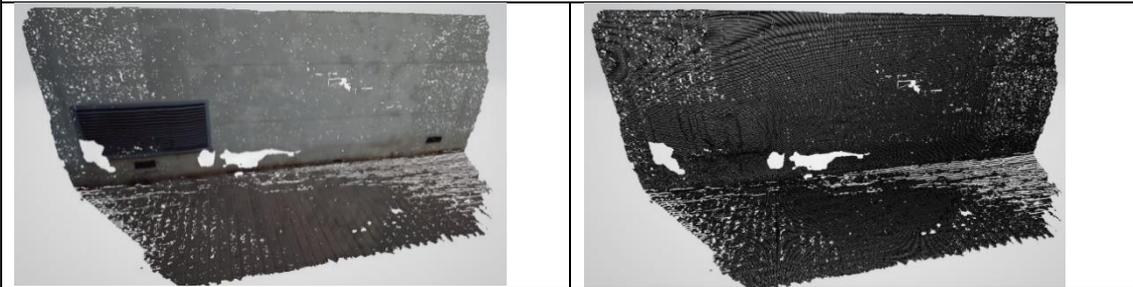
Resultados a 1 metro de separación



Resultados a 2 metros de separación



Resultados a 3 metros de separación



Análisis cuantitativo

Para verificar la fiabilidad de la cámara, se han comparado las diversas adquisiciones para determinar cuál es la desviación de las medidas.

Hay dos tipos de desviaciones que se planea analizar. La primera es la diferencia que hay entre adquisiciones realizadas con la misma velocidad y a la misma distancia. Esto determina cuánto se desvía el aparato y se podrá determinar su fiabilidad y repetibilidad.

Una segunda desviación es entre las adquisiciones a diversas velocidades y distancias respecto a la realidad. Esto determina cuál es la precisión del instrumento en sus mediciones bajo distintas condiciones de captura.

El ensayo realizado para verificar la desviación de la cámara estereoscópica consistió en utilizar tres separaciones distintas, teniendo como base la distancia recomendada por el fabricante y también un metro más cerca y un metro más lejos.

Cada velocidad en cada distancia se ensayó tres veces para poder tener dos para comparar, más una tercera como respaldo en caso de problemas o inconsistencias.

Para poder cuantificar la desviación entre las adquisiciones, se utilizó un software de código abierto llamado CloudCompare. Con este programa se compararon un millón de puntos sobre cada par de las superficies generadas a cada distancia y velocidad.

Con el millón de puntos en cada superficie, el programa utiliza un algoritmo de comparación de distancia cuadrática para determinar la cercanía entre los puntos y da un valor de desviación para cada punto. Para evitar el análisis de pocos puntos causados por ruido o errores del proceso, se dejaron únicamente los puntos con una desviación menor a los 3 centímetros. Esto representa un 90 % o más de los puntos de la adquisición.

Con los puntos elegidos, se creó un mapa con una escala de color graduada para mostrar sobre la nube de puntos la desviación identificada, esto ayuda en un análisis subjetivo permitiendo identificar zonas problemáticas donde la cámara tiene mayor desviación.

Para acompañar el análisis subjetivo, se genera un histograma que representa la curva de la desviación de todos los puntos, donde se puede apreciar la agrupación y distribución de las desviaciones, dando una idea medible de la desviación de las adquisiciones.

Limitaciones del ensayo:

- La prueba no se pudo realizar para una superficie mayor debido al equipo disponible que solo permitía medir en modo controlado una distancia de dos metros de desplazamiento de la cámara.

- Para esta prueba se optó por utilizar casos reales en entornos reales, lo que puede haber influido en las mediciones, como el cambio de luz, temperatura y entorno, al igual que el tipo de fachadas elegidas.

- No se cuenta con un instrumento de mayor precisión para poder medir y comparar la desviación de las diversas adquisiciones respecto a la realidad, por lo que se utilizaron otros métodos, como medición de la planicidad de la adquisición.

La secuencia de pasos para el análisis de desviación usando el programa CloudCompare es la siguiente:

Paso 1. Importación del archivo "mesh_raw.ply" de la serie 1 y 2 de cada velocidad y distancia. En caso de que alguna de las adquisiciones tuviera un problema, se utilizó la serie 3.

Paso 2. Creación de una nube de puntos para cada malla de un millón de puntos.

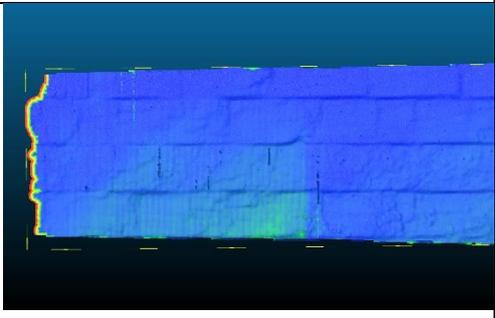
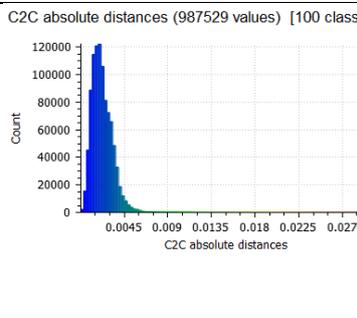
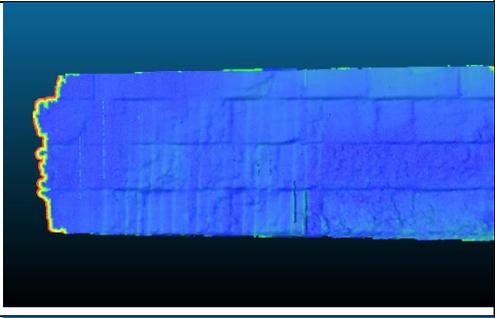
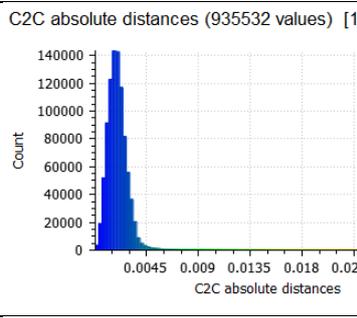
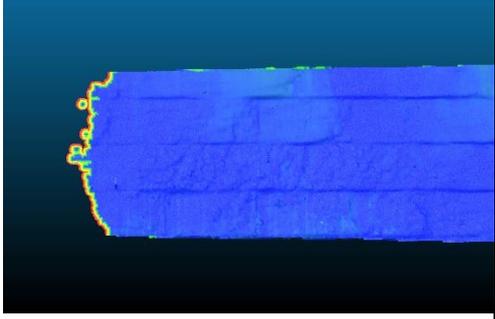
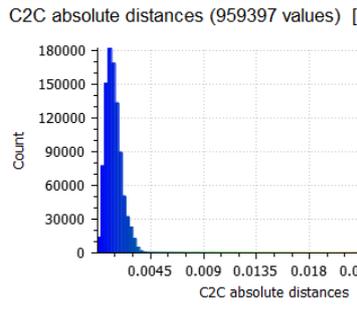
Paso 3. Comparación de la distancia entre las dos nubes de puntos.

Paso 4. Ajuste del rango de muestreo de 0 a 0.03 metros, esto excluye todos los puntos por fuera de esa desviación y crea un degradado de azul a rojo para indicar el grado de desviación de cada punto.

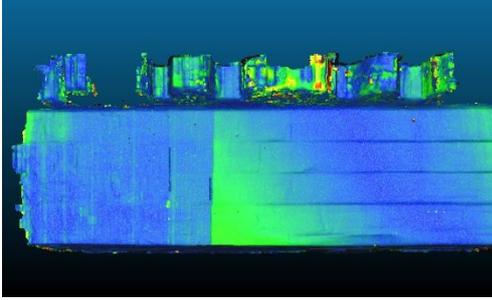
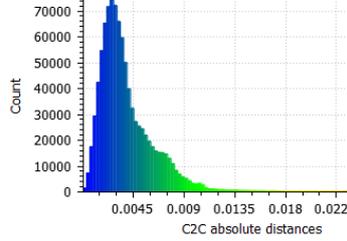
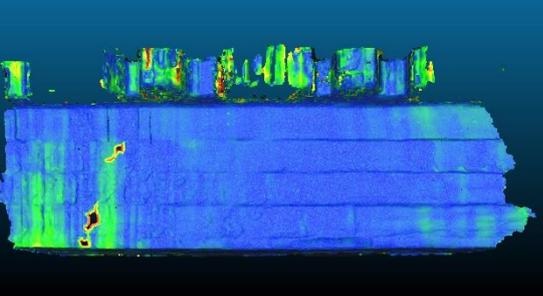
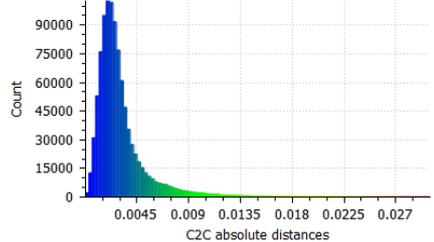
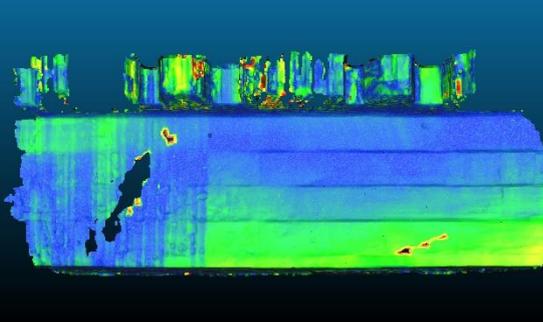
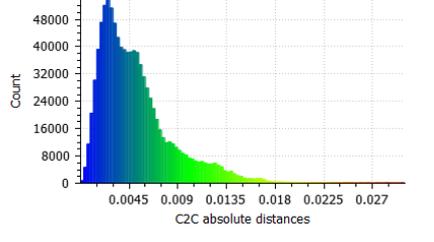
Paso 5. Exportación de los puntos dentro de ese rango, visualizado y guardado el histograma reduciendo a 100 grupos de muestreo.

Paso 6. Captura de la vista aumentando tres veces la resolución.

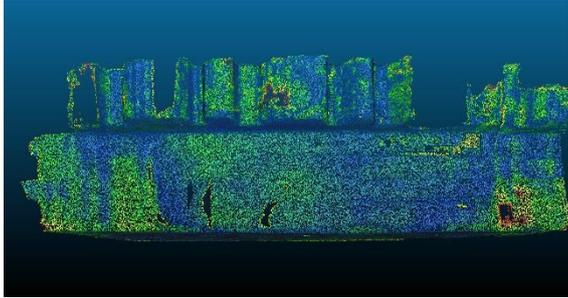
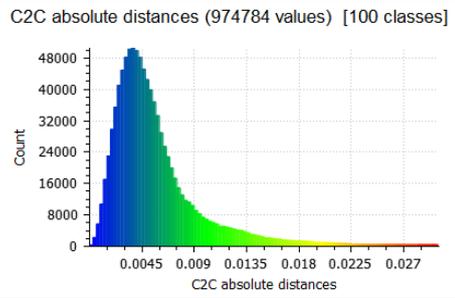
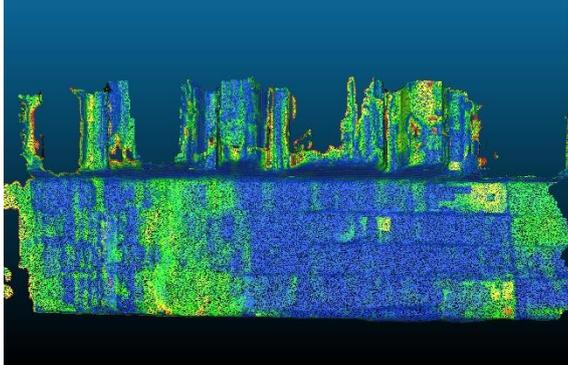
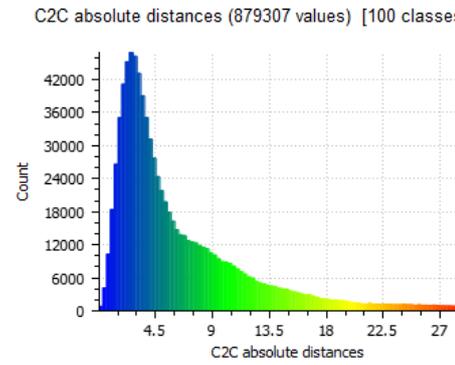
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1F a 1 metro de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. El mapa muestra una estructura rectangular con una superficie que parece tener una textura de ladrillos o bloques. El color de fondo es oscuro, con tonos de azul y verde que indican diferentes niveles de profundidad. Hay una línea amarilla y roja que define el contorno de la estructura.</p>	 <p>Histograma de C2C absolute distances (987529 values) [100 classes]. El eje Y es 'Count' (0 a 120000) y el eje X es 'C2C absolute distances' (0 a 0.027). La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico muy alto cerca de 0.</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. Similar al mapa de 20 mm/s, pero con una mayor resolución y menos ruido. El contorno de la estructura es más definido.</p>	 <p>Histograma de C2C absolute distances (935532 values) [100 classes]. El eje Y es 'Count' (0 a 140000) y el eje X es 'C2C absolute distances' (0 a 0.027). La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico muy alto cerca de 0.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. Similar a los mapas anteriores, pero con una resolución aún mayor y un contorno más preciso.</p>	 <p>Histograma de C2C absolute distances (959397 values) [100 classes]. El eje Y es 'Count' (0 a 180000) y el eje X es 'C2C absolute distances' (0 a 0.027). La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico muy alto cerca de 0.</p>

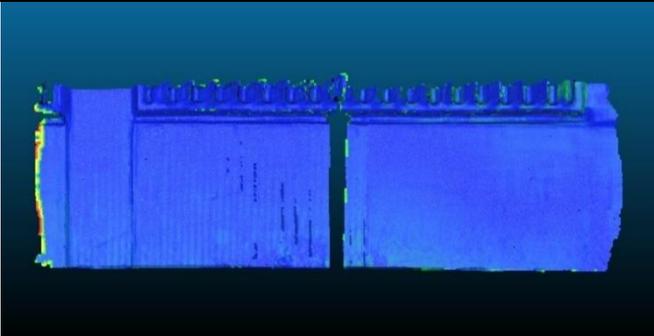
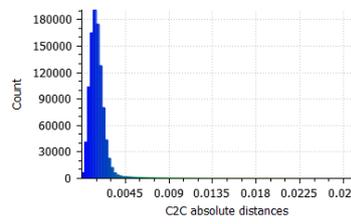
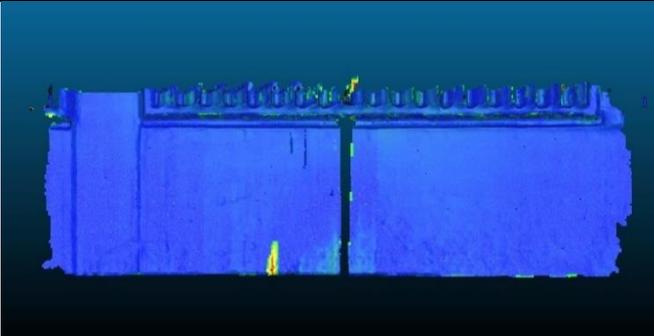
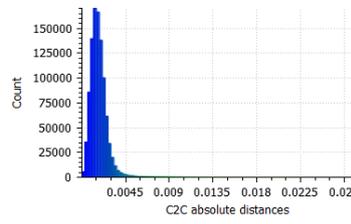
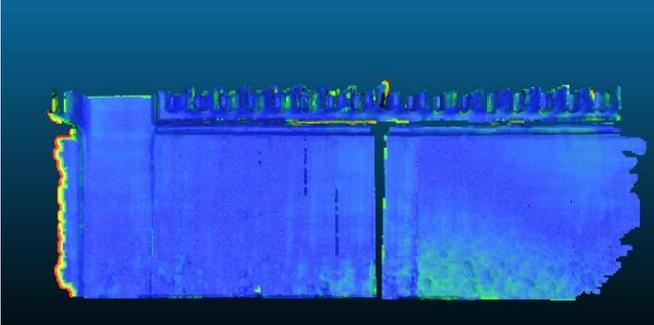
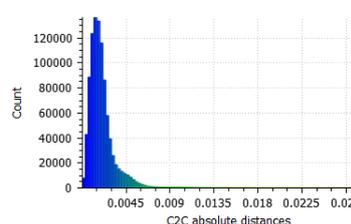
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1F a 2 metros de distancia.

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. Muestra una estructura rectangular con una parte superior más detallada y una parte inferior más plana. Los colores representan distancias, con azul para mayor distancia y verde/rojo para menor distancia.</p>	<p>C2C absolute distances (973963 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 20 mm/s. El eje Y (Count) va de 0 a 70000. El eje X (C2C absolute distances) va de 0 a 0.0225. La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 70000 a una distancia de unos 0.0045.</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. Similar al mapa de 20 mm/s, pero con una resolución espacial menor y algunos artefactos de ruido más evidentes.</p>	<p>C2C absolute distances (996407 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 40 mm/s. El eje Y (Count) va de 0 a 90000. El eje X (C2C absolute distances) va de 0 a 0.027. La distribución es sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 90000 a una distancia de unos 0.0045.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. Muestra una estructura similar a las anteriores, pero con una resolución aún menor y más ruido.</p>	<p>C2C absolute distances (997444 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 60 mm/s. El eje Y (Count) va de 0 a 48000. El eje X (C2C absolute distances) va de 0 a 0.027. La distribución es sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 48000 a una distancia de unos 0.0045.</p>

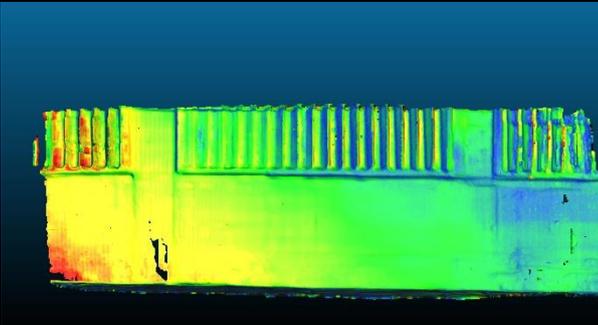
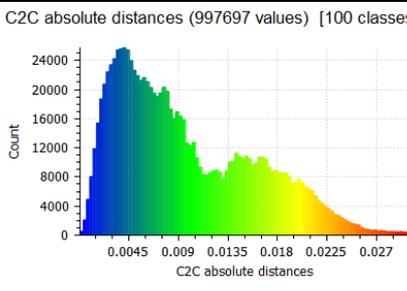
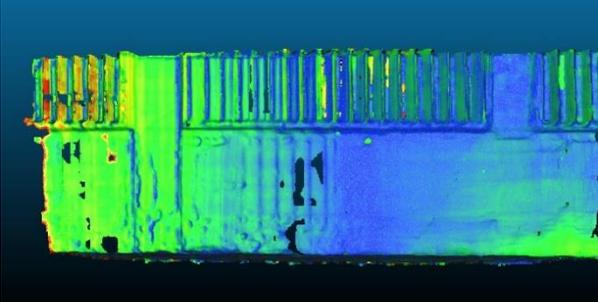
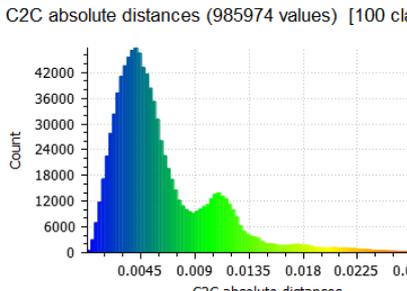
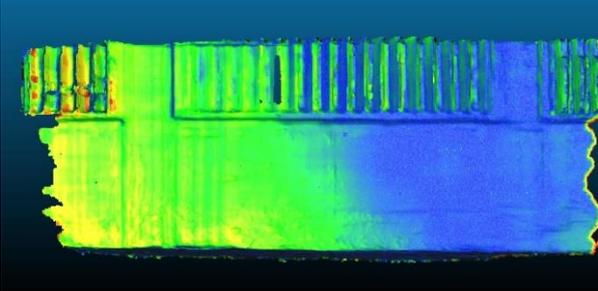
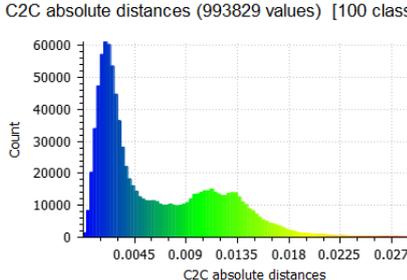
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1F a 3 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s		<p>C2C absolute distances (974784 values) [100 classes]</p> 
40 mm/s		
60 mm/s		<p>C2C absolute distances (879307 values) [100 classes]</p> 

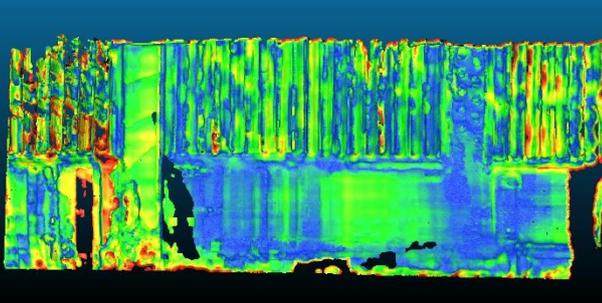
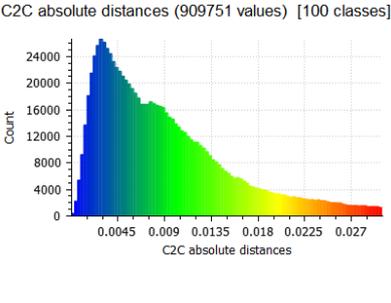
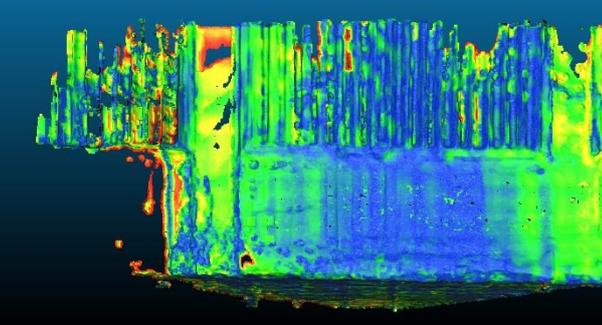
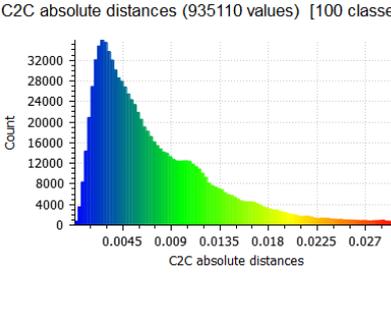
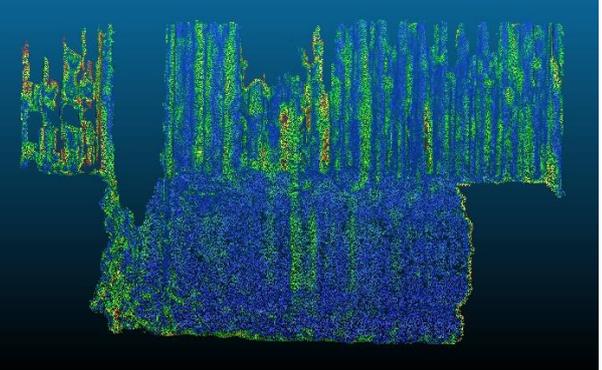
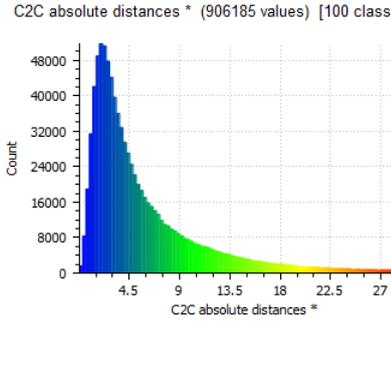
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1G a 1 metro de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s		<p>C2C absolute distances (998997 values) [100 classes]</p> 
40 mm/s		<p>C2C absolute distances (999383 values) [100 classes]</p> 
60 mm/s		<p>C2C absolute distances (975792 values) [100 classes]</p> 

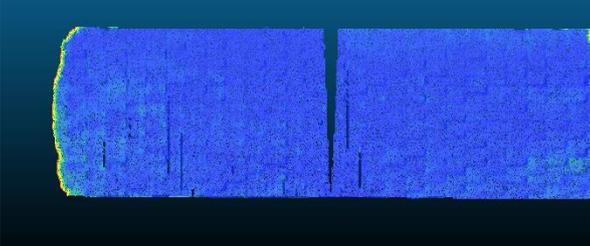
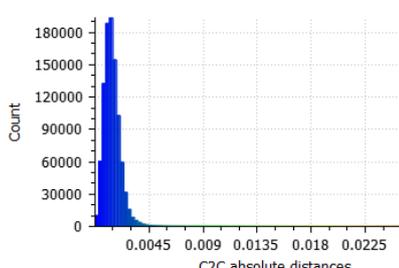
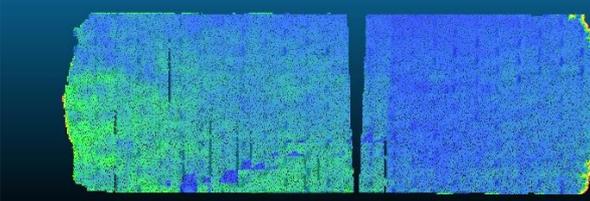
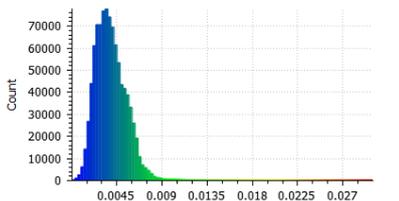
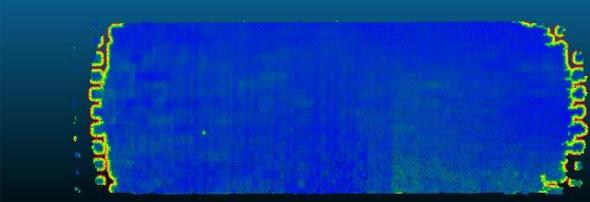
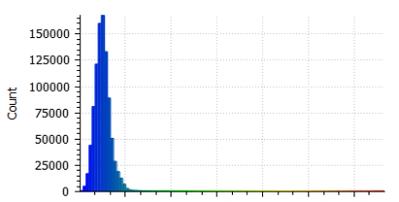
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1G a 2 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. El mapa muestra una estructura rectangular con una parte superior más estrecha y una parte inferior más ancha. Las distancias de profundidad están representadas por colores: rojo y amarillo indican distancias más cortas, verde y azul indican distancias más largas.</p>	<p>C2C absolute distances (997697 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 20 mm/s. El eje X muestra distancias de 0.0045 a 0.027. El eje Y muestra el recuento de valores, con un pico máximo de aproximadamente 24000.</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. Similar al mapa de 20 mm/s, pero con una mayor proporción de áreas azules y verdes, indicando distancias más largas.</p>	<p>C2C absolute distances (985974 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 40 mm/s. El eje X muestra distancias de 0.0045 a 0.027. El eje Y muestra el recuento de valores, con un pico máximo de aproximadamente 42000.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. El mapa muestra una estructura similar a las anteriores, pero con una mayor proporción de áreas azules y verdes, indicando distancias más largas.</p>	<p>C2C absolute distances (993829 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de distancias a 60 mm/s. El eje X muestra distancias de 0.0045 a 0.027. El eje Y muestra el recuento de valores, con un pico máximo de aproximadamente 60000.</p>

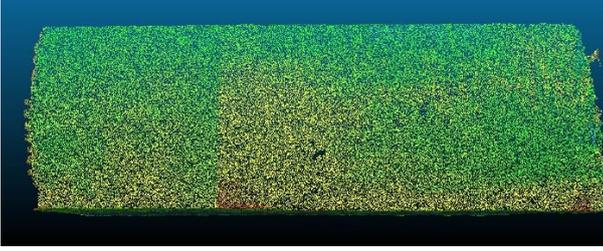
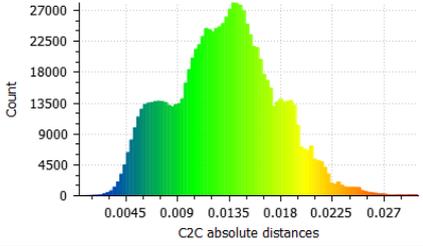
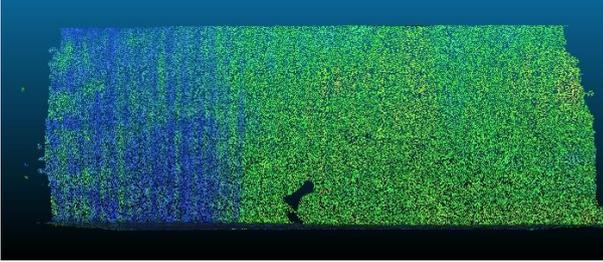
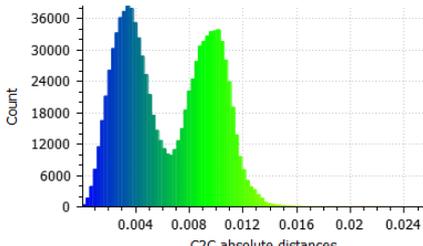
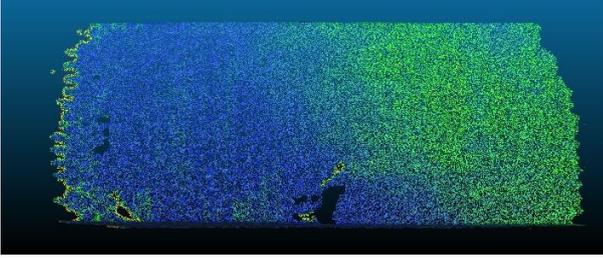
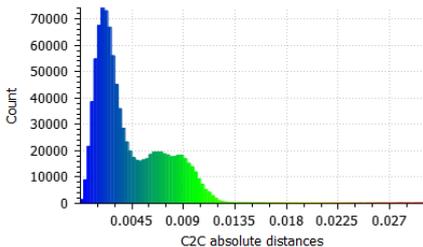
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 1G a 3 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s		<p>C2C absolute distances (909751 values) [100 classes]</p> 
40 mm/s		<p>C2C absolute distances (935110 values) [100 classes]</p> 
60 mm/s		<p>C2C absolute distances * (906185 values) [100 classes]</p> 

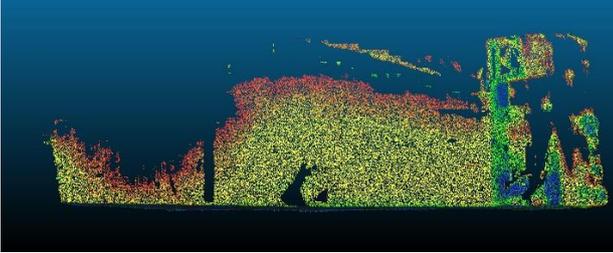
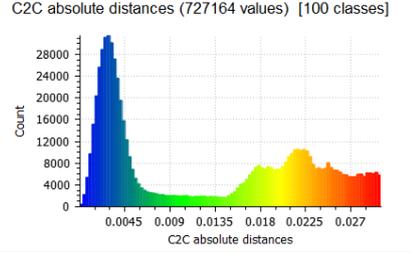
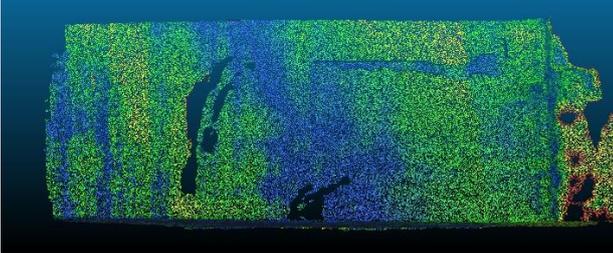
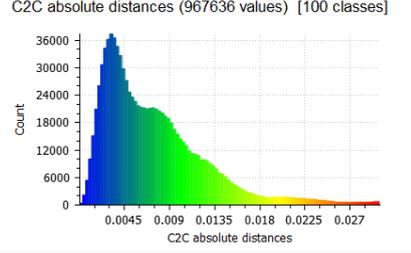
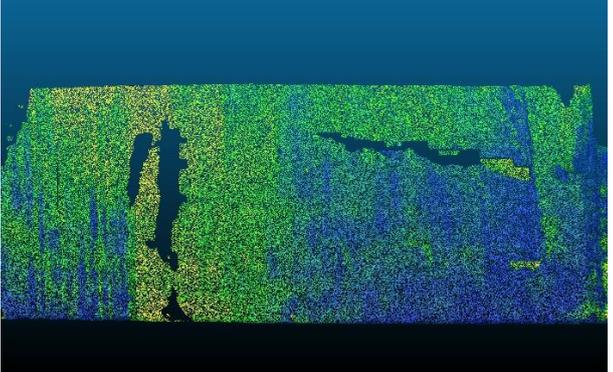
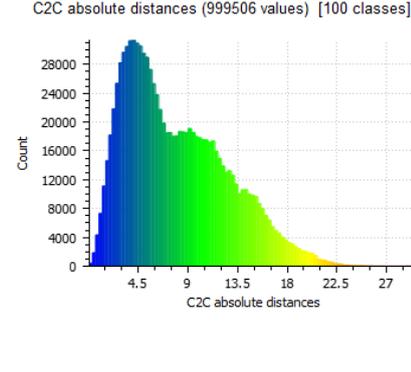
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 6C a 1 metro de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. El mapa muestra una estructura rectangular con una franja vertical oscura en el centro. Los bordes están delimitados por una línea amarilla brillante, indicando la distancia de 1 metro. El interior del mapa es predominantemente azul, con algunas variaciones de intensidad que sugieren diferentes niveles de profundidad.</p>	<p>C2C absolute distances (990249 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de C2C absolute distances a 20 mm/s. El eje horizontal (C2C absolute distances) va de 0 a 0.027. El eje vertical (Count) va de 0 a 180000. La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 180000 en el primer bin (cerca de 0.001).</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. Similar al mapa de 20 mm/s, pero con una mayor presencia de ruido y variación de color (verde y amarillo) en las zonas laterales, lo que indica una mayor dispersión de los datos de profundidad.</p>	<p>C2C absolute distances (972348 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de C2C absolute distances a 40 mm/s. El eje horizontal (C2C absolute distances) va de 0 a 0.027. El eje vertical (Count) va de 0 a 70000. La distribución es sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 70000 en el primer bin.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. El mapa muestra una estructura rectangular con una franja vertical oscura en el centro. Los bordes están delimitados por una línea amarilla brillante. El interior del mapa es predominantemente azul, con algunas variaciones de intensidad que sugieren diferentes niveles de profundidad.</p>	<p>C2C absolute distances (986390 values) [100 classes]</p>  <p>Histograma de C2C absolute distances a 60 mm/s. El eje horizontal (C2C absolute distances) va de 0 a 0.027. El eje vertical (Count) va de 0 a 150000. La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 150000 en el primer bin.</p>

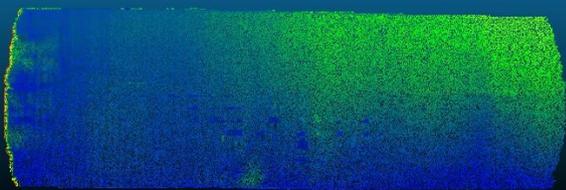
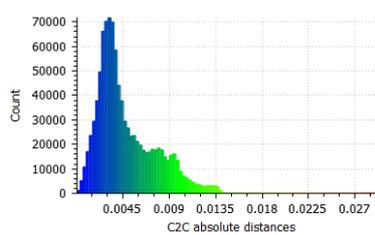
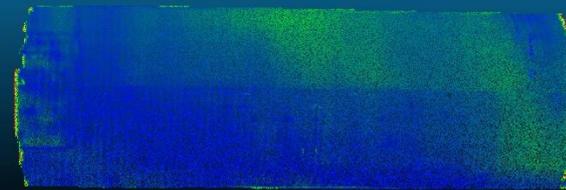
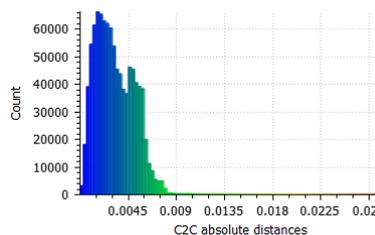
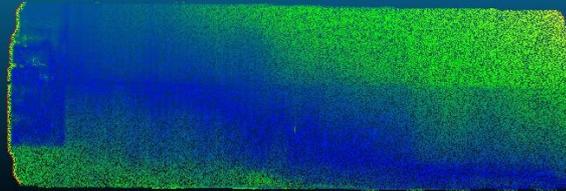
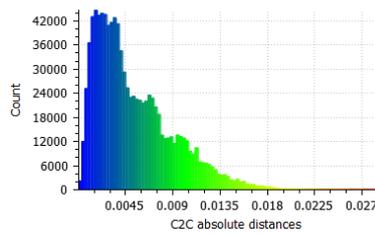
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 6C a 2 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. El punto de vista es desde el borde superior izquierdo del edificio, mostrando una gran superficie plana cubierta de puntos de color verde y amarillo, con una franja azul en el borde superior izquierdo.</p>	<p>C2C absolute distances (988812 values) [100 classes]</p>  <p>El histograma muestra una distribución unimodal y asimétrica a la izquierda. El eje X (C2C absolute distances) va de 0.0045 a 0.027. El eje Y (Count) va de 0 a 27000. El pico principal está alrededor de 0.0135.</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. El punto de vista es desde el borde superior izquierdo del edificio. Se ven más detalles de la estructura, con una gran zona de puntos verdes y amarillos, y una zona de puntos azules y verdes más oscura a la izquierda.</p>	<p>C2C absolute distances (1000146 values) [100 classes]</p>  <p>El histograma muestra una distribución bimodal. El eje X (C2C absolute distances) va de 0.004 a 0.024. El eje Y (Count) va de 0 a 36000. Hay un primer pico a unos 0.004 y un segundo pico a unos 0.012.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. El punto de vista es desde el borde superior izquierdo del edificio. Se ven muchos detalles de la estructura, con una gran zona de puntos azules y verdes, y una zona de puntos amarillos y verdes a la derecha.</p>	<p>C2C absolute distances (987159 values) [100 classes]</p>  <p>El histograma muestra una distribución bimodal. El eje X (C2C absolute distances) va de 0.0045 a 0.027. El eje Y (Count) va de 0 a 70000. Hay un primer pico a unos 0.0045 y un segundo pico a unos 0.0135.</p>

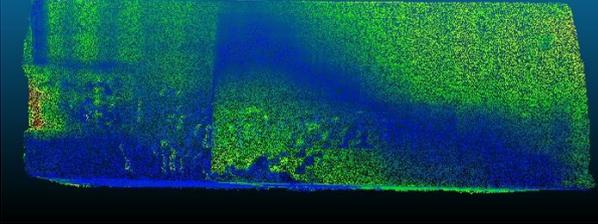
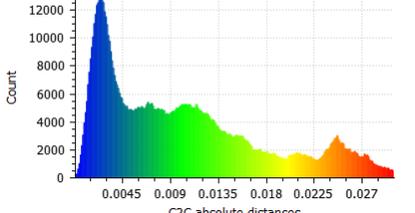
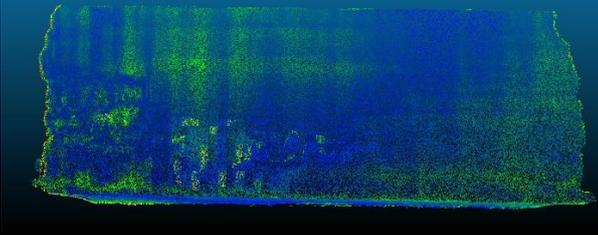
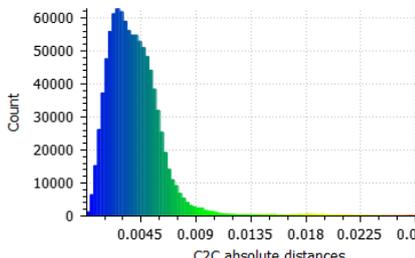
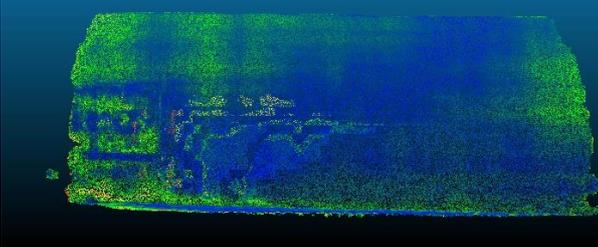
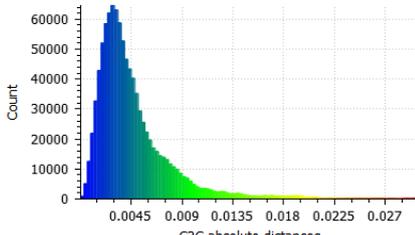
Reconstrucción cámara ZED en el Edificio 6C a 3 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s		<p>C2C absolute distances (727164 values) [100 classes]</p> 
40 mm/s		<p>C2C absolute distances (967636 values) [100 classes]</p> 
60 mm/s		<p>C2C absolute distances (999506 values) [100 classes]</p> 

Reconstrucción cámara ZED en el Edificio Nexus a 1 metro de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 20 mm/s. El mapa muestra una distribución de puntos de color que representa la distancia a los objetos. Los colores oscuros (azules) indican mayor distancia, mientras que los colores claros (verdes y amarillos) indican menor distancia. El objeto principal ocupa la mayor parte del campo de visión.</p>	 <p>C2C absolute distances (995686 values) [100 classes]. El histograma muestra la distribución de las distancias absolutas. El eje X representa las distancias absolutas (C2C absolute distances) con marcas en 0.0045, 0.009, 0.0135, 0.018, 0.0225 y 0.027. El eje Y representa el número de conteos (Count) con marcas en 0, 10000, 20000, 30000, 40000, 50000, 60000 y 70000. La distribución es altamente sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 70,000 conteos a una distancia de unos 0.0045.</p>
40 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 40 mm/s. Similar al mapa de 20 mm/s, pero con una mayor dispersión de los puntos de profundidad, especialmente en las zonas más alejadas del objeto principal.</p>	 <p>C2C absolute distances (994630 values) [100 classes]. El histograma muestra la distribución de las distancias absolutas. El eje X representa las distancias absolutas (C2C absolute distances) con marcas en 0.0045, 0.009, 0.0135, 0.018, 0.0225 y 0.027. El eje Y representa el número de conteos (Count) con marcas en 0, 10000, 20000, 30000, 40000, 50000 y 60000. La distribución es sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 60,000 conteos a una distancia de unos 0.0045.</p>
60 mm/s	 <p>Mapa de profundidad a 60 mm/s. Muestra una mayor dispersión de los puntos de profundidad en comparación con las velocidades anteriores, indicando un mayor ruido o menor precisión en las mediciones de distancia.</p>	 <p>C2C absolute distances (991356 values) [100 classes]. El histograma muestra la distribución de las distancias absolutas. El eje X representa las distancias absolutas (C2C absolute distances) con marcas en 0.0045, 0.009, 0.0135, 0.018, 0.0225 y 0.027. El eje Y representa el número de conteos (Count) con marcas en 0, 6000, 12000, 18000, 24000, 30000, 36000 y 42000. La distribución es sesgada hacia la izquierda, con un pico máximo de aproximadamente 42,000 conteos a una distancia de unos 0.0045.</p>

Reconstrucción cámara ZED en el Edificio Nexus a 2 metros de distancia

Velocidad	Mapa	Histograma
20 mm/s		<p>C2C absolute distances (924699 values) [256 classes]</p> 
40 mm/s		<p>C2C absolute distances (996092 values) [100 classes]</p> 
60 mm/s		<p>C2C absolute distances (994115 values) [100 classes]</p> 

Conclusiones

Según el análisis, la distancia con resultados más consistentes ha sido a 1 m, y la velocidad no parece afectar significativamente a los resultados, pero sí parece haber una ligera mejora a 40 mm/s. Pero a 2 y 3m, parece que velocidades mayores ofrecen mejores resultados, posiblemente al permitir que el instrumento utilice comparaciones entre múltiples cuadros a mayor separación para la reconstrucción de la malla aprovechando la paralaje.

Los resultados a 3m son aceptables, pero no ideales, por lo que no es recomendable hacer el escaneo a una distancia mayor de 2 m.

En todo caso, las diferencias medidas en este estudio no representan una variación significativa y no deberían determinar la velocidad o distancia exacta del sistema, solo un rango aceptable dentro del cual los resultados serán fiables.

Por tanto, el rango de trabajo de la ZED es entre 1 y 2m y entre 20 y 60 mm/s.

En cuanto a la operatividad del archivo del escáner ZED, se ha demostrado que ha sido imposible importar el archivo con la calidad suficiente en un programa BIM.

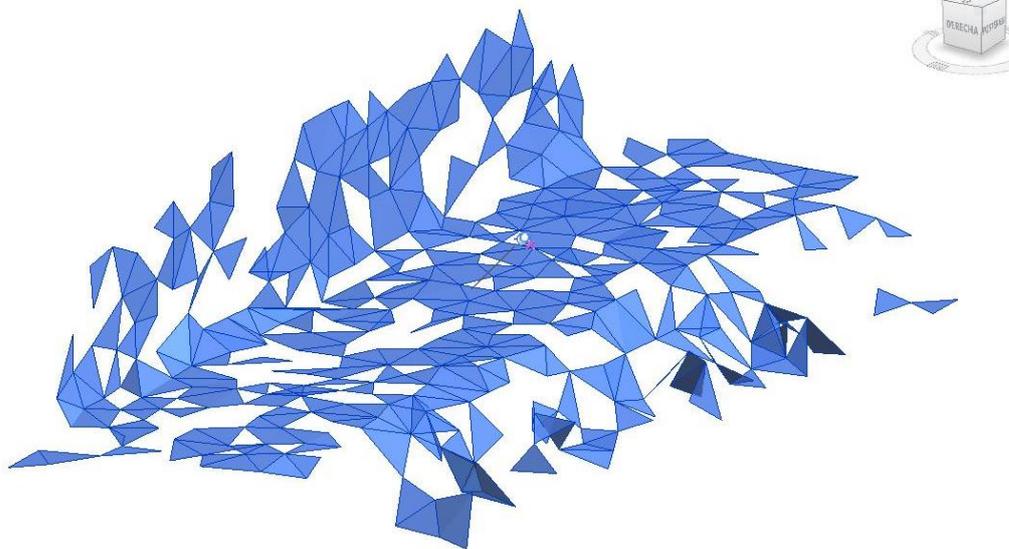


Ilustración 112: Malla extraída del escáner láser ZED importado en el programa BIM Revit.

El archivo extraído de la ZED debe ser transformado, mediante su importación a varios programas especializados, hasta que el programa BIM pueda abrir la malla con la geometría de la fachada analizada.

Por estos motivos, es imprescindible seguir investigando en este sentido para poder importar el modelo 3D en el archivo BIM.

[T.I.07] ESCÁNER LÁSER 3D PICO MONSTAR

El instrumento LIDAR elegido para esta tarea es la cámara Pico Monstar de la empresa PMD.

Algunas limitaciones de este tipo de tecnología son similares a las de otras tecnologías de medición a distancia: superficies altamente reflectantes o transparentes distorsionan o desvían completamente el pulso que se utiliza para medir y por lo tanto la información será errónea o inexistente.

Algunos factores que afectan a la precisión de la medición es el tiempo de captura, al permitir que la cámara genere un elevado promedio de mediciones y produzca una nube con menos ruido, pero también puede incluir elementos en movimiento, debido al mayor tiempo de captura. La distancia también determina la densidad de puntos: cuanto más cerca de la superficie de adquisición, mayor densidad de puntos, algo similar a lo que sucede con una cámara convencional.

La cámara de tiempo de vuelo (*time of flight*, TOF) es un sistema de medición contenido, que no requiere de un procesamiento externo para la generación de información, lo que libera tiempo de procesamiento en el momento de la captura.

La salida de información de la cámara es una serie de *frames* o cuadros, compuestos por nubes de puntos. No tiene ningún tipo de reconstrucción ni odometría, lo que hace que sea necesario un procesamiento posterior de esta información para poder llegar a una reconstrucción de una superficie mayor a la que se pueda capturar en un único cuadro.

Metodología

El escáner 3D Pico Mostar se utilizó para capturar una serie de *frames* a lo largo de un desplazamiento lineal de 2 metros. Estas mediciones se repitieron tres veces a tres distancias y a tres velocidades distintas para un total de 9 variaciones y 27 adquisiciones en total para cada fachada.

T.I. 07 ESCÁNER LÁSER PICO MONSTAR

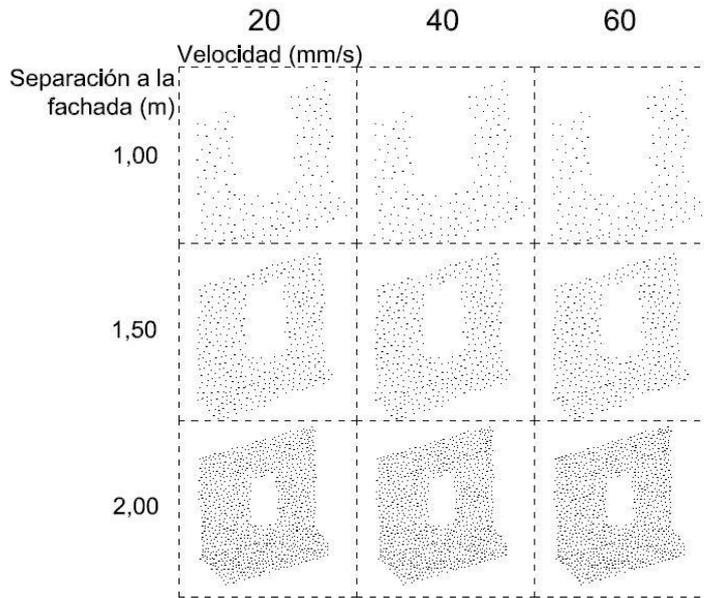


Ilustración 113: Esquema matriz de ensayos del escáner Pico Monstar.

Se realizó un primer análisis para determinar la fiabilidad de la cámara midiendo la desviación de las mediciones a cada velocidad y distancia. Con estos resultados, se procedió a hacer una reconstrucción de la sección de fachada con un algoritmo optimizado para esta tarea y todos los resultados se compararon para determinar la desviación de las reconstrucciones.

Por último, cada reconstrucción se analizó para determinar su planicidad, ruido y utilidad para el estudio por parte de expertos.

Implementación

Para poder hacer una reconstrucción útil para el análisis de fachadas, primero se determinaron los parámetros de adquisición que dieran resultados precisos, incluso estando el instrumento en movimiento.

El escáner fue adquiriendo capturas a la velocidad y calidad establecida que daba un 50% o más de solape. Esto permitía tener suficiente información en común para poder unir las diversas capturas en una reconstrucción continua.

Para poder hacer una única nube de puntos de toda la fachada a partir de pequeños fragmentos individuales, primero se debe saber en modo aproximado a qué zona de la fachada pertenece cada nube. Esto se hace modificando el origen virtual de cada fragmento de nube de puntos para que pase de ser una coordenada relativa a la cámara a una coordenada global que compartirá con todas las otras adquisiciones.

El cambio de coordenada a coordenadas locales de cada fotografía individual se hace con la información que tiene el sistema de su posición en el momento de la captura. Esta odometría permite posicionar cada fotografía en modo virtual con una precisión inferior a los 5 centímetros cada fragmento de la fachada.

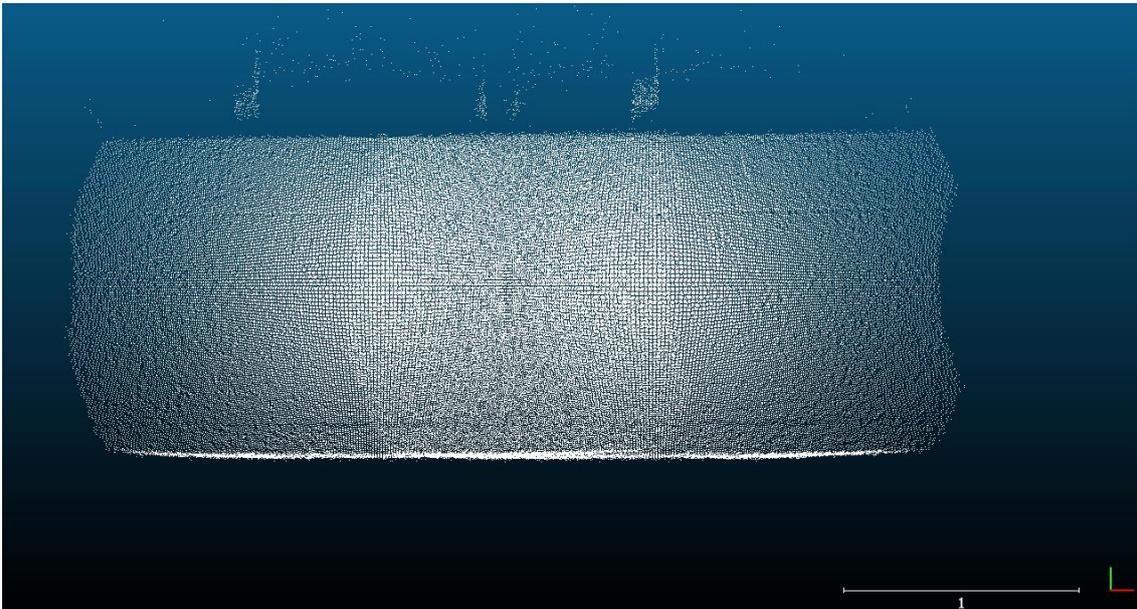


Ilustración 114: Dos nubes de puntos pre-alineadas con zona de solape en medio.

El posicionamiento aproximado inicial, que es un modo fácil y rápido de posicionado que no ofrece la precisión necesaria para la reconstrucción final, puede tener desplazamientos y rotaciones en múltiples ejes, lo que presenta un mayor problema para la reconstrucción de una fachada que principalmente tiene elementos planos.

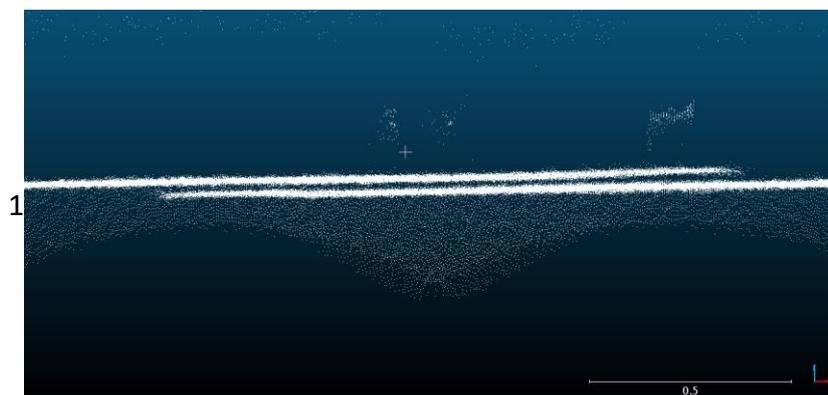


Ilustración 115: Desviación entre planos de fachada de las dos nubes.

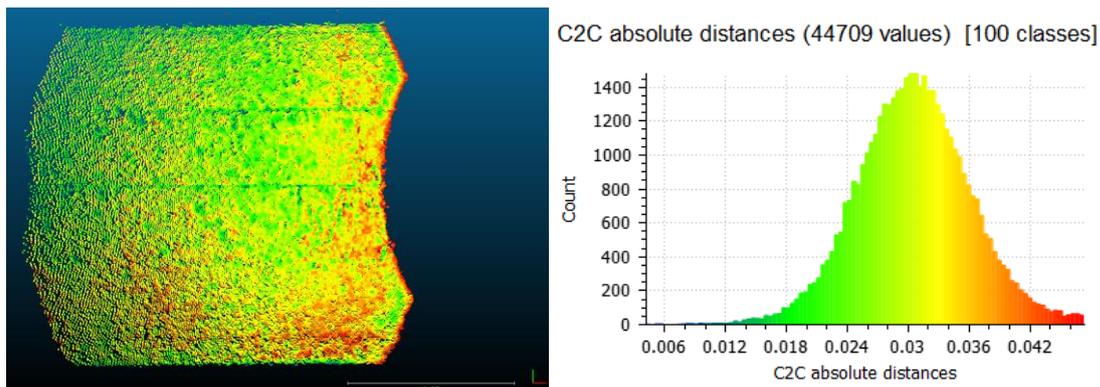


Ilustración 116: Cuantificación de la desviación.

En este punto, las nubes de puntos son archivos independientes con coordenadas globales aproximadas. Si se quisiera hacer una reconstrucción de toda la fachada, se podría fácilmente crear un archivo único que incluya todas las adquisiciones y se tendría una visión general.

Hay varios problemas con este procedimiento. El primero, como ya se ha visto, es la desviación de cada una de las nubes de puntos. Otro problema es la cantidad de información, que con un solape de 50% o más, genera mucha información redundante, ruidosa e inconsistente.

Para resolver cada uno de estos problemas, se desarrolló un programa que permitía obtener una reconstrucción limpia y ligera de la fachada para que resulte útil en el análisis por un experto.

El primer paso es la alineación refinada de cada nube de puntos. Debido a la información de los sensores de posicionamiento del sistema, se puede garantizar que está a menos de 5 centímetros de su posición exacta, lo que permite crear un algoritmo de posicionamiento con varias variables muy delimitadas, conduciendo a resultados más precisos en menor tiempo.

Existen diversos algoritmos para el posicionamiento de nubes de puntos, algunos son utilizados para reconstrucciones en tiempo real. Otros para alineamiento de precisión con nubes de alta fidelidad.

Debido a la densidad de puntos de la adquisición, y el uso final de la nube de puntos, una precisión inferior al centímetro se consideró innecesaria debido a la complejidad y demora introducidas, por lo que algoritmos de alta precisión fueron descartados en favor de algoritmos más robustos, autónomos y veloces.

Puesto que la nube de puntos tiene la información de odometría del sistema, que es compartida por todas las tecnologías de adquisición, algoritmos como SLAM (*simultaneous localization and mapping*) también fueron descartados, al no ser necesario el procesamiento adicional para localización.

Otros algoritmos probados fueron del tipo SfM (Structure from Motion) pero debido al procesamiento adicional y la posibilidad de fallo y deformación acumulada, se optó por descartarlos por un algoritmo que solo hiciera pequeñas correcciones locales sin cambiar la estructura general de la adquisición.

El tipo de algoritmo elegido es del tipo ICP (Iterative closest point), en el cual una nube de puntos es la referencia y otra es la que sufrirá desplazamiento y rotación para alinearse.

El algoritmo empieza con la posición aproximada de la nube y realiza pequeños ajustes en desplazamiento y rotación. A continuación, calcula la distancia que hay entre los puntos usando la media del cuadrado de las distancias, repitiendo todo el proceso al finalizar.

De este modo, intenta minimizar la desviación entre las dos nubes, hasta que llega a un valor de desviación aceptable que es definido por el usuario.

Este tipo de algoritmo tiene varios parámetros que se pueden optimizar y limitar. En el caso de las nubes de puntos de fachada, se sabe la desviación y rotación máxima, lo que permite al algoritmo solo hacer pequeños ajustes y reduce el tiempo de computación. Del mismo modo, una tolerancia laxa reduce significativamente el tiempo de cálculo.

Para la alineación de las nubes de puntos, se ha limitado el desplazamiento máximo a 3 centímetros, lo que dejaría un error aceptable de un centímetro más o menos en los casos de máximo error de posicionamiento con la odometría del sistema.

Un posible problema con este tipo de tecnología al momento de usar algoritmos ICP (Iterative Closest Point) es que, para estructuras con muy poco detalle, no hay puntos de referencia suficientes para un posicionamiento coplanar correcto. Es decir, que, una vez garantizada la planicidad, no hay nada que ayude a desplazar los centímetros que pueda haber de desviación entre adquisiciones.

Hay dos motivos por los cuáles esto no es un problema para este proceso de reconstrucción. El primero es que, al no haber detalles distintivos, la nube de puntos no cambia en nada con ese desplazamiento, el resultado sería indistinguible entre un buen posicionamiento y el peor desplazamiento posible.

Otro motivo por el cual esto no es un problema es porque el error no es acumulativo, lo que hace que incluso si una nube de puntos fue alineada con algunos centímetros de desplazamiento incorrecto, la siguiente adquisición ya tiene su posicionamiento inicial gracias a la odometría del sistema y su máximo desplazamiento respecto a ese posicionamiento inicial será de solo 3 centímetros.

Por estos dos motivos, el error global del reposicionamiento de toda la fachada no superaría la desviación del sistema de odometría que es máximo 5 centímetros más 3 centímetros en el peor caso de alineamiento en fachadas sin detalles.

Una vez la fachada fue reconstruida por todos los fragmentos de nubes, se pasó a un proceso de refinamiento. Aquí hay varias cosas que se tuvieron que corregir para pasar a un archivo manejable y útil. El principal problema en este punto es la superposición de mucha información, lo que crea una nube de puntos con densidad altamente variable, con zonas que presentan problemas debido al ruido inherente de la tecnología de adquisición, a la acumulación de múltiples solapes, objetos extraños y errores durante el proceso.

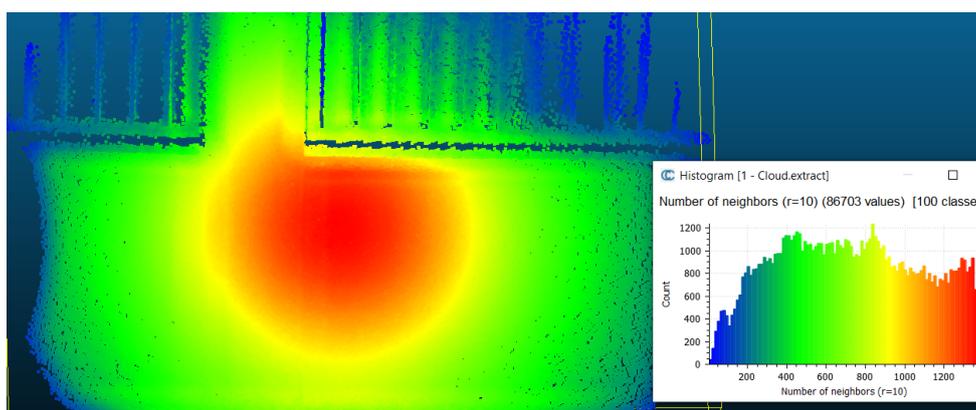


Ilustración 117: Mapa de densidad de puntos de una captura individual a un metro de distancia.

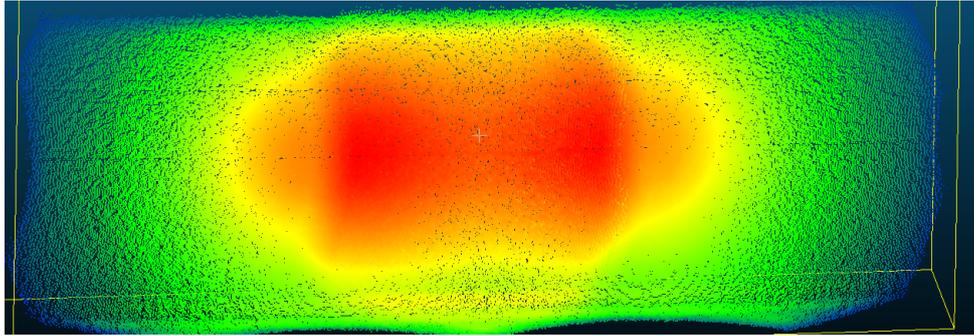


Ilustración 118: Mapa de densidad de puntos de una nube de puntos a un metro de distancia.

Para mejorar el resultado de empalme de múltiples nubes de puntos, se utilizó un proceso de reducción de puntos para mantener una densidad uniforme. Esto tiene varias ventajas, la más importante respecto a la calidad final de la nube es que hace un promedio de todos los puntos que se encuentran en un volumen determinado y deja un único punto, lo que hace que el ruido y pequeños errores se mitiguen y cuantas más adquisiciones y densidad de puntos haya, el promedio dará un resultado más fiable. Además, este proceso vuelve mucho más ligera y fácil de visualizar la nube de puntos, lo que es ideal para el trabajo posterior.

Hay diferentes algoritmos para reducir una nube de puntos. Algunos reconstruyen usando una retícula ortogonal 3D, otros siguen la estructura original de la nube de puntos, otros usan métodos aleatorios.

Para este tipo de estructuras, se determinó que el método altamente regular de la retícula 3D podría generar *aliasing* en aristas y reduciría la utilidad final de la nube. Además, un método aleatorio podría borrar algunos detalles pequeños de las adquisiciones, por lo que se optó por tratar de conservar la estructura original de la nube de puntos.

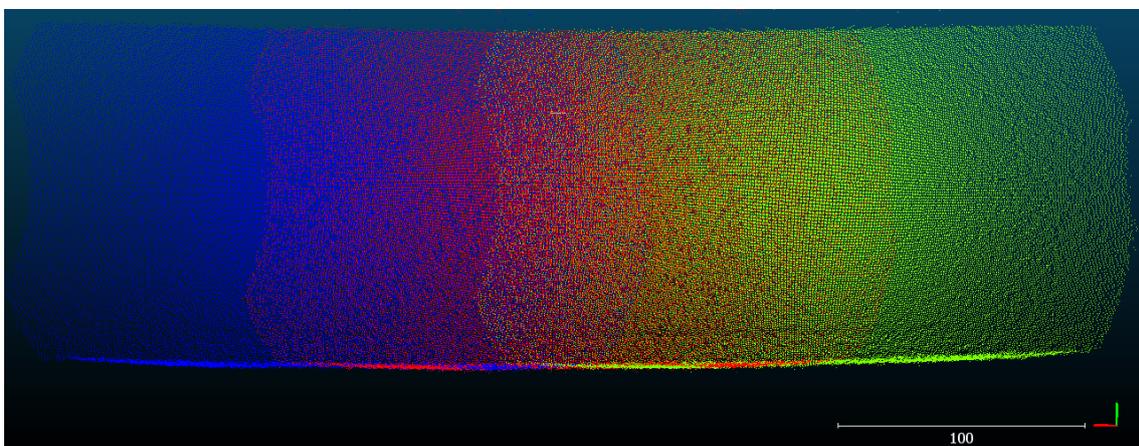


Ilustración 119: Tres nubes de puntos azul, roja y amarilla alineadas, pero sin decimar.

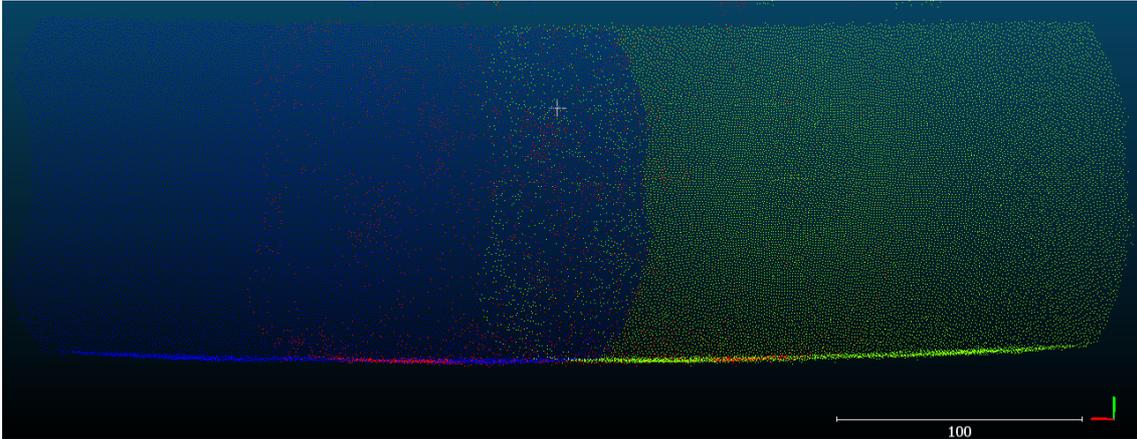


Ilustración 120: Resultado de la reducción.

Los resultados son más fáciles de ver y tienen entre 5 y 6 veces menos puntos que la unión de las nubes.

En las zonas de múltiples solapes, se puede ver que algunos de los puntos finales pertenecen a las tres nubes. En cambio, en zonas de poco solape, predominan las de la nube independiente.

El proceso de reducción tiene un prefiltrado leve que ayuda a reducir algo del ruido intrínseco de las adquisiciones, pero no es suficiente para corregir todas las desviaciones y errores generales.

La decisión de no implementar un filtro más fuerte es que la pérdida de información real no compensa la remoción de falsos positivos, y el uso de esta nube de puntos por parte de un experto no afecta significativamente a su utilidad al dejar algo de ruido, mientras que perder detalles constructivos importantes puede ser un perjuicio mayor.

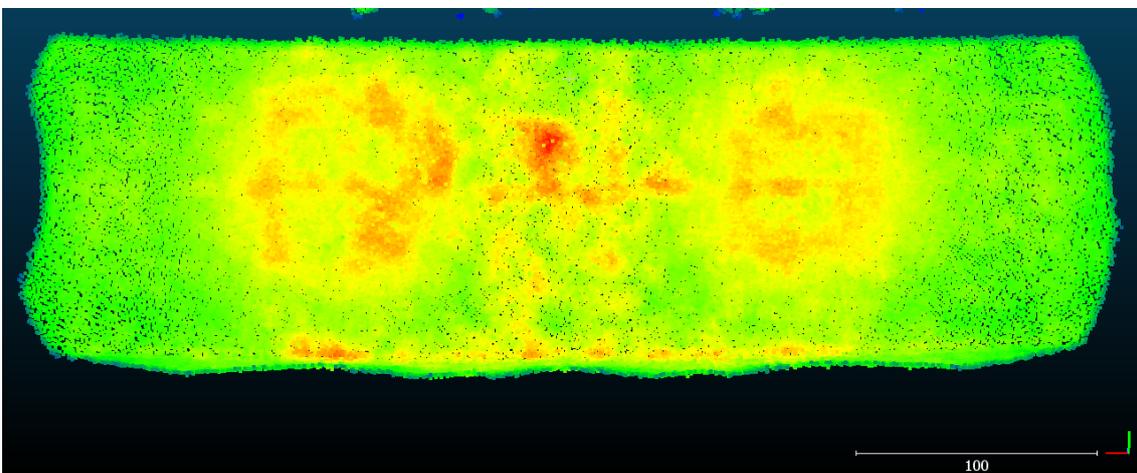


Ilustración 121: Mapa con zonas de mayor densidad después de decimar.

El solape del ruido de múltiples adquisiciones puede apreciarse en algunas zonas de mayor densidad. Esto es debido a que el ruido suele separarse del plano de la fachada y no se ve afectado del mismo modo por la reducción. Aunque este ruido aumenta un poco el peso del archivo y la dificultad de lectura, el resultado es significativamente mejor que la superposición inicial de las nubes de puntos sin procesar.

Además del ruido cerca de la fachada, aparecen también algunos puntos dispersos en todo el volumen de la adquisición, esto se debe a ruido, errores, reflejos y otros elementos extraños presentes durante la adquisición. La reducción logra eliminar algunos de estos problemas, pero posteriormente, volver a realizar un filtrado basado en cercanía de puntos permite eliminar los puntos sueltos.

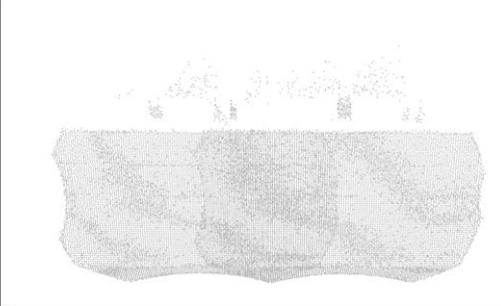
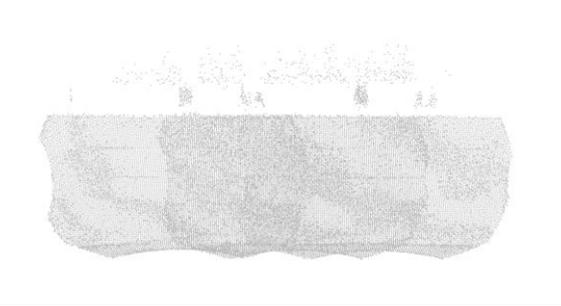
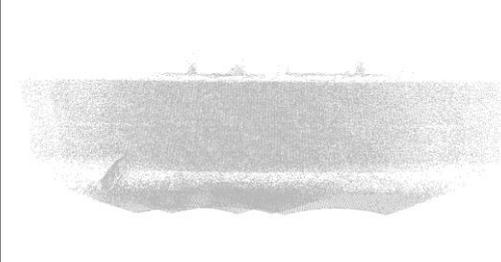
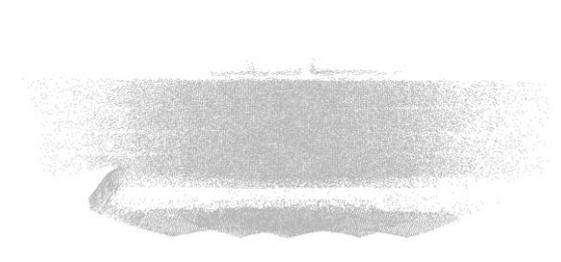
Los resultados de este filtrado se pueden apreciar no solo en la reducción de algo del ruido de la fachada, sino también en la reducción significativa del volumen de la nube, o la caja de confinamiento.

Una vez finalizado todo el proceso de reconstrucción, se verificó el resultado utilizando como comparación un plano perfecto sobre la fachada y evaluando la distancia hasta cada punto de la nube. Los resultados cuantitativos indican que el 95% de los puntos se encuentran a menos de un centímetro de la planicidad perfecta.

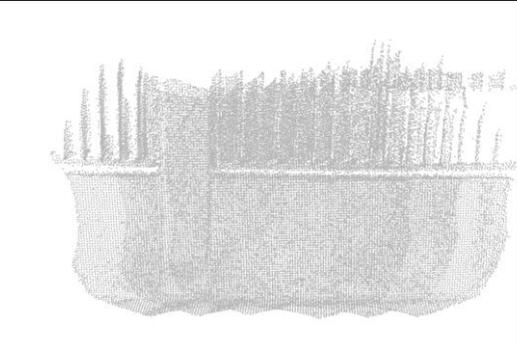
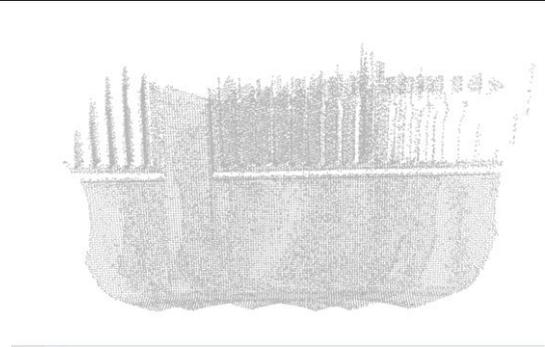
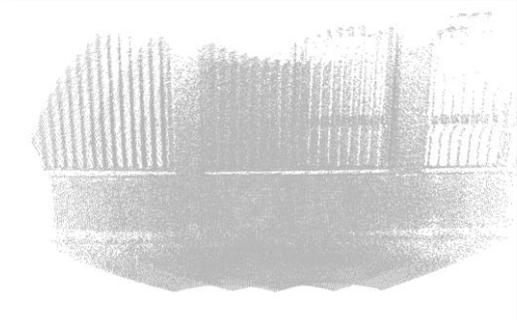
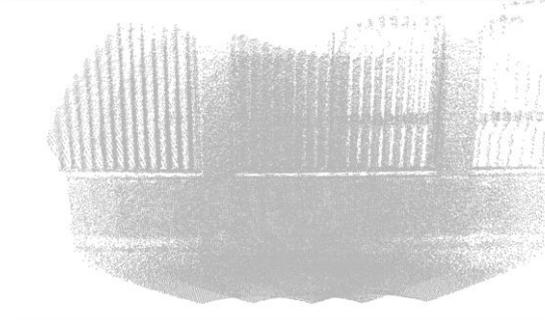
Teniendo en consideración que la fachada analizada no es perfecta y que tiene algunos detalles de relieve, este resultado es más que suficiente para el propósito de la reconstrucción. Además, es un proceso rápido y robusto.

Resultados

Edificio 1F

	20mm/s	60mm/s
1 metro		
2 metros		

Edificio 1G

	20mm/s	60mm/s
1 metro		
2 metros		

Edificio 6C

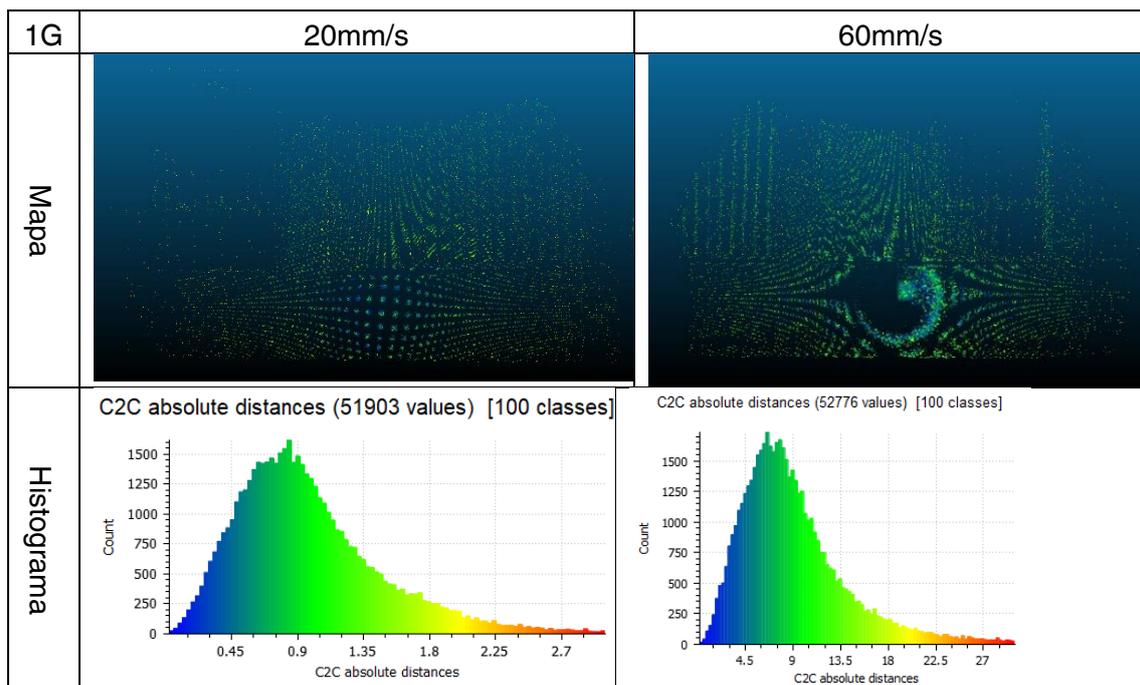
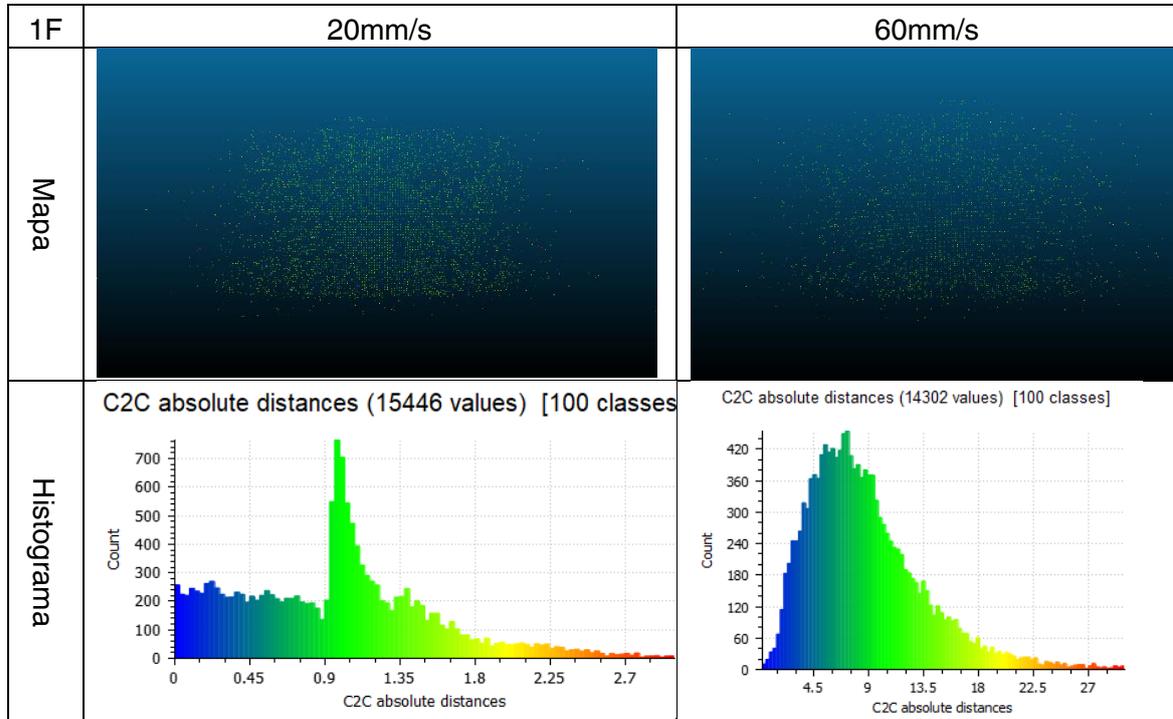
	20mm/s	60mm/s
1 metro		
2 metros		

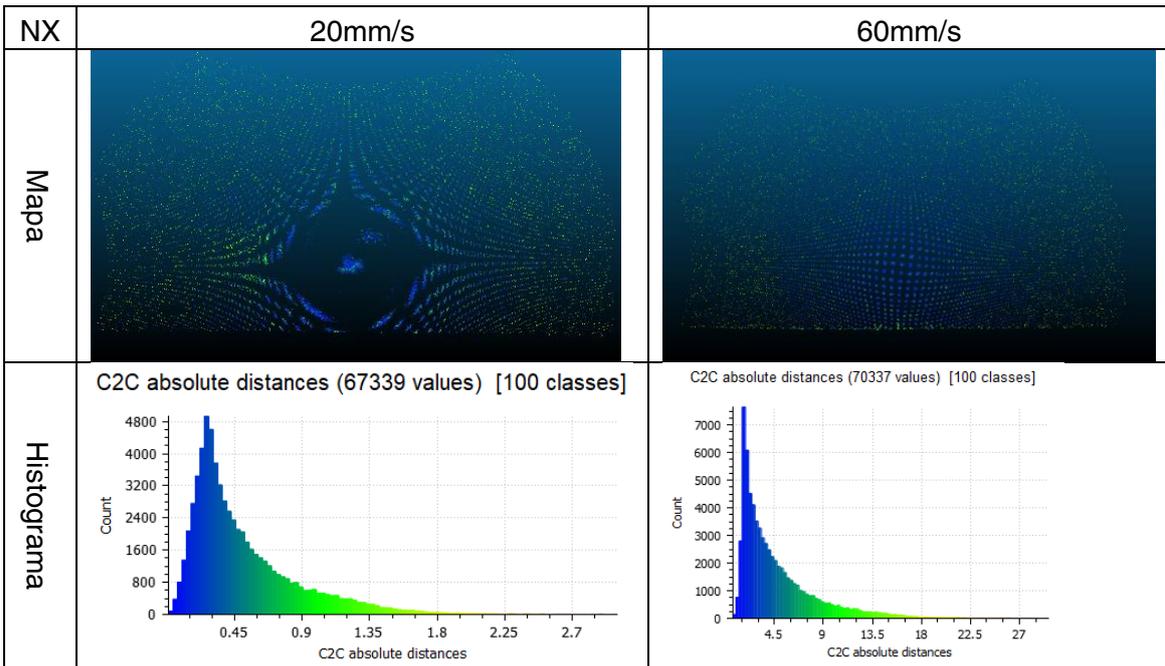
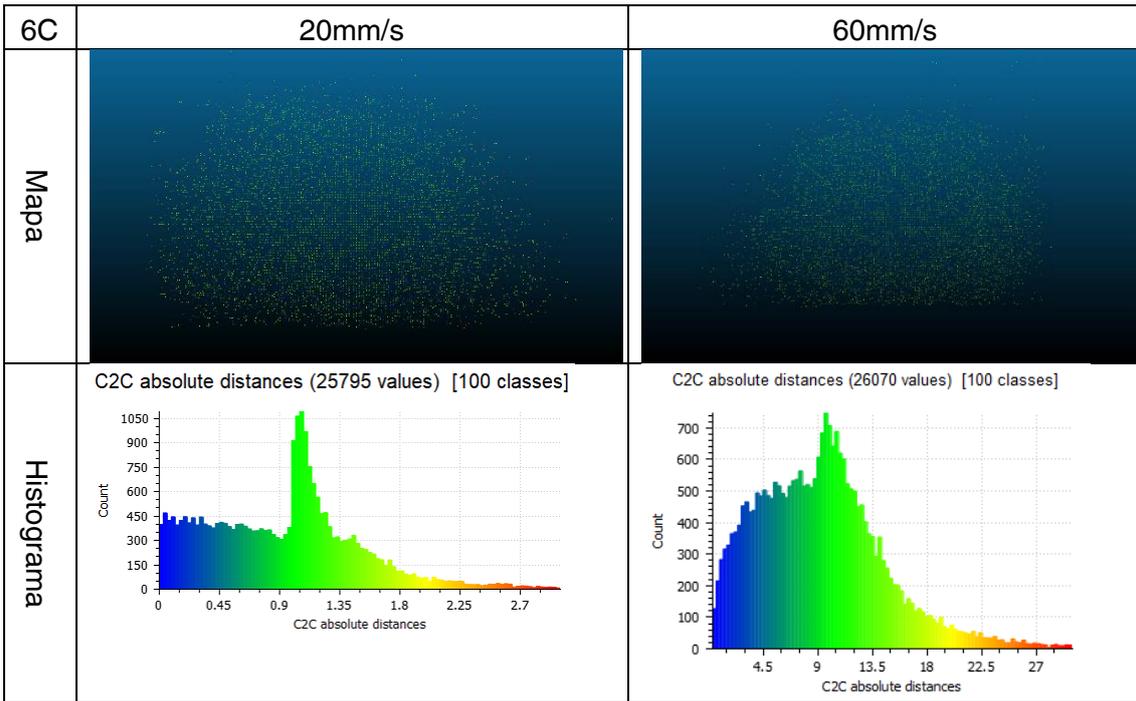
Edificio Nexus

	20mm/s	60mm/s
1 metro		
2 metros		

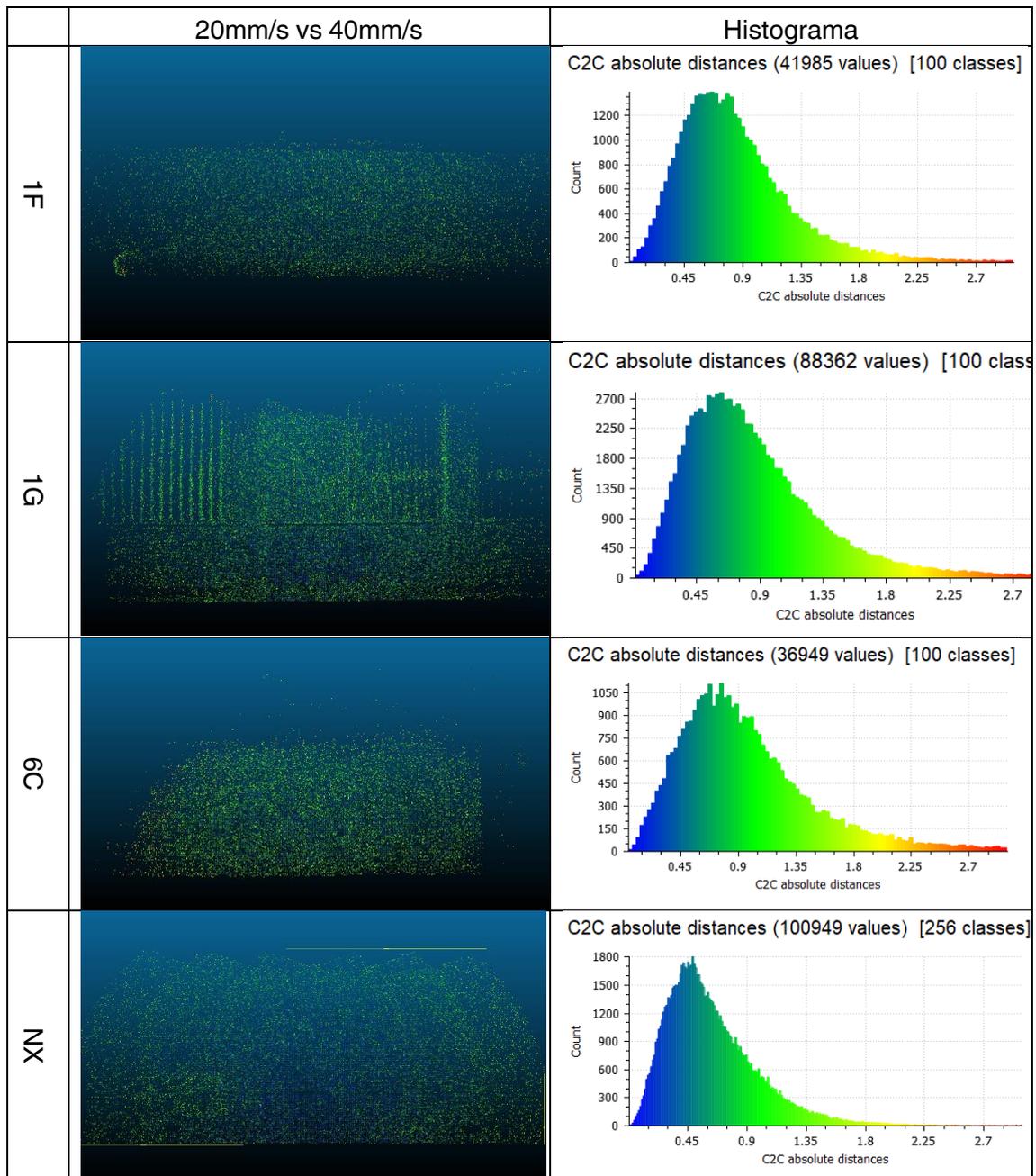
Análisis cuantitativo

El primer análisis realizado es la variación entre adquisiciones individuales realizadas a 2 m a 20 mm/s y 40 mm/s, para evaluar la mayor distancia y la velocidad menor y mayor para tener una variación mayor. En todos los casos, hubo una desviación media cercana a los 10 mm, lo que es una desviación aceptable para dos metros de distancia.





Para cuantificar los efectos de la velocidad en la adquisición se comparó la reconstrucción automática de las fachadas a 2 metros realizadas a 20 milímetros por segundo y a 60 milímetros por segundo.



En las cuatro fachadas, se apreció una desviación inferior a 10 mm para el 90% de los puntos y 20 mm para el 98% de los puntos.

Tomando como base que la medición a menor velocidad es más precisa, un aumento de 10 mm de desviación al triplicar la velocidad de adquisición es una contraprestación

aceptable para el proyecto, por lo que se considera que, para esta tecnología, una velocidad máxima de 60 mm/s es aceptable y está dentro de los rangos de tolerancia.

Análisis cualitativo

En cuanto al estudio cualitativo de esta técnica de inspección se ha realizado mediante la comparativa de las nubes de puntos registradas contando con varios expertos en el modelado BIM.

El ensayo ha consistido en mostrar a los expertos los 4 modelos virtuales, realizados a la máxima velocidad de ensayo para cada tipología constructiva y que puedan dar valores acotados de calidad a cada una de ellas, recogiendo los datos en una pequeña encuesta para agilizar la toma de datos. Así pues, la encuesta está formada por una pequeña descripción del ensayo, y 4 nubes de puntos seleccionadas, una para cada edificio, realizadas con las distintas nubes tomadas a la máxima velocidad y a la máxima separación de la fachada.

El contenido de ésta se transcribe a continuación:

El proyecto ROBIM (robótica autónoma para la inspección y diagnóstico de fachadas existentes con integración BIM), en el que participa la Universitat Politècnica de València, junto con otras universidades, centros tecnológicos y empresas de ámbito nacional, ha realizado varias pruebas que deben ser validadas por expertos en cada una de sus áreas.

El ensayo ha consistido en escanear una porción de la fachada de 4 edificios que tienen diferentes sistemas constructivos en un recorrido de 2 m.

Se ha realizado una recopilación de todas las nubes de puntos de la superficie analizada. Los ensayos se han realizado a 2 m de separaciones de la pared y a una velocidad de 60 mm/s, con lo que se han generado 4 panorámicas de cada fachada.

Los edificios han sido nombrados según la nomenclatura del campus de la UPV, el edificio 1F, 1G, 6C y Nexus.

El objetivo consiste en visualizar las panorámicas y responder a las siguientes cuestiones.

A continuación, aparecen las preguntas a responder y las distintas posibilidades.

Facilidad de importación

Imposible importar los datos; Pesa demasiado y por tanto tardo demasiado tiempo; Cuesta mucho importar el modelo; Cuesta poco importar el modelo; No he tenido ningún problema en importar el modelo.

Fiabilidad del archivo para realizar el modelo

El archivo es muy poco fiable para tener un modelo fiel; El archivo es poco fiable para tener un modelo fiel; El archivo es aceptablemente fiable para tener un modelo fiel; El archivo es bastante fiable para tener un modelo fiel; El archivo es muy fiable para tener un modelo fiel.

Densidad de información

Insuficiente densidad; Poca densidad; Densidad media; Alta densidad; Altísima densidad.

Validez del archivo para generar un modelo BIM

Si; No.

Resultados

Una vez realizado este ensayo los resultados han sido los siguientes:

En cuanto al edificio 1G:

La facilidad de importación ha sido valorada como muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como fiable.

La densidad ha sido valorada como media densidad.

La validez del archivo para generar un modelo BIM ha sido negativo.

En cuanto al edificio 1F:

La facilidad de importación ha sido valorada como muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como muy poco fiable.

La densidad ha sido valorada como poca densidad.

La validez del archivo para generar un modelo BIM ha sido negativo.

En cuanto al edificio 6C:

La facilidad de importación ha sido valorada como muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como muy poco fiable.

La densidad ha sido valorada como poca o insuficiente.

La validez del archivo para generar un modelo BIM ha sido negativo.

En cuanto al edificio Nexus:

La facilidad de importación ha sido valorada como muy buena.

La fiabilidad ha sido valorada como muy poco fiable.

La densidad ha sido valorada como media.

La validez del archivo para generar un modelo BIM ha sido negativo.

Conclusiones

La técnica de inspección del escáner laser 3D, en concreto el modelo Pico Monstar, ha conseguido muy buenos resultados en cuanto a cantidad de puntos y a la obtención de una nube homogénea capaz de generar un archivo único uniendo los diferentes *frames* escaneados, como puede observarse en los análisis cuantitativos, donde se puede observar cómo la desviación es menos que 10mm.

Sin embargo, al generar un modelo BIM a partir de este archivo, los análisis cualitativos han demostrado que no es suficientemente fiable, y que necesita mejorar o adaptar el modelo, los datos obtenidos y la unión de los diferentes escaneos individuales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la tecnología actual no es suficiente para generar un modelo con este tipo de escáneres, por lo que sirven de apoyo para encontrar los puntos conflictivos encontrados en el escaneo terrestre realizado al inicio de la inspección con el que realizar el modelo BIM base.

III.3. Desarrollo de la metodología de inspección y diagnóstico

La metodología de inspección desarrollada en esta tesis doctoral se ha diseñado a partir del estudio de los protocolos de inspección existentes, anteriormente desarrolladas en el estado del arte del Capítulo I. Todas ellas plantean un escenario común: una inspección basada en la experiencia y herramientas de las que se dispone para realizar el reconocimiento.

Las metodologías estudiadas difieren en el orden o nomenclatura de las fases y partes a analizar, pero la estructura de la información generada es muy similar. Tras la revisión del estado del arte se concluye que lo más adecuado es realizar una inspección visual en primer término, para obtener la información necesaria con la que caracterizar y diagnosticar las lesiones que aparezcan en el edificio.

Después del primer análisis visual se prepara una serie de inspecciones complementarias, como la ejecución de catas, pruebas de laboratorio de materiales, peritaciones estructurales o ensayos de técnicas no destructivas específicas. Éstas se realizan en las zonas del edificio donde se manifiestan los problemas encontrados en la inspección inicial, mediante la toma de datos más exhaustiva.

La metodología propuesta incluye la sustitución de la inspección ocular por la robotizada en la toma de datos de la inspección inicial, estableciendo así una gran diferencia entre la metodología planteada y las actuales, debido principalmente a la capacidad de automatizar una gran recolección de datos en poco tiempo de manera ordenada, que en un futuro podrá ser la base para una preselección de lesiones detectadas a través procesos informáticos, como ya ocurre en otros sectores.

La metodología propuesta pone de manifiesto los valores intrínsecos de operar con un sistema robotizado, semi independiente y remoto, que puede generar información útil y veraz de manera desatendida.

La información obtenida en la toma de datos robotizada será procesada posteriormente por personas expertas. Este nuevo sistema es diferente a los métodos de recopilación de información actuales, debido a la incorporación de un formato digital de

almacenamiento y procesado de información. Por tanto, implica un cambio metodológico de base.

Adicionalmente, el objetivo de la metodología es también sistematizar la información obtenida en las etapas de inspección. Este objetivo es fundamental para lograr una metodología útil para los expertos que inspeccionan los edificios.

El equipo del ROBIM ha desarrollado una aplicación informática, basada en la metodología propuesta, capaz de coordinar la atención a los requisitos referentes a la inspección, la gestión de datos interna y las capacidades del robot para efectuar el reconocimiento.

La aplicación está planteada para que todos los datos obtenidos se almacenen y puedan ser usados mediante filtros por los técnicos para realizar el diagnóstico. Para el desarrollo de la metodología se ha considerado adecuado dividir las etapas de inspección en las siguientes partes: la caracterización del edificio, la inspección inicial y la inspección complementaria.

Los datos derivados de la caracterización del edificio son incluidos de manera ordenada y respondiendo a unas opciones preestablecidas, para que se complete la información más relevante de la manera más sencilla posible.

La inspección inicial consiste en la toma de datos in situ. Podría realizarse incluso sin la presencia de los expertos en el edificio y consiste en obtener el barrido completo de la fachada, tanto en el espectro visible como térmico, así como una nube de puntos de ésta, con la suficiente calidad como para completar un modelo BIM del edificio analizado.

Una vez realizada esta inspección inicial, el sistema robotizado obtiene la información necesaria para que los expertos generen un diagnóstico preliminar, donde se puedan analizar las lesiones visibles, la geometría de la envolvente y los problemas que puedan detectarse por cambios térmicos.

A partir del diagnóstico de las personas expertas, se pueden preparar y coordinar las inspecciones complementarias para recabar información adicional y específica, con el fin de realizar el diagnóstico completo del edificio inspeccionado.

A continuación, se detalla cada una de las etapas de la inspección.

III.3.1. Caracterización del edificio

La caracterización del edificio consiste en obtener la información necesaria para conocer e identificar el edificio a analizar, a partir de sus datos administrativos, de su historial de uso y mantenimiento y de sus sistemas constructivos.

El objetivo principal de esta etapa es conocer cómo es el edificio y su tipología edificatoria. Los datos obtenidos se clasifican en datos administrativos y en información sobre la construcción del edificio. Los primeros son necesarios para identificar el edificio y los agentes intervinientes; y los segundos son la fecha de construcción, el nivel de protección patrimonial, la tipología de la envolvente, la materialidad, la estructura, las condiciones climáticas y el entorno inmediato.

Un objetivo adicional es la generación de una base de datos de inspección con el conjunto de edificios estudiados. Así, las características de todos los edificios analizados quedan registradas, añadiéndose a la base de datos del programa, lo que permite comparar edificios con lesiones similares.

Esta base de datos tendrá una herramienta de filtración de datos históricos para simplificar la gestión y el acceso. Tal prestación permite disponer de una base de datos con mucha información, que no solo mejora el proceso de diagnóstico, sino que además sirve como biblioteca o punto de referencia para poder encontrar los patrones que se repiten en los diferentes análisis.

El proceso de caracterización consiste en recopilar información necesaria para el diagnóstico del edificio en el formato diseñado para la aplicación de ROBIM. La estructuración de los datos de la aplicación se ha diseñado con el fin de agilizar la introducción de éstos y a su vez tener multitud de referencias para el diagnóstico.

La introducción de los datos contempla los diferentes tipos de respuesta que se pueden dar. Por un lado, los datos específicos, como los datos administrativos o la fecha de construcción. Son los que se contestan con un único texto o cifra. Por otro lado, los datos con múltiples opciones de respuesta preestablecida, que permiten introducir con facilidad la tipología del edificio.

Cuando se inicia la inspección de un nuevo edificio se rellenan los datos eligiendo entre todas las opciones preestablecidas en la aplicación.

Los datos que se vuelcan a través de la aplicación permiten clasificar el edificio. A la hora de describir las opciones preestablecidas se han tenido en cuenta las fichas constructivas y de lesiones referidas en el apartado 1 de este capítulo. Las fichas recogen las tipologías constructivas más comunes y de interés para los técnicos inspectores y las lesiones habituales en estas tipologías.

Se ha establecido una nomenclatura, que permite al técnico inspector poder filtrar las distintas categorías creadas para identificar el edificio, haciendo más eficiente la inspección y el diagnóstico.

Resultados

Los resultados de esta fase de inspección son la obtención de datos administrativos e información técnica del edificio. A continuación, se ofrece el listado de datos y las diferentes opciones incluidas en la aplicación:

Datos administrativos

Tipo de promotor

Comunidad de propietarios; Empresa privada; Administración pública;
Persona física.

Datos del promotor

Nombre; Apellidos; CIF/NIF; Dirección; Municipio; Provincia; Código postal; Teléfono; Correo electrónico.

Datos del representante

Nombre; Apellidos; Dirección; Municipio; Provincia; Código postal;
Teléfono; Correo electrónico.

Información del edificio

Datos del edificio

Los siguientes datos son relevantes para la localización del edificio y conocer las características geométricas iniciales.

Número de plantas; Número de espacios compartimentados interiores por planta;
Referencia catastral; Dirección; Municipio; Provincia; Código postal.
Fecha de construcción

La fecha de construcción del edificio es importante para conocer la antigüedad de éste y de sus elementos, debe anotarse también la fecha de las distintas reparaciones si las hubiera.

Grado de protección patrimonial

El grado de protección patrimonial es un aspecto muy importante a la hora tomar decisiones sobre las inspecciones a realizar, pues por lo general este tipo de edificios tienen unas limitaciones marcadas por la legislación.

BIC (Bien de interés cultural); BRL (Bien de relevancia local); Entorno protegido; Parcialmente protegido; Sin protección.

Uso del edificio

El uso del edificio supone uno de los datos más importantes, pues de este parámetro dependen muchos requisitos administrativos para realizar la inspección.

Oficinas/Administrativo; Comercial; Educativo; Sanitario; Vivienda colectiva; Vivienda unifamiliar; Otro.

Tipo/s de fachada/s

Las tipologías de fachada existentes en edificios construidos son muy diversas, por lo que se ha desarrollado una nomenclatura que facilita el análisis, mediante la diferenciación de las hojas que conforman la fachada. A partir de estos datos, se pueden prever las posibles lesiones y las diferentes técnicas de inspección necesarias para detectarlas.

Revestimiento/s exterior/es

Los revestimientos exteriores sufren la mayoría de las lesiones existentes en fachadas, por lo que es uno de los elementos más importantes a catalogar para obtener la máxima información sobre las posibles lesiones.

Sistema estructural

El sistema estructural ha de ser definido en planta y sección para saber cómo es la relación entre la estructura y la envolvente. También es necesario conocer otras cuestiones como el material y las dimensiones y posición de los elementos estructurales en contacto con la fachada.

Datos del entorno del edificio

En la aplicación también se ha tenido en cuenta la incorporación de los datos necesarios para la correcta caracterización del edificio.

Temperatura y Humedad media anual

Salinidad y contaminación del entorno

En este caso, estos datos se incluirán con un formato libre, donde la persona que los introduzca puede introducir datos gráficos o escritos.

III.3.2. Inspección inicial

La inspección inicial en un edificio consiste en la recopilación de los datos necesarios para conocer los problemas y lesiones visibles externamente. Una vez conocidas las lesiones se generan una serie de hipótesis que deben ser verificadas con inspecciones complementarias. Tras obtener la información, se genera la documentación gráfica y escrita necesaria para su valoración y estudio. Es importante referenciar cualquier lesión observada durante esta inspección inicial.

Hasta ahora, esa inspección inicial se ha realizado manualmente a pie de fachada por los técnicos encargados de realizar el informe. Normalmente el instrumental que suelen emplear in situ se limita a una cámara fotográfica y/o termográfica y algunas otras herramientas para tomar medidas.

La metodología permite adaptar el proceso de inspección inicial, que se diseña por parte del técnico para adaptarla a las circunstancias concretas de cada edificio y sus limitaciones, un ejemplo del planteamiento es el esquema mostrado a continuación, aunque no es el único diagrama, ya que el proceso puede cambiar en función de las características del edificio y los criterios del técnico en cuestión.

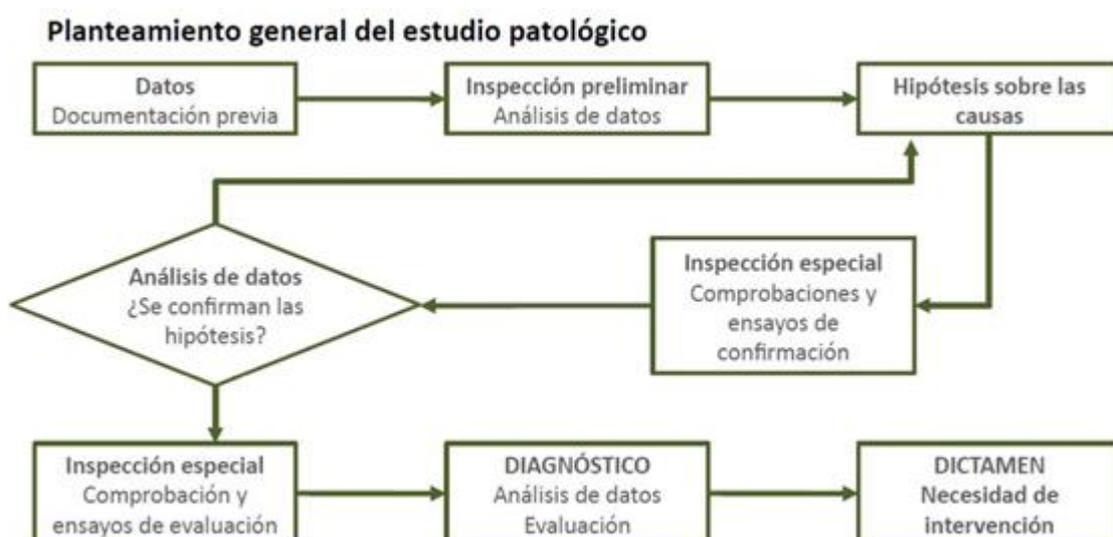


Ilustración 122: Diagrama de trabajo del estudio patológico (Fuente IVE).

Este esquema resume uno de los procesos de inspección explicados en el Instituto Valenciano de la Edificación.

La nueva metodología propuesta pretende que la inspección inicial se realice de manera sistematizada y autónoma, mediante la incorporación al robot de una agrupación de técnicas capaz de generar la información necesaria para hacer un análisis preliminar, con las lesiones visibles.

La agrupación de técnicas de inspección embarcadas para la inspección inicial son la cámara termográfica, la fotografía de barrido y los dos escáneres láser.

El objetivo principal de la inspección inicial es dotar al personal experto de la información necesaria y lo más completa posible para realizar un primer diagnóstico y preparar las siguientes etapas de la inspección, en zonas concretas del edificio.

A tal fin se distinguen tres objetivos que persiguen esta inspección inicial.

Obtención de una fotografía térmica panorámica

La cámara termográfica está programada para realizar un video a medida que el robot avanza en su barrido de la fachada. A partir de ese video se genera una panorámica completa de altísima calidad, donde se aprecian las variaciones térmicas de toda la fachada, coordinada y referenciada con la geometría de la fachada y la panorámica complementaria de espectro visible.

Obtención de una fotografía panorámica

La fotografía de barrido, al igual que la termografía, está programada para realizar un barrido fotográfico de toda la fachada. Sin embargo, en este caso, se ha diseñado un software capaz de realizar las fotografías que cubren toda la superficie analizada. Esto genera una panorámica con altísima calidad para disponer de una sola imagen donde se puedan identificar las lesiones visibles.

Generación de una nube de puntos capaz de añadir información al modelo BIM realizado inicialmente

En el inicio de la inspección se realiza un escaneo del edificio, a través de un escáner terrestre. Con la nube de puntos generada se elabora el modelo BIM sobre el que programar el barrido del robot y en el cual añadir la información obtenida posteriormente.

El escáner terrestre no puede obtener toda la información de la fachada, apareciendo puntos conflictivos.

Para solventar estas carencias de información se han implementado dos escáneres láser en el robot, que pueden realizar un barrido completo de la fachada rápidamente, con la precisión necesaria como para completar el modelo BIM.

Durante la inspección inicial, el robot comenzará a operar sobre la fachada, a una velocidad y separación de la pared estipuladas. En el tiempo que dure la inspección se producirán cambios externos al sistema que pueden influir en los resultados.

Los parámetros climáticos son los principales causantes de falsos positivos o falsos negativos de las técnicas de inspección no destructivas embarcadas en el sistema robotizado. Para obtener la información necesaria con la que detectar estos errores se deben monitorizar los parámetros climáticos que afectan a alguna o la totalidad de las técnicas de inspección. De esta forma los expertos pueden identificar y justificar anomalías en los resultados y desechar datos debido a estas condiciones de contorno.

Los datos necesarios para monitorizar se deben medir de manera periódica, cada 15 minutos, grabando los datos en la aplicación, para un registro ordenado y que pueda observarse a tiempo real.

Se miden los siguientes parámetros durante el tiempo que dure la inspección, incluyendo una primera toma de datos 15 minutos antes de empezar el barrido, y 15 minutos después:

- Temperatura ambiente
- Temperatura de la fachada
- Humedad del ambiente
- Humedad de la fachada

En el caso de analizar varias fachadas, se debe distinguir los datos tomados en cada una de ellas.

En el caso de monitorizar datos que cambian significativamente por causa del material o el sistema constructivo, se toman los datos por separado e indicando el tipo de material o sistema sobre el que se toma la medición.

Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas son las bases sobre las que se debe programar la inspección desde el punto de vista de la operación técnica. Después de realizar los ensayos con las pruebas de inspección se ha concluido que es necesario generar 3 repeticiones de la inspección inicial, que aseguren una correcta toma de datos, para tener información extra que pueda ayudar a solucionar los posibles problemas derivados de la aplicación de las técnicas.

Los ensayos en laboratorio y en campo realizados en la UPV han identificado las especificaciones del vuelo adecuadas para obtener unos resultados óptimos. En el caso de la primera agrupación de técnicas, se montan sobre el robot la cámara termográfica, la fotografía de barrido y los escáneres laser. Todas estas técnicas han aportado muy buenos resultados a unas velocidades similares y un rango de separación a la fachada idéntico.

Por este motivo se han definido, junto con el equipo de robótica, los siguientes parámetros:

- La separación a la fachada deberá estar entre 1 y 1,5 m.
- La velocidad del robot será de 40 mm/s de manera continua.

Por otro lado, se han descrito una serie de especificaciones técnicas para cada una de las técnicas embarcadas para la inspección inicial, desarrolladas a partir de los ensayos.

T.1.01 Termografía

La termografía no tiene especificaciones propias, puesto que la cámara ensayada no es radiométrica, con lo que no necesita realizar un calibrado, como ocurre en el caso de las radiométricas.

Las cuales aportan datos numéricos de temperatura y humedad en cada pixel.

T.1.03 Fotografía de barrido

La fotografía de barrido tiene unos parámetros concretos que intervienen para regular la calidad y la correcta toma de datos, que varían en función de la velocidad del robot, y la separación a la fachada.

Las conclusiones de las pruebas han permitido conocer que los siguientes parámetros deben ser regulados de manera automática, con ayuda del software diseñado por el equipo informático de ROBIM.

- Tiempo de exposición
- Enfoque
- Gamma

T.1.07 Escáner Láser 3D

Los escáneres láser se deben interpretar por separado, pues cada uno de ellos tiene unas características diferenciadas.

El escáner ZED debe tener activados los siguientes parámetros dentro del programa de uso que tiene asociado:

- Rango: Un metro más que la distancia a la que se observa.
- Guardado: se debe guardar tanto el modelo con el archivo *OBJ*.
- Precisión: regular al máximo.

En el caso del escáner Pico Monstar no existen prescripciones para operar con él, ya que el rango para el que está programado responde muy bien al sistema.

Los resultados de la inspección inicial generan diferentes tipos de datos:

En primer lugar, se obtienen una serie de datos aislados, como son fotografías térmicas, fotografías de espectro visibles y modelos virtuales, que son almacenados en la aplicación de manera ordenada, para consultarlos y utilizarlos para lograr los objetivos en cada una de las técnicas.

En segundo lugar, con los datos almacenados anteriormente, se han diseñado una serie de protocolos informáticos que son capaces de unir las fotografías, ya sean térmicas o del espectro visible, para generar una imagen única de calidad donde observar la fachada analizada. El mismo procedimiento se ha diseñado para las nubes de puntos, uniéndose para crear un único modelo.

Estos datos procesados, tanto las panorámicas como las nubes de puntos unidas, son guardados en la aplicación y añadidos como capas independientes y filtrables en el modelo BIM inicial.

La aplicación desarrollada permitirá que los expertos puedan obtener, de manera no presencial, una recopilación de datos obtenidos en la inspección inicial, equivalentes a una minuciosa inspección visual, y con ellos realizar unas hipótesis y dictamen preliminar que será completado posteriormente con los ensayos complementarios, prescritos a partir de este primer diagnóstico, para validar las hipótesis planteadas en el informe inicial.

III.3.3 Inspección diagnóstica

Una vez realizadas las hipótesis preliminares, el técnico debe decidir qué inspecciones diagnósticas se realizarán para consolidar los argumentos del informe de inspección. La inspección diagnóstica se define como los ensayos o pruebas realizadas para encontrar los orígenes de las lesiones detectadas en un edificio analizado.

Existen muchos tipos de inspecciones diagnósticas como, por ejemplo, la ejecución de catas, extracciones de elementos o testigos del edificio para su análisis en laboratorio, ensayos para detectar elementos metálicos, entre otras.

En el caso de la investigación, se han incluido únicamente los ensayos de técnicas de inspección no destructivas, adecuadas para el reconocimiento de la mayoría de las lesiones de las fachadas de los edificios. Las técnicas elegidas son la video endoscopia, la sonda magnética y el georradar, justificadas anteriormente.

Las tres técnicas necesitan estar en contacto directo con la fachada. Por tanto, el equipo de robótica ha diseñado dos sistemas de aproximación a la fachada diferentes. Uno para operar con el video endoscopio y la sonda magnética y otro con el georradar.

Debido a las operaciones que debe desarrollar el robot, se han dividido las técnicas en dos grupos de inspección diferenciados que se detallarán a continuación, con lo que deben tratarse por separado cada una, y se aplicarán de manera independiente.

En resumen, se presenta por un lado la inspección diagnóstica A, que embarca la sonda magnética y el video endoscopio, y por otro lado la inspección diagnóstica B con el georradar.

El objetivo principal de la inspección diagnóstica es profundizar en el análisis de lesiones descubiertas, para poder conocer sus causas y aplicar el tratamiento adecuado.

En el caso de la inspección diagnóstica A se definen dos objetivos:

DetECCIÓN DE PROBLEMAS PUNTALES

A partir del modelo generado y de la información preliminar de caracterización de sistemas constructivos y posibles lesiones, será posible identificar zonas o áreas

puntuales de la envolvente donde presumiblemente existan problemas, daños o lesiones localizadas, que podrán ser analizadas más en profundidad mediante las cámaras de alta precisión, con posibilidad acercarse mucho a la superficie o incluso de introducir una sonda óptica en las juntas o pequeñas grietas u oquedades de la superficie de fachada.

Se realizarán los desplazamientos necesarios del robot a estas zonas, bien programándolos o bien manualmente.

DetECCIÓN DE ARMADURAS O ELEMENTOS METÁLICOS

Mediante el empleo de la sonda magnética, se podrá identificar la presencia de elementos metálicos, especialmente barras de acero como armaduras en elementos de hormigón armado (frentes de forjado, pilares, vigas, zunchos, losas...), con el fin de detectar posibles lesiones o riesgo de aparición de éstas, a causa de la corrosión. En concreto, se detectarán los siguientes parámetros:

- Posición en el plano de fachada o en el elemento inspeccionado.
- Orientación de las barras (horizontal, vertical, inclinada).
- Profundidad o recubrimiento de hormigón

El proceso será iterativo para cada zona o elemento, atendiendo a lo siguiente:

- Desplazamiento del robot a la zona a inspeccionar.
- Contacto con el plano de fachada
- Posicionado de la sonda magnética
- Barrido horizontal en el rango de la guía incorporada, dando varias pasadas de comprobación
- Anotación de datos

En el caso de la inspección diagnóstica B se define un objetivo:

Obtención de un radiograma de la composición y posibles defectos de la fachada analizada

La técnica del georradar consiste en la traducción gráfica de las respuestas de los pulsos de radar del material analizado. Estos pulsos generan una imagen del perfil de la zona inspeccionada. A partir de ellos se puede encontrar los problemas ocultos en las fachadas, como pueden ser las oquedades, discontinuidades, faltas de material,

etcétera. Así como la existencia y espesor de las diferentes capas que componen el cerramiento.

El personal experto en la técnica necesita un radiograma completo de la fachada, así como la información de la ubicación del ensayo y la composición conocida de la fachada. Con esta información se recomienda que se obtengan los radiogramas de las fachadas analizadas en la ubicación exacta, indicadas en el modelo BIM.

La metodología para la inspección diagnóstica tiene limitaciones por la dificultad de maniobra del sistema robótico. Por este motivo los ensayos deben programarse con detenimiento. Los puntos exactos donde se realiza la inspección se deben elegir con criterio adecuado al objetivo de la inspección.

A continuación, se describen las dos metodologías de inspección diagnóstica.

Inspección diagnóstica A

En esta inspección, existen dos protocolos de actuación, el primero para el movimiento del robot en la fachada y el segundo para el sistema de aproximación y aplicación de las técnicas.

Las especificaciones del robot son:

- Separación a fachada: Entre 0,05 y 0,1 m.
- Tipo de movimiento: discontinuo.
- Velocidad de desplazamiento: 0

El sistema de aproximación es independiente del movimiento del robot, pues una vez localizado el punto a inspeccionar, el sistema de desplazamiento en vuelo se detiene y el movimiento para obtener los datos se realiza desde el instrumental embarcado.

El sistema de aproximación del instrumental de inspección a la fachada ha sido diseñado por el equipo de robótica, tanto para operar con el video endoscopio como con la sonda magnética. El sistema de aplicación de las técnicas se basa en un actuador montado sobre la plataforma robótica, con un sistema de fijación del instrumento, capaz de desplazarse en el eje X e Y, para la sonda magnética; y en el X, Y y Z para el video endoscopio. Se emplean unas velocidades bajas, que rondan los 0,1 mm/s para tener la mayor precisión posible y además obtener datos fiables.

Especificaciones técnicas:

T.1.02 Videoendoscopio

Las especificaciones de esta técnica son las siguientes:

- El endoscopio solo podrá ser empleado bajo la responsabilidad de un técnico experto.
- El robot deberá estar en una posición fija y estable.
- Se deberá poder visualizar los movimientos del endoscopio en su aproximación a fachada.
- Deberá poderse controlar los movimientos del endoscopio manualmente y con precisión.
- Su movimiento estará definido en los ejes x, y, z.
- Los datos aportados por esta técnica se implementarán en la aplicación mediante las fotografías o videos realizados y la ubicación exacta de la toma de datos.

T.1.04 Sonda magnética

Las características de esta técnica son las siguientes:

- La sonda magnética solo podrá ser empleada bajo la responsabilidad de un técnico experto.
- El robot deberá estar en una posición fija y estable.
- Se deberá poder visualizar los movimientos de la sonda en su aproximación a fachada, así como la toma de datos para conocer la ubicación de la detección de elementos metálicos.
- Su movimiento estará definido en los ejes x e y.
- Los datos aportados por esta técnica se implementarán en la aplicación mediante las fotografías o videos realizados y la ubicación exacta de la toma de datos, junto a los valores registrados.

Inspección diagnóstica B

En esta inspección el robot debe moverse con unas condiciones muy concretas, y precisas para obtener datos fiables.

Las especificaciones del robot son:

- Separación a fachada: Entre 0,05 y 0,1 m.
- Tipo de movimiento: continuo en pasadas verticales.

- Velocidad de desplazamiento: 10 y 30 mm/s

En este caso, al igual que en inspección inicial se deben realizar 3 repeticiones de cada ensayo, para verificar los datos, siempre teniendo en cuenta las indicaciones del experto.

Especificaciones técnicas

T.1.06 Georradar

El georradar es la técnica más compleja de controlar, no solo por su peso, sino también porque tal y como se ha detallado anteriormente, cuenta con multitud de parámetros a controlar.

Las especificaciones de esta técnica son las siguientes:

- El georradar solo podrá ser empleado bajo la responsabilidad de un técnico experto.
- Los datos obtenidos se deberán visualizar en tiempo real, con el fin de detectar problemas en la toma de datos.
- Los parámetros de medición internos del georradar se podrán modificar siempre y cuando el experto deje constancia de ello, para no alterar los resultados.

La inspección diagnóstica con las distintas técnicas genera diferentes tipos de datos, por lo que los resultados de su aplicación son muy diferentes entre sí.

Por un lado, el video endoscopio genera imágenes o videos de la fachada, que deben ser almacenados junto la ubicación donde se han tomado.

Por otro lado, los datos generados por la sonda magnética no se almacenan automáticamente en el sistema, sino que debe ser el personal experto quien aporta la información a introducir en el modelo BIM de manera puntual, con los datos obtenidos del ensayo a tiempo real, o del video generado del ensayo.

Por último, el georradar genera una gran cantidad de datos, que deben ser analizados con un software específico. De este modo, los archivos guardados en el momento de la inspección serán los archivos específicos del software del fabricante correspondientes a cada inspección.

Después del ensayo, será necesario extraer los datos más relevantes por parte del personal experto y añadirlos al modelo BIM, de manera que pueda identificarse el lugar exacto de la inspección.

III.3.4. Diagnóstico definitivo

Una vez completada la inspección y volcada la información obtenida se podrá realizar un informe del estado de conservación del edificio analizado por el técnico responsable de la inspección.

Al fin y al cabo, existe mucha información para realizar el informe, por un lado, está la documentación descriptiva del edificio y por otro la documentación gráfica, a base de planimetrías y axonometrías extraídas del modelo BIM, que, además, al estar ordenado por capas, para cada una de las técnicas se puede plasmar las lesiones detectadas por cada una de estas técnicas en los planos que se consideren necesarios.

Generando de esta forma, una gran de datos detallados que sirvan al resto de agentes intervinientes en la rehabilitación, durante todo el proceso.

Este informe se apoyará en la información gráfica y numérica obtenida, así como la interlocución generada por los diferentes expertos que han podido colaborar en las distintas fases de inspección nombradas anteriormente.

Sin duda, es una base de datos muy completa para elaborar con certeza el informe definitivo que, además, puede terminar de completarse una vez comienza la obra, usando la base del modelo BIM generado con la información adicional que contiene.

III.4. Validación de la metodología de inspección y diagnóstico en edificio real

Para conocer la idoneidad del protocolo de actuación propuesto, se ha llevado a cabo una serie de pruebas y su posterior análisis. Estas pruebas se han desarrollado sobre un edificio piloto elegido por el consorcio del proyecto ROBIM. Las pruebas han servido para testar los instrumentos embarcados en el robot y la aplicación informática desde donde se manejan y gestionan los datos adquiridos en las inspecciones, para de esta forma, conocer también sus limitaciones.

Además, gracias a las pruebas se han podido evaluar las distintas fases de la metodología planteada y el protocolo en su conjunto, aportando unas conclusiones que validan el sistema de inspección desarrollado en el proyecto.

La metodología ha sido evaluada teniendo en cuenta diversos factores, como han sido la operatividad general, los resultados y las aportaciones experimentales obtenidas de las pruebas en el edificio piloto, que han ido perfilando y mejorando la metodología propuesta.

Para realizar el análisis de la metodología propuesta se ha decidido compararla con las metodologías de inspección convencionales más empleadas. De esta manera, contrastando los resultados puede hacerse un balance que permita conocer, por un lado, la validez del protocolo completo; y por otro, los aspectos parciales de mayor interés, al analizar los resultados de las distintas inspecciones realizadas y sus diferentes instrumentos.

La comparativa metodológica se ha realizado contrastando dos campañas de inspección por separado y analizando los resultados obtenidos, pudiendo evaluarlos de una y otra manera. Así se puede tener una muestra de los dos procedimientos de reconocimiento de lesiones del edificio inspeccionado. La primera de las inspecciones es de manera convencional y la otra con el sistema ROBIM.

Merece la pena destacar, que debido a las circunstancias tan limitantes que hubo durante el estado de alarma del año 2020 a causa de la pandemia de la COVID 19, sólo se pudo realizar el estudio en un edificio, y no 3 como estaba previsto al inicio del proyecto.

El edificio analizado está ubicado en la misma ciudad donde se encontraba el robot completo, y además los desplazamientos de personal de la UPV fueron muy limitados, debido a que nos encontrábamos en comunidades autónomas diferentes.

Es importante explicar esta situación, que impidió por cuestiones de tiempo, probar la metodología en otros edificios de otras características (con varias alturas, diferentes lesiones en toda su envolvente y ubicados en otras ciudades en entornos más complicados para una inspección convencional.

III.4.1. Análisis de la metodología de inspección

El edificio piloto se encuentra ubicado en Zaragoza, concretamente en el campus del Instituto Tecnológico de Aragón. Es un edificio de oficinas de una altura que se caracteriza por tener una fachada ventilada, lo cual era de gran interés para testar el protocolo de inspección. En la fachada preparada para analizar, se desmontaron varias piezas de aplacado cerámico con el fin de conocer sus materiales y sistemas constructivos directamente, sin necesidad de emplear técnicas no destructivas, de modo que los resultados de las pruebas fueran siempre contrastables con la realidad.



Ilustración 123: Edificio piloto ubicado en Zaragoza, preparado la realización de las pruebas.

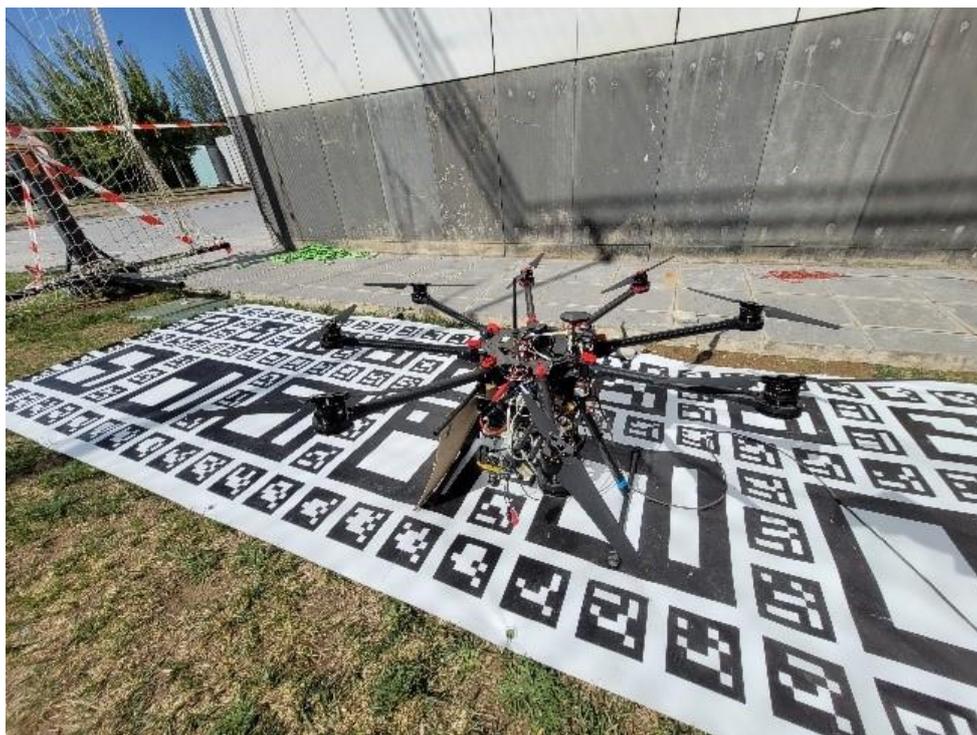


Ilustración 124: Pruebas con el robot ROBIM.

Inspección tradicional

La inspección tradicional ha sido realizada por dos técnicos expertos en la inspección y rehabilitación de edificios con lesiones y deterioros. Ambos técnicos se desplazaron hasta el lugar para llevar a cabo la inspección, y han desarrollado un informe propio, a partir de la información y los datos obtenidos del edificio, con el fin de tener un diagnóstico fiable e independiente de las pruebas con el robot, del estado de la fachada y su caracterización constructiva.

Buscando disponer de la máxima información previa para comprobar la calidad de la inspección automatizada y su metodología, este informe se basa, además de en la inspección visual y el uso de las técnicas manuales seleccionadas por los técnicos, en la posibilidad de acceder a las partes internas de la fachada (desmontada en parte para la ocasión) y al resto de fachadas del inmueble, para obtener la información necesaria para completar el análisis.

Por un lado, se realizó la toma de fotografías con un trípode, tanto en espectro visible (RGB) como infrarrojo (IR).



Ilustración 125: Cámara fotográfica FLIR montada en el trípode.



Ilustración 126: Cámara termográfica montada en el trípode.

Los resultados de estas pruebas aportaron documentación de muy buena calidad debido a la reducida dimensión del edificio, aunque para lograr estos resultados se necesitó tanto a los expertos muy cualificados en estas técnicas como el uso de unas herramientas altamente costosas y difíciles de operar.

Los resultados fueron los siguientes:

La cámara termográfica arrojó datos acerca de la capa interior del revestimiento, donde se pueden apreciar los puntos de anclaje existentes en el aplacado de la fachada ventilada.



Ilustración 127: Fotografías termográficas tomadas manualmente.



Ilustración 128: Fotografía termográfica tomada manualmente.

En el caso de la fotografía se han hecho múltiples instantáneas que han sido unidas a posteriori para dar un resultado de alta calidad como el de la Ilustración (129).



Ilustración 129: Panorámica del edificio piloto mediante la unión de las distintas fotografías tomadas por el experto en fotografía de barrido del IRP.

En la imagen se puede apreciar con suficiente definición las lesiones existentes que tiene la fachada, para poder así diagnosticarla. Es importante conocer cómo se realiza la inspección de manera tradicional, especialmente desde el punto de vista metodológico, pues en el caso analizado las diferencias están más en el proceso que en la información generada.

Esta metodología, como ya se ha comentado, depende del criterio y experiencia del técnico, y ha generado una serie de datos que han sido incluidos en su informe, de manera manual, en contraposición con la metodología del proyecto donde la aplicación gestiona la documentación y se guarda automáticamente.

La metodología aportada por los expertos consiste en:

- Estudio de la documentación existente y preparación del material para la inspección.
- Inspección in situ.
- Análisis de los resultados de las catas, ensayos y de las lesiones recogidas en la inspección del inmueble.
- Redacción de informe con los resultados obtenidos y las recomendaciones de actuación.

En cuanto a la detección de las lesiones, se han encontrado gracias a la inspección ocular y las fotografías y datos tomados por los expertos. Sin embargo, al ser un edificio con pocas lesiones y deterioros ha sido difícil comparar con los resultados obtenidos por el sistema desarrollado en el proyecto.

Por último, las conclusiones de esta parte experimental son las siguientes:

Tras la inspección de la fachada a analizar no se detectaron más lesiones que las simuladas para el trabajo de investigación. Así pues, la fachada no presenta síntomas de humedades o filtraciones ni los paneles roturas ni deterioros significativos.

Además, la presencia de lesiones y deterioros no ha sido determinante en la comparación de resultados, de modo que lo más destacable es la diferente metodología utilizada, basada en la inspección ocular apoyada en aparatos especializados y la experiencia de los técnicos.

Es importante destacar, que, al ser un edificio de una sola altura, no se necesitaron elementos auxiliares, y además se pudo acceder a la totalidad de la fachada, aunque si se tuvo de desmontar una pieza del aplacado cerámico para poder analizar empíricamente la composición de la fachada, con los recursos humanos y de costes que ello implica.

Si el edificio fuera de una escala mayor se hubiera realizado en un tiempo mucho mayor, y se podría de esta manera haber realizado una comparativa mayor en cuanto a rendimientos de la inspección.

III.4.2. Evaluación de la inspección desarrollada por ROBIM

Como se ha comentado anteriormente se ha desarrollado una aplicación informática capaz de coordinar los requisitos referentes a la inspección, la gestión de datos interna y las capacidades del robot para efectuar el reconocimiento. La aplicación está planteada para que todos los datos obtenidos se almacenen y puedan ser usados mediante filtros por los técnicos para realizar el diagnóstico.

Caracterización del edificio

La primera etapa requiere un estudio previo a través de un escaneado láser con el que se genera un modelo BIM inicial, así como un volcado de información del edificio, lo que permite su caracterización preliminar.

La aplicación web, está dividido en una serie de pantallas y sub-pantallas, que organizan la información y las acciones a realizar.

Las pestañas se dividen en *Inicio*, *Inspecciones*, *Recursos*, *Edificios*, *Configuración* y *Administración*.

Algunas de ellas atienden a las necesidades del propio robot, como son la pestaña de *Inicio*, *Recursos* o *Administración*, puesto que esta aplicación está pensada por el proyecto ROBIM, con el objetivo de dar respuesta al sistema completo de inspección y las personas encargadas de llevar a cabo la inspección de edificios.

A continuación, se muestran las distintas pestañas que conforman la inspección, en concreto con la información del edificio, que se obtiene previamente a la inspección en campo con el robot, y sirve para conocer sus peculiaridades.

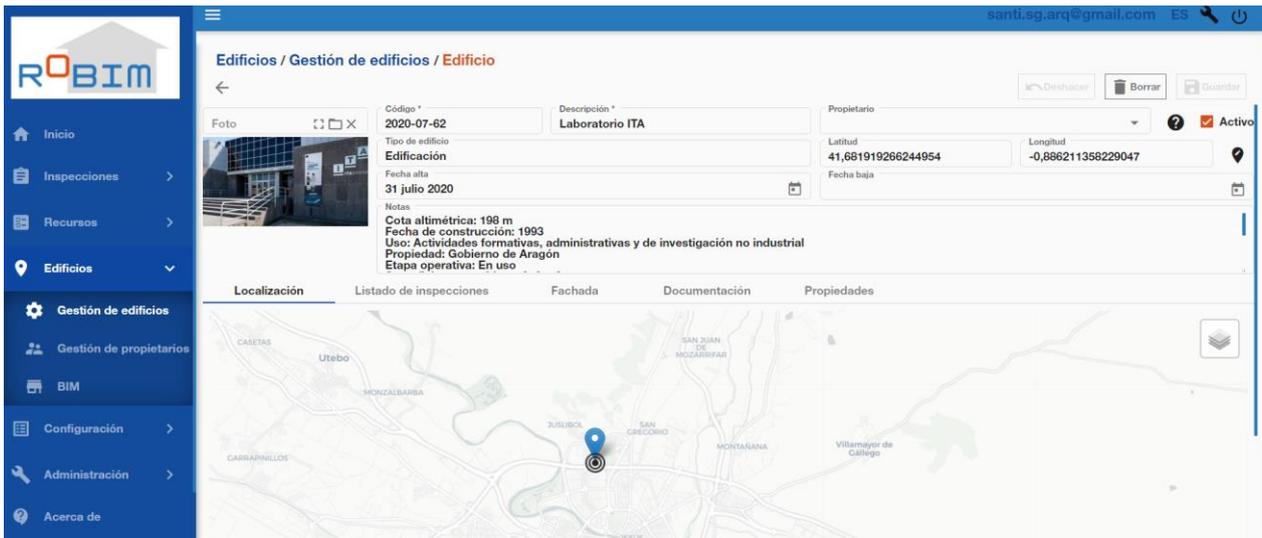


Ilustración 130: Pestaña: Localización del edificio a inspeccionar.

Inspecciones / Gestión de inspecciones

Edificio Tipo inspección Estado Fecha de inicio

+ Nuevo

Fecha de creación	Edificio	Icono	Progreso	Descripción	Código	Fecha inicio estimada
04 mayo 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección diagnóstica	2021-05-006	04 mayo 2021
03 mayo 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección inicial 03/05/21	2021-05-005	03 mayo 2021
29 abril 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección inicial 29/04/21	2021-04-004	29 abril 2021
27 abril 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección inicial 26/04/21	2021-04-003	28 abril 2021
20 abril 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección Inicial 20/04/21	2021-04-002	20 abril 2021
14 abril 2021	Laboratorio ITA		<div style="width: 100%;"></div>	Inspección inicial	2021-04-001	14 abril 2021

Registros por página 25 1 - 6 de 6

Ilustración 131: PestañaListados de inspecciones.

Localización Listado de inspecciones Fachada Documentación Propiedades

Nombre	Tipo	Valor
Edificio - 01. Fecha de construcción	Cadena texto	1993
Edificio - 03 - Número de plantas	Entero	1
Edificio - 04 - Número de espacios compartimentados	Entero	1
Edificio-Admon_00. Código postal	Cadena texto	50014
Edificio-Admon_00. Dirección	Cadena texto	C/ María de la Luna
Edificio-Admon_00. Municipio	Cadena texto	Zaragoza
Edificio-Admon_00. Provincia	Cadena texto	Zaragoza
Edificio-Admon_00. Referencia catastral	Cadena texto	6270909XM7167A0001AE
Edificio_01. AP1 Titularidad / Propiedad	Lista valores	Público
Edificio_02. AP2 Uso del edificio	Lista valores	Oficinas y/o Administración

Ilustración 132: PestañaPropiedades del edificio piloto (I).

Localización	Listado de inspecciones	Fachada	Documentación	Propiedades
<input type="text" value="Filtrar"/>				
Nombre	Tipo	Valor		
Edificio_03. AP3 Configuración de la propiedad	Lista valores	Varios volúmenes edificados independientes (distinta tipología)		
Edificio_04. EU1 Entorno edificado y posición respecto a otros e...	Lista valores	Edificación aislada, en entorno urbano, suburbano o rural		
Edificio_05. EU2 Alineación oficial	Lista valores	Ambas alineaciones		
Edificio_06. EU3 Posición de la fachada respecto a los linderos	Lista valores	Fachada retranqueda ($r > 5$ m)		
Edificio_07. CA1 Temperatura (T°)	Lista valores	Condiciones de temperatura elevadas (T° >15°C)		
Edificio_08. CA2 Humedad relativa (H)	Lista valores	Condiciones medias de H (65% ≤ H < 75%)		
Edificio_09. CA3 Precipitaciones	Lista valores	Precipitaciones escasas (≤ 800 mm)		
Edificio_10. CA4 Salinidad	Lista valores	Ambiente no salino (área interior)		
Edificio_11. CC1 Contaminación atmosférica	Lista valores	Calidad del aire Moderada/ Buena, con episodios periódicos de al...		
Edificio_12. CC2 Contaminación acústica	Lista valores	Ambiente con contaminación acústica (Valores de Lden>55dB ó L...		
Registros por página: 10 11 - 20 de 51 < > >>				

Ilustración 133: PestañaPropiedades del edificio piloto (II).

Localización	Listado de inspecciones	Fachada	Documentación	Propiedades
<input type="text" value="Filtrar"/>				
Nombre	Tipo	Valor		
Edificio_13. AC1 Época de construcción	Lista valores	Entre 1981 y 2007		
Edificio_14. AC2 Intervenciones realizadas	Lista valores	Intervenciones puntuales en fachada		
Edificio_15. GE1 N° de plantas sobre rasante	Lista valores	2 plantas o menos		
Edificio_16. GE2 Volumen edificado	Lista valores			
Edificio_17. GE3 Factor de forma (FF)	Lista valores			
Edificio_18. LN1 Protección urbanística del edificio	Lista valores	Sin protección ni significancia especial		
Edificio_19. LN2 Riesgo aéreo de las operaciones	Lista valores	Espacio aéreo sin restricciones		
Edificio_20. CU1 Etapa operativa del edificio	Lista valores	En uso		
Edificio_21. CU2 Perfil de uso/ocupación	Lista valores	Uso frecuente y periódico		
Edificio_22. CU3 Gestión de permisos	Lista valores	Gestión interna		
Registros por página: 10 21 - 30 de 51 < > >>				

Ilustración 134: PestañaPropiedades del edificio piloto (III).

Localización	Listado de inspecciones	Fachada	Documentación	Propiedades
<input type="text" value="Filtrar"/>				
Nombre	Tipo	Valor		
Edificio_23. CU4 Protección de riesgos laborales	Lista valores	Plan de Protección de riesgos exigido		
Edificio_24. MT1 Potenciales obstáculos	Lista valores			
Edificio_25. MT2 Elementos de distorsión	Lista valores			
Edificio_26. IT1 Información sobre el diseño original del edificio	Lista valores	Proyecto original (al menos, planos del edificio)		
Edificio_27. IT2 Información sobre el uso y gestión del edificio	Lista valores	Auditoria energética		
Edificio_28. IT3 Certificados voluntarios	Lista valores	Sin ningún tipo de certificado ni previsión de tenerlo		
Edificio_29. CE1 Consumo energético	Lista valores	Consumo medio (entre 150 kWh/m2 y 250 kWh/m2)		
Edificio_30. CE2 Fuentes de energía y producción energética	Lista valores	Fuentes de energía tradicionales		
Edificio_31. IT1 Acondicionamiento bioclimático de la envolvente	Lista valores	Aplicadas mejoras y/o instalados sistemas activos		
Edificio_32. IT2 Empleo de tecnologías inteligentes	Lista valores	Tecnologías inteligentes aplicadas		

Ilustración 135: PestañaPropiedades del edificio piloto (IV).

De esta manera se puede almacenar y consultar la información relevante sobre el edificio a inspeccionar, permitiendo además programar las inspecciones necesarias para realizar el diagnóstico. La aplicación se ha diseñado de tal forma que pueden modificarse los campos y elegir entre una serie opciones, para facilitar el volcado de datos e información previa a la inspección.

III.4.2.1. Inspección inicial

En la segunda fase interviene el robot y realiza una inspección inicial programado a una velocidad media-alta, para reconocer el edificio a través de las técnicas de inspección no destructivas de termografía, fotografía de barrido y escáner láser. La información obtenida de esta inspección inicial sirve para generar un diagnóstico general del edificio y reconocer sus lesiones detectables en el espectro visible e infrarrojo, así como completar el escaneado previo, eliminando los puntos desconocidos del modelo BIM.

Al finalizar esta etapa se obtienen unos resultados de gran interés, puesto que proporcionan al experto una valiosa información con la que poder realizar el diagnóstico.

Por otro lado, la información obtenida mediante los escáneres láser aporta datos relativos a la geometría de la fachada, gracias a las nubes de puntos conseguidas, que pueden cotejarse con el modelo BIM inicial, permitiendo reconstruir las partes no visibles en una primera toma de datos. Sin embargo, en este caso no hizo falta puesto que el edificio inspeccionado se definió en su totalidad con el escaneo previo.

Obtención de panorámicas de termografía y fotografía

A pesar de las dificultades técnicas que surgieron con la unión de las fotografías individuales, se pudo adquirir las imágenes termográficas del barrido de la fachada analizada, aunque no se pudo generar la imagen general panorámica.

A pesar de ello, sí se han obtenido imágenes parciales de la fachada. No obstante, dado que el proceso de captación por el robot es idéntico en fotografía y en termografía, se considera suficiente con la evaluación realizada en el caso de la fotografía de barrido, cuyos resultados son extrapolables al caso de la termografía.

Los resultados de las imágenes panorámicas se han conseguido mediante la toma de imágenes fotográficas de la fachada a través un barrido del robot en forma de zigzag. Las imágenes tomadas se han subido directamente en la plataforma web, y posteriormente se han montado en una sola imagen mediante una aplicación propia que automatiza el proceso.

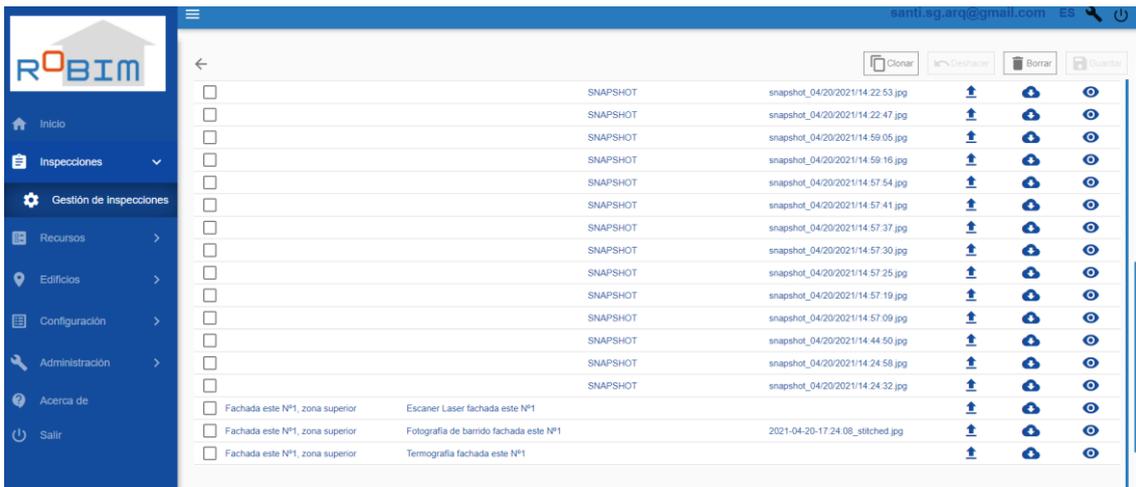


Ilustración 136: Plataforma web donde se almacenan los datos obtenidos de la inspección.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la panorámica.

Resultados de la inspección inicial

Resultados de la fotografía de barrido



Ilustración 137: Imagen reconstruida por el sistema ROBIM.

Estos resultados han sido analizados por los expertos del IRP, para poder evaluar cuantitativamente las imágenes.

1.Evaluación de imágenes con cámara de barrido

La evaluación de esta técnica de inspección se hace sobre imágenes adquiridas en un vuelo realizado sobre la fachada de prueba. El vuelo se hizo para capturar información en una zona específica de la fachada.

Las imágenes se realizaron con la cámara de 2.2 megapíxeles, con ISO nativo, apertura F8 para tener mejor definición y profundidad de campo y una velocidad de obturador de 1/250 segundos.

Primero se evalúa la calidad de las imágenes individuales y después la calidad de la reconstrucción realizada por el programa automatizado.

1.1 Evaluación imágenes individuales

Para evaluar la calidad de las imágenes individuales, se realiza una comparación usando imágenes de referencia tomadas por una cámara profesional de 42 megapíxeles con un lente profesional de 90 mm de baja distorsión. Para garantizar la mejor calidad posible de las imágenes de referencia, se posicionó la cámara fijada en un trípode sobre el suelo.

Los parámetros de adquisición de la cámara fueron ISO100 para minimizar el ruido, apertura F11, la de mejor resolución de la lente, y una velocidad del obturador que permitiera capturar el mayor rango dinámico, garantizando que ninguna parte de la fachada quedara sobre expuesta. Las imágenes se guardaron en formato RAW y se procesaron para conservar la mayor cantidad de detalles y aumentar el contraste en la fotografía. Con estas imágenes de referencia de alta calidad, se procedió a comparar las imágenes del robot. Para poder compararlas de forma correcta, se corrigió la variación en perspectiva entre ellas, la rotación y la escala.



Ilustración 138: Comparación imagen individual.

Definición de detalles

Uno de los parámetros más importantes que se evaluaron fue la definición de pequeños detalles. Una de las pruebas para cuantificar la calidad de la imagen, fue utilizar líneas de espesor conocido para determinar si las imágenes tenían suficiente calidad para detectar grietas sobre la fachada. Como estaba previsto, en las imágenes es posible identificar las líneas, incluyendo la más delgada de tan solo 1mm.



Ilustración 139: Imagen de las fisuras simuladas sobre la fachada analizada de diferentes espesores (1, 2 y 3 mm).

La evaluación de estas imágenes dio una resolución aproximada a 0.3mm por píxel, aunque esto podría variar ligeramente según los parámetros de vuelo, en especial la distancia hasta el muro.

1.2 Evaluación imagen panorámica

La reconstrucción a partir de las imágenes realizadas con el robot se comparó con una reconstrucción realizada con equipo y programas que son estándar de la industria. El equipo consistió en una cámara profesional de 42 megapíxeles, una lente profesional de 50 mm posicionada sobre un trípode y usando un cabezal de no paralaje.

La configuración de la captura fue una ISO100, apertura F11, para obtener una buena resolución y tener buena profundidad de campo. Se realizaron 60 imágenes de la fachada en formato RAW para posterior corrección y reconstrucción usando un programa que es el estándar de la industria para panoramas a partir de múltiples imágenes.

La reconstrucción de las imágenes se hizo de la zona de interés, usando 40 imágenes de 2.2 megapíxeles capturadas por el robot en un movimiento controlado.



Ilustración 140: Reconstrucción de imágenes del robot.

Debido a los ligeros cambios causados por paralaje y la distorsión por la perspectiva, no es posible realizar una unión perfecta de las imágenes, pero el programa de reconstrucción ha identificado la posición correcta de cada imagen, ha corregido la principal deformación por perspectiva y ha fusionado las imágenes y suavizado las uniones. Los principales errores son causados por el paralaje, que evita que las imágenes tengan la misma información en el punto de unión.



Ilustración 141: Errores de empalme por paralaje.

Posterior a la evaluación de la calidad de la panorámica, se hizo la comparativa de la reconstrucción del dron respecto a la imagen de referencia. Se trasladó, rotó y escaló para hacerla coincidir lo mejor posible.

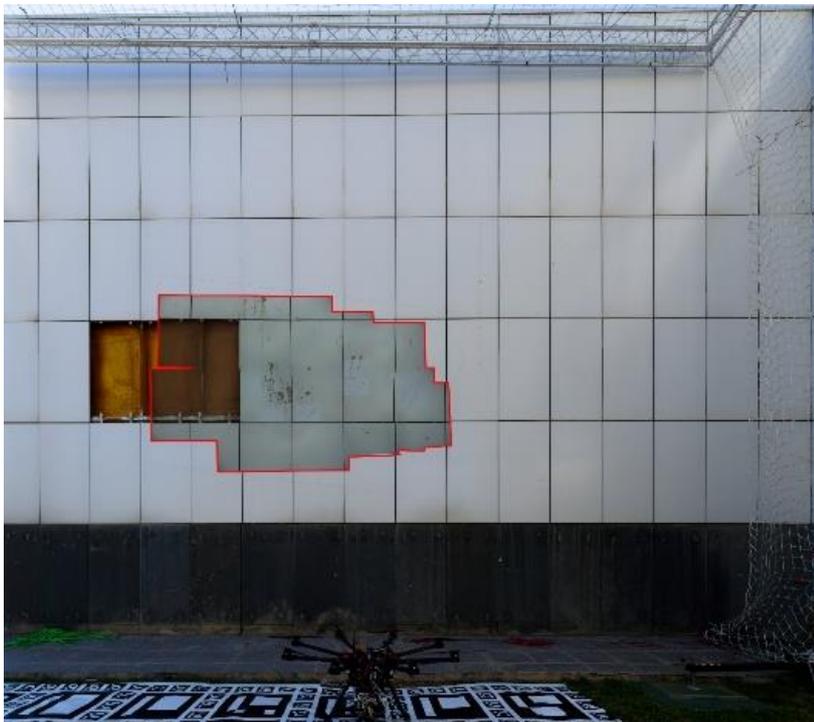


Ilustración 142: Solape reconstrucción imágenes robot con reconstrucción de referencia.

Se mide una desviación de 14% en el eje horizontal y 5% en el eje vertical, causado por la acumulación de errores al momento de unir imágenes. Esta desviación está dentro de lo esperado y no afecta el uso de las imágenes.

2 Resultados del escáner láser

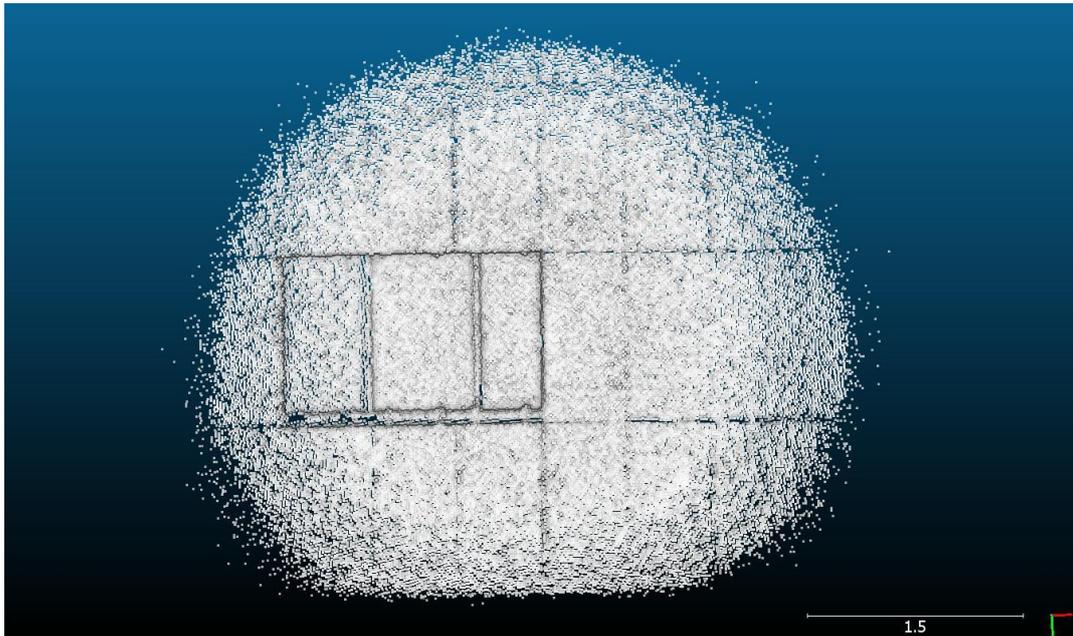


Ilustración 143: Nube de puntos extraída del instrumental Pico Monstar.

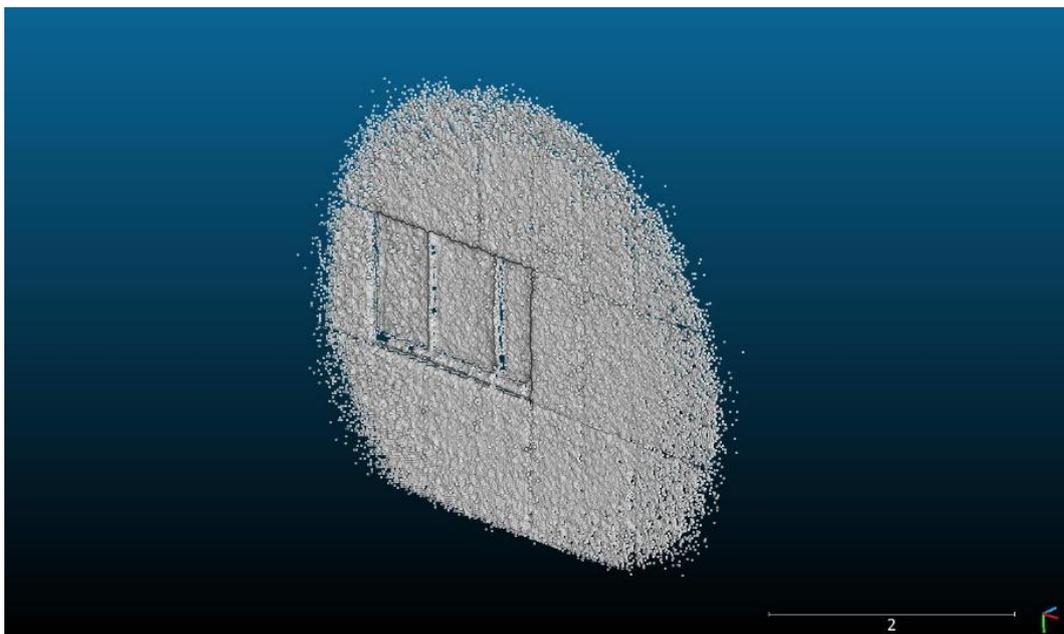


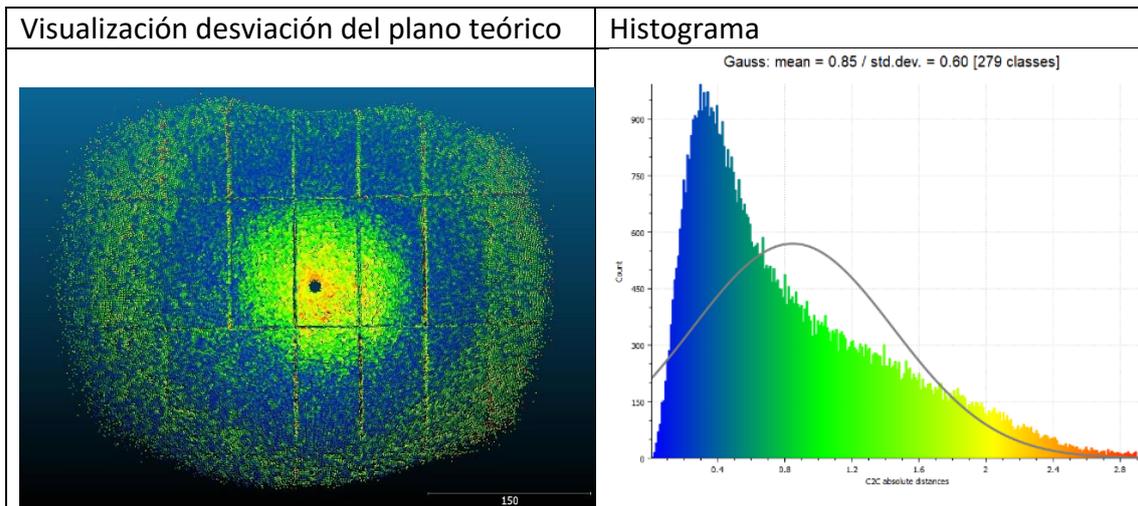
Ilustración 144: Nube de puntos extraída del instrumental Pico Monstar.

2.1 Evaluación de nubes de puntos

El escáner láser Pico Monstar empleado para capturar nubes de puntos se evaluó utilizando varios vuelos realizados en la fachada de prueba.

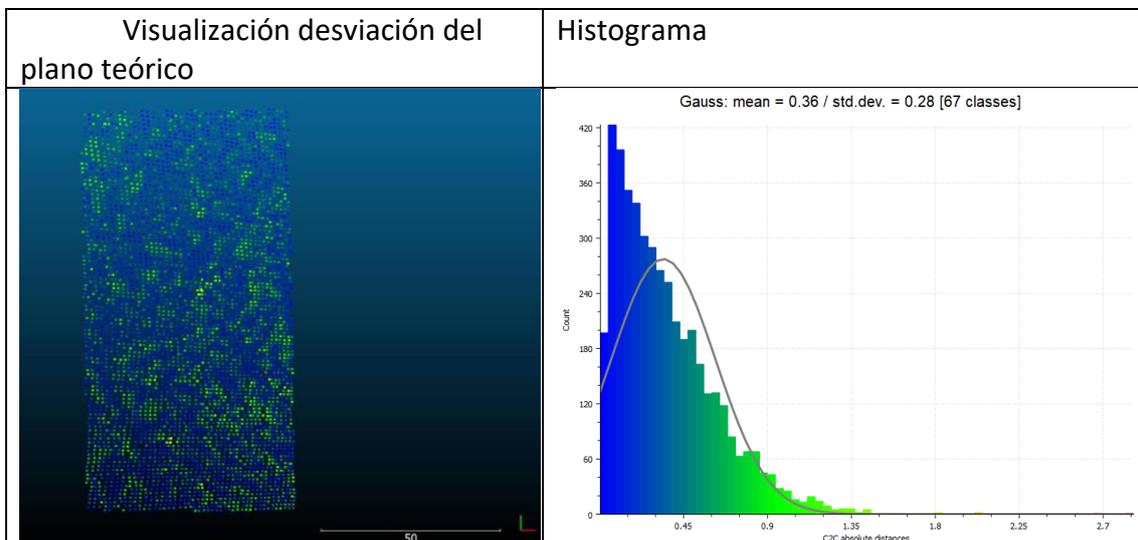
Uno de los parámetros evaluados fue la planicidad de la adquisición, debido al que es éste el uso que será más habitual en el sistema. Una de las características más importantes era la capacidad de reconstruir superficies planas en modo correcto.

Para evaluar la planicidad de la nube de puntos, se utilizó una zona de la fachada con una superficie relativamente plana. Esta superficie se comparó con un plano perfecto y se calculó la desviación respecto al mismo.



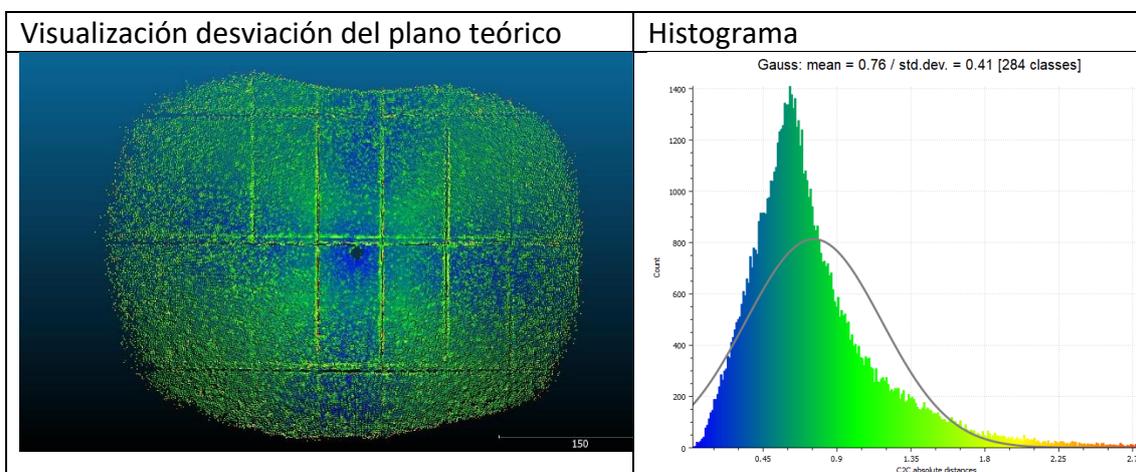
El resultado de este análisis fue un error medio de 0.85 centímetros, con el 66% de los puntos por debajo de 1 centímetro de error y 95% por debajo de 2 centímetros. En todo caso, parte de este error se debe a las uniones entre los paneles y el error mismo de la construcción de la fachada, por lo que es un resultado muy superior a lo requerido para la aplicación.

Se ha procedido también a evaluar la planicidad utilizando los puntos de captura de un elemento individual de la fachada, este elemento tiene mayor planicidad que la fachada entera, por lo que es más fácil evaluar el error introducido por el equipo.



Los resultados confirman lo previsto. En una superficie de planicidad conocida, el error real del equipo es considerablemente menor que el de la superficie completa, teniendo un 98% de los puntos menos de 1 centímetro de error, un error más que aceptable teniendo en cuenta la escala de edificio.

Otro factor importante para evaluar es la consistencia de las adquisiciones, es importante identificar si las vibraciones, el movimiento o algún otro factor introducido por el vuelo del robot podría crear problemas o irregularidades entre adquisiciones. Para realizar la comparación, se superpusieron dos adquisiciones de la misma zona y se calculó la desviación entre ellas.



El error resultante de 0.76 cm es similar al del equipo, validando que las adquisiciones no se ven afectadas por las condiciones de vuelo. Adicionalmente a esta consideración, se puede observar que las zonas con mayor error son espacios pequeños entre paneles, o ángulos que reflejaban el pulso de la medición, limitaciones inherentes a la tecnología. Esto supone que la precisión y consistencia del equipo son superiores al de este estudio.

Debido a la cercanía del robot y al material de la fachada, se identifica una ligera desviación en el centro de la adquisición, incluyendo un punto ciego justo en el centro de la adquisición.

Esto no representa un problema al momento de hacer una reconstrucción, debido a lo sutil de la desviación.

Estos problemas se minimizarán con el solape de las múltiples adquisiciones, que rellenarán cualquier ausencia de puntos y suavizarán cualquier desviación al momento de promediar la información.

III.4.2.2. Inspección diagnóstica

En la tercera fase se realiza una inspección puntual o localizada en los puntos conflictivos hallados en la segunda fase, realizando una inspección complementaria con las técnicas de inspección de: video endoscopio, sonda magnética y georradar. Estas técnicas son utilizadas para obtener información de la fachada analizada con mayor precisión y alcance.

A medida que se obtienen los datos, se almacenan y organizan en la plataforma informática. Seguidamente, el técnico encargado de la inspección facilita los datos a los expertos en la interpretación de la información obtenida de cada técnica de inspección, para que puedan aportar su conocimiento al diagnóstico.

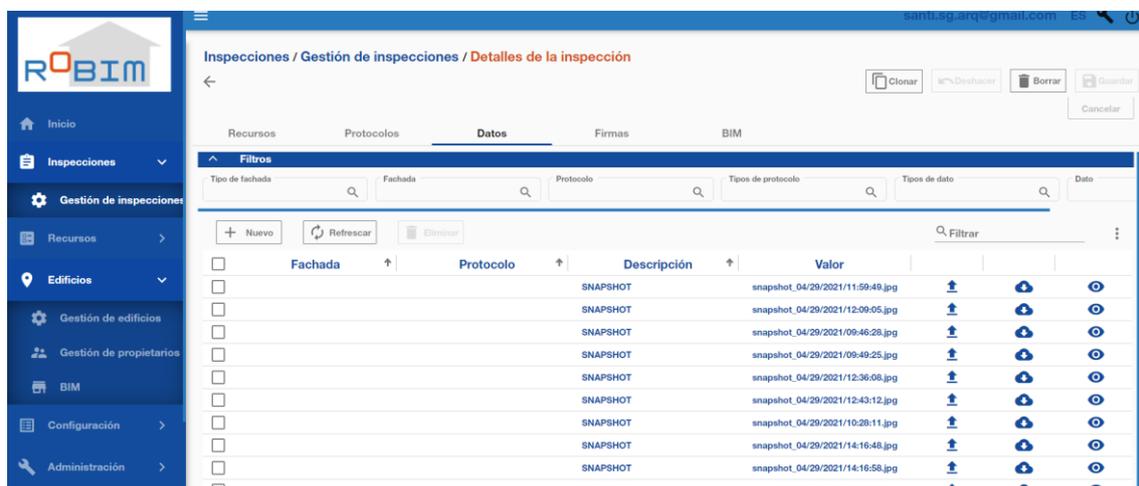


Ilustración 145: Plataforma web que almacena los datos obtenidos en la inspección.

En este caso, la inspección se realizó por partes, empleando en primer lugar el video endoscopio. Para ello se instaló el equipo en el robot con las piezas adecuadas para ello. Los expertos en inspección, después de haber analizado los resultados de la inspección preliminar decidieron que el lugar a inspeccionar por esta técnica debería ser las ranuras entre las placas de la fachada ventilada, y poder observar que había tras ellas, ya que con las imágenes de barrido no se había podido llegar a definirlo.

Se preparó el vuelo para llegar a esta posición, y una vez iniciada la operación los expertos pudieron seguir en tiempo real lo que la cámara video endoscópica podía observar, pudiendo dar instrucciones al piloto para acercarse hasta el lugar que requerían. Una vez logrado se guardaron las imágenes en la plataforma y quedaron registradas.

La siguiente técnica ensayada fue la sonda magnética. Esta técnica se ensayó para detectar los perfiles metálicos que había detrás de las placas cerámicas de la fachada. Estos perfiles son continuos y generan una retícula de donde se cuelgan dichas piezas. Así pues, se programó el vuelo para acercarse a una de las piezas elegidas y se dispuso la sonda magnética lo más cerca posible de la pieza, para que pudiera detectar los elementos metálicos con la mayor precisión.

Por último, se ensayó el georradar, la técnica más compleja de todas por su volumen, peso y manejabilidad. Este aparato está compuesto por varias piezas, dos antenas que deben estar en contacto con la fachada y una unidad de reconocimiento que transmite los datos vía wifi al ordenador del operario que lo maneja.

Los expertos de esta técnica decidieron emplearlo en una de las piezas cerámicas, con el fin de obtener la dimensión aproximada de la cámara de aire que existía tras ellas. En este caso los datos obtenidos fueron almacenados en el propio ordenador del robot, y se descargaron a posteriori para manejarlos con el programa específico del modelo de georradar empleado en la inspección.

A continuación, se aportan ejemplos de la documentación gráfica extraída de las pruebas de la inspección complementaria, para su posterior análisis:

Resultados de la inspección diagnóstica

Resultados del video endoscopio



Ilustración 146: Imágenes extraídas del video endoscopio.

La técnica del video endoscopio ha dado muy buenos resultados, pues permite con mucha facilidad acceder a cualquier parte de la fachada y fotografiar, en tiempo real, los elementos de la fachada que interese identificar, y que no son reconocibles por medio de la fotografía de barrido.

Podría decirse que es como tener una fotografía de detalle del elemento que necesitemos inspeccionar.

Resultados de la sonda magnética

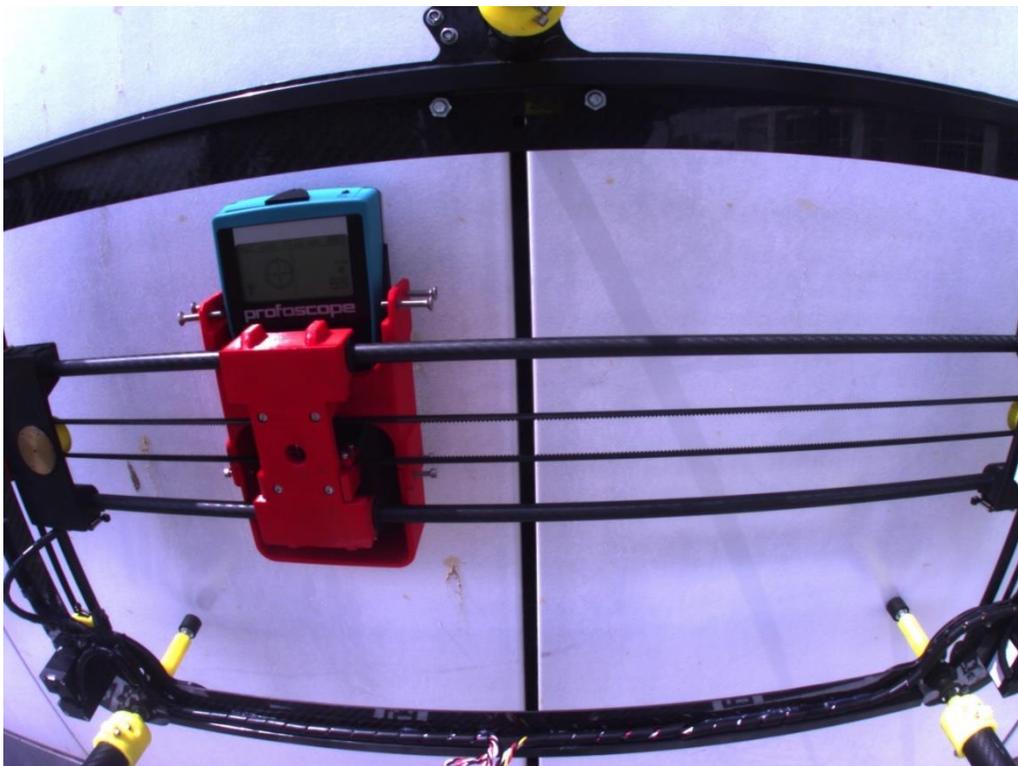


Ilustración 147: Inspección con sonda magnética.

La sonda magnética se ha probado mediante un pequeño barrido en la superficie de la pieza cerámica que ha servido para identificar los elementos metálicos que existen tras ellas. En estos ensayos el aparato ha sido capaz de detectar ambos perfiles metálicos que existen tras la placa.

Resultados del georradar

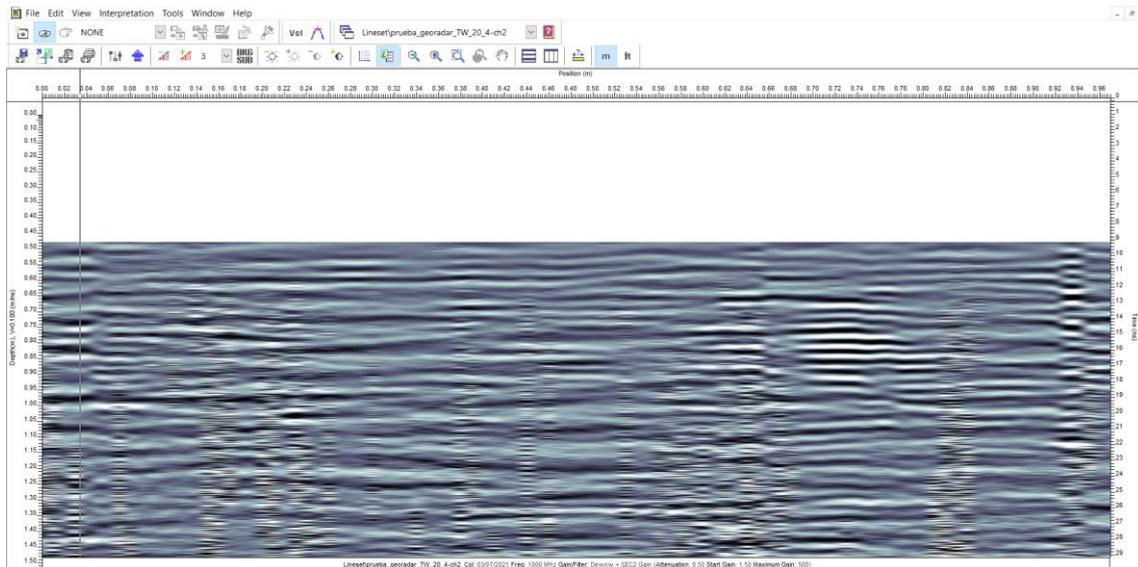


Ilustración 148: Radiograma del georradar, donde muestra el resultado gráfico de la inspección.

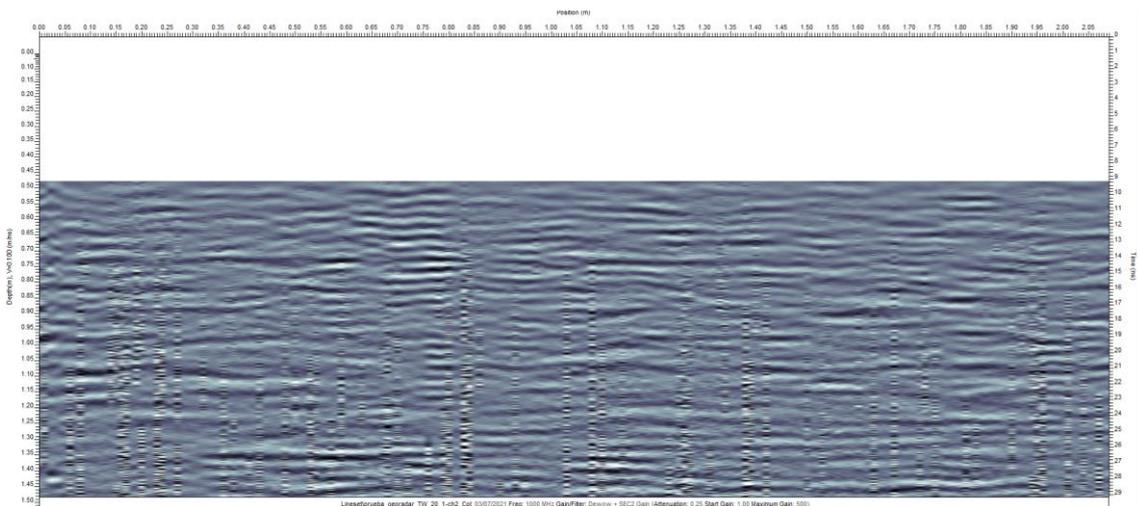


Ilustración 149: Radiograma del georradar, donde muestra el resultado gráfico de la inspección.

En el caso del georradar la inspección se ejecutó en una pieza de la fachada cerámica, realizándose un barrido descendente y vertical. Los resultados muestran cómo existe un patrón que se repite de elementos verticales que corresponden a los elementos metálicos que hay tras las placas cerámicas. No obstante, los resultados no son del todo concluyentes, puesto que sería necesario hacer una inspección del perfil completo de la fachada para asegurar que la interpretación de los resultados es correcta.

Listado de ilustraciones del capítulo

Ilustración 1: Ficha de lesiones (parte 1).....	6
Ilustración 2: Ficha de lesiones (parte 2).....	7
Ilustración 3: Clasificación de lesiones.	9
Ilustración 4: Clasificación de lesiones.	11
Ilustración 5: Características de lesiones de ataques al hormigón.....	12
Ilustración 6: Características de lesiones de corrosión de armaduras.	13
Ilustración 7: Características de lesiones en muros	14
Ilustración 8: Características de lesiones físicas.	15
Ilustración 9: Características de lesiones mecánicas.....	16
Ilustración 10: Características de lesiones químicas.	17
Ilustración 11: Baremos para la cuantificación de las técnicas de inspección.	21
Ilustración 12: Ficha ejemplo de técnica de inspección.....	22
Ilustración 13: Ficha ejemplo de técnica de inspección (II).....	24
Ilustración 14 Cuadro de limitaciones y retos de las fichas de inspección.....	25
Ilustración 15: Ficha ejemplo de técnica de inspección (III).....	26
Ilustración 16: Anexo de las fichas de inspección.	27
Ilustración 17: Comparativa de los parámetros de las técnicas de inspección.	29
Ilustración 18: Comparativa de volumen, peso y precio de las técnicas analizadas. Año 2018. .	30
Ilustración 19: Porcentaje de importancia según la clasificación de la norma UNE y las técnicas analizadas.	31
Ilustración 20: Número de lesiones que puede reconocer cada técnica.	31
Ilustración 21: Modelo C3	41
Ilustración 22: Modelo VUE PRO-R.....	41
Ilustración 23: Modelo LEPTON.....	41
Ilustración 24: Documentación gráfica Cámara VUE PRO R.	43
Ilustración 25: Modelo Vimex	44
Ilustración 26: Modelo Videonano	44
Ilustración 27: Modelo Pancellet.....	44
Ilustración 28: Modelo Genie Allied Vision T	45
Ilustración 29: Modelo Genie Nano	45
Ilustración 30: Modelo Genie Nano XL.....	45
Ilustración 31: Documentación gráfica de la cámara Allied Vision	46
Ilustración 32: Sonda magnética marca Proceq	47
Ilustración 33: Sonda magnética marca Elcometer	47
Ilustración 34: Documentación gráfica del modelo Proceq	48
Ilustración 35: Higrómetro marca Torrent.....	50
Ilustración 36: Higrómetro marca Testo	50
Ilustración 37: Higrómetro marca Proceq Hygropin.....	50
Ilustración 38: Georadar marca Panatec.	52
Ilustración 39: Georadar marca Radarteam	52
Ilustración 40: Georadar marca Sensoft.....	52
Ilustración 41: Escáner marca Artec	54
Ilustración 42: Escáner marca XYZ Printing	54
Ilustración 43: Escáner marca IFM	54
Ilustración 44: Escáner marca ZED	54
Ilustración 45: Escáner marca Intel	54

Ilustración 46: Escáner marca Flir.....	54
Ilustración 47: Escáner marca PMD.....	54
Ilustración 48: Documentación gráfica modelo Pico Monstar	56
Ilustración 49: Documentación gráfica modelo ZED	57
Ilustración 50: Plataforma voladora de fibra de carbono.....	69
Ilustración 51: Ficha de ensayo.	72
Ilustración 52: Características generales de la inspección	73
Ilustración 53: Problemas detectados	73
Ilustración 54: Toma de datos del edificio 1F de la UPV.....	74
Ilustración 55: Pantalla de control del actuador lineal.....	75
Ilustración 56: Soporte diseñado mediante impresión 3D para la cámara termográfica	76
Ilustración 57: Pruebas de la cámara termográfica en el actuador	76
Ilustración 58: Pruebas del escáner láser Pico Monstar	76
Ilustración 59: Pruebas del escáner láser ZED	76
Ilustración 60: Soporte diseñado mediante impresión 3D para colocar la cámara	77
Ilustración 61: Pruebas de la cámara fotográfica sobre el actuador	77
Ilustración 62: Soporte diseñado mediante impresión 3D para la sonda magnética.	77
Ilustración 63: Sonda magnética sobre actuador lineal.	77
Ilustración 64: Soporte mediante impresión 3D para antenas del georadar.....	78
Ilustración 65: Pruebas del georadar sobre el actuador lineal.....	78
Ilustración 66: Esquema campus UVP.	80
Ilustración 67: Planta y alzado edificio 1G.....	81
Ilustración 68: Sección constructiva 1G.....	81
Ilustración 69: Fotografías del edificio 1G.	81
Ilustración 70: Planta y alzado edificio 1F.....	82
Ilustración 71: Sección constructiva 1F.....	82
Ilustración 72: Planta y alzado edificio 6C.	83
Ilustración 73: Sección constructiva edificio 6C.	83
Ilustración 74: Fotografías del edificio 6C.	84
Ilustración 75: Planta y alzado edificio NEXUS.	84
Ilustración 76: Sección constructiva edificio NEXUS.	85
Ilustración 77: Fotografías de edificio NEXUS.	85
Ilustración 78: Esquema de los ensayos, planta y alzado donde se detallan las separaciones a la fachada de cada técnica de inspección.	87
Ilustración 79: Esquema matriz de ensayos de la termografía.....	88
Ilustración 80: Imagen con deformación de barril.....	89
Ilustración 81: Imagen corregida.....	89
Ilustración 82: Imágenes térmicas capturas con un 50% de solape.	90
Ilustración 83: Variación cromática.	90
Ilustración 84: Análisis del flujo óptico..	91
Ilustración 85: Frame completo, sección del flujo óptico..	91
Ilustración 86: Reconstrucción panorámica final.	92
Ilustración 87: Esquema matriz de ensayos de la fotografía de barrido.	100
Ilustración 88: Ejemplo de un punto clave.	102
Ilustración 89: Flujo óptico de las imágenes.	102

Ilustración 90: Tres imágenes independientes con 50 % de solape.	104
Ilustración 91: Unión de las imágenes sin corrección de transición.	104
Ilustración 92: Unión de imágenes con corrección de transición.	104
Ilustración 93: Fotografía unida con separación de 50 cm.	105
Ilustración 94: Fotografía unida con separación de 100 cm.	105
Ilustración 95: Fotografía unida con separación de 200 cm.	105
Ilustración 96: Fotografía unida con separación de 50 cm.	105
Ilustración 97: Fotografía unida con separación de 100 cm.	105
Ilustración 98: Fotografía unida con separación de 200 cm.	105
Ilustración 99: Fotografía unida con separación de 50 cm.	106
Ilustración 100: Fotografía unida con separación de 100 cm.	106
Ilustración 101: Fotografía unida con separación de 200 cm.	106
Ilustración 102: Fotografía unida con separación de 50 cm.	106
Ilustración 103: Fotografía unida con separación de 100 cm.	106
Ilustración 104: Fotografía unida con separación de 200 cm.	106
Ilustración 105: Imagen ampliada de desviación y vista de detalle.	107
Ilustración 106: Esquema matriz de ensayos de la sonda magnética.	112
Ilustración 107: Resultados de barras encontradas a velocidad de 1 mm/s.	113
Ilustración 108: Resultados de barras encontradas a velocidad de 3 mm/s.	113
Ilustración 109: Resultados de barras encontradas a velocidad de 5 mm/s.	113
Ilustración 110: Esquema matriz de ensayos del georadar.	115
Ilustración 111: Esquema matriz de ensayos del escáner ZED.	119
Ilustración 112: Mallado extraído del escáner láser ZED importado en el programa BIM Revit.	137
Ilustración 113: Esquema matriz de ensayos del escáner Pico Monstar.	139
Ilustración 114: Dos nubes de puntos pre-alineadas con zona de solape en medio.	140
Ilustración 115: Desviación entre planos de fachada de las dos nubes.	140
Ilustración 116: Cuantificación de la desviación.	141
Ilustración 117: Mapa de densidad de puntos de una captura individual a un metro de distancia.	143
Ilustración 118 Mapa de densidad de puntos de una nube de puntos a un metro de distancia.	144
Ilustración 119: Tres nubes de puntos azul, roja y amarilla alineadas, pero sin decimar.	144
Ilustración 120: Resultado de la reducción.	145
Ilustración 121: Mapa con zonas de mayor densidad después de decimar.	145
Ilustración 122: Diagrama de trabajo del estudio patológico (Fuente IVE).	161
Ilustración 123: Edificio piloto ubicado en Zaragoza, preparado la realización de las pruebas.	175
Ilustración 124: Pruebas con el robot ROBIM.	176
Ilustración 125: Cámara fotográfica FLIR montada en el trípode.	177
Ilustración 126: Cámara termográfica montada en el trípode.	177
Ilustración 127: Fotografías termográficas tomadas manualmente.	178
Ilustración 128: Fotografía termográfica tomada manualmente.	178
Ilustración 129: Panorámica del edificio piloto mediante la unión de las distintas fotografías tomadas por el experto en fotografía de barrido del IRP.	179
Ilustración 130: Pestaña: Localización del edificio a inspeccionar.	182
Ilustración 131: Pestaña: listados de inspecciones.	182
Ilustración 132: Pestaña: Propiedades del edificio piloto (I).	182
Ilustración 133: Pestaña: Propiedades del edificio piloto (II).	183

Ilustración 134: Pestaña: Propiedades del edificio piloto (III).....	183
Ilustración 135: Pestaña: Propiedades del edificio piloto (IV).....	183
Ilustración 136: Plataforma web donde se almacenan los datos obtenidos de la inspección..	185
Ilustración 137: Imagen reconstruida por el sistema ROBIM.....	185
Ilustración 138: Comparación imagen individual.....	187
Ilustración 139: Imagen de las fisuras simuladas sobre la fachada analizada de diferentes espesores (1, 2 y 3 mm).	187
Ilustración 140: Reconstrucción de imágenes del robot.....	188
Ilustración 141: Errores de empalme por paralaje.....	189
Ilustración 142: Solape reconstrucción imágenes robot con reconstrucción de referencia.	189
Ilustración 143: Nube de puntos extraída del instrumental Pico Monstar.....	190
Ilustración 144: Nube de puntos extraída del instrumental Pico Monstar.....	190
Ilustración 145: Plataforma web que almacena los datos obtenidos en la inspección.....	193
Ilustración 146: Imágenes extraídas del video endoscopio.	194
Ilustración 147: Inspección con sonda magnética.....	195
Ilustración 148: Radiograma del georradar, donde muestra el resultado gráfico de la inspección.	196
Ilustración 149: Radiograma del georradar, donde muestra el resultado gráfico de la inspección.	196

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

CAPÍTULO IV

Las conclusiones de toda la investigación están divididas en diferentes ámbitos de estudio que ha compuesto el desarrollo multidisciplinar del proyecto completo. Una vez acabadas todas las pruebas y escenarios que han determinado la validez del proyecto se pueden extraer todas estas conclusiones, que se han dividido en los siguientes apartados:

IV.1. Relativas a las técnicas de inspección y estudio de las lesiones

Las conclusiones que se presentan se extraen, por un lado, del estudio de los retos y limitaciones de las técnicas; y por otro, del análisis de los resultados obtenidos de la investigación sobre lesiones y técnicas de inspección, y del cruce de información entre ambas.

En cuanto a las conclusiones deducidas del estudio de las lesiones se han realizado diferentes clasificaciones para ponderarlas:

Atendiendo a la **peligrosidad** que conllevan, puesto que suponen una amenaza estructural a considerar, se puede enumerar los desprendimientos de los recubrimientos de las armaduras, las fisuras y grietas, la humedad, las roturas en paños, los desprendimientos, la corrosión y la erosión química.

Por otro lado, la **dificultad para detectar las lesiones** es otro factor a destacar. En ese sentido, es posible identificar dos categorías, aquellas lesiones que son difíciles de identificar debido a su ubicación, falta de acceso o porque son poco comunes, y, por el contrario, las lesiones cuyo origen es complicado de determinar.

En el primer grupo de lesiones difícilmente detectables, se puede subdividir en lesiones internas o externas. Las lesiones internas son inherentemente difíciles de detectar, mientras que las lesiones externas, en su mayoría, solo resultan difíciles de detectar en los casos de fisuras, grietas y corrosión.

En el segundo grupo, se encuentran las fisuras en mapa por ataque por sulfatos, y roturas en mapa por retracción hidráulica.

Algunas de las lesiones pueden ser detectadas con anterioridad a manifestarse por sus síntomas, siempre que se sospeche, bien porque ya existen en otras zonas de la envolvente, o bien por tratarse de tareas de prevención o mantenimiento. Esto significa que las técnicas capaces de realizar este trabajo deberían tenerse en cuenta por su carácter preventivo.

Dado que se ha verificado que no todas las lesiones son igual de importantes, se realizó una clasificación en el capítulo III, dividiéndolas en 3 grupos de menor a mayor importancia.

En la detección de lesiones tipo A, las de menor importancia, tiene interés mejorar el rendimiento de las técnicas a emplear, pues son sencillas de identificar y de escasa gravedad.

Las lesiones tipo B exigen un tratamiento más pormenorizado para identificar mejoras en su inspección, dado que sus parámetros son menos homogéneos, y dependiendo de ellos las estrategias serán distintas. En general, se comportarán más como las tipo C que como las tipo A.

Las lesiones tipo C son las que admiten mejoras en casi todos los aspectos, pero en general será posible identificarlas con inspecciones más localizadas, de modo que sería interesante centrar los esfuerzos en facilitar el acceso y los métodos de inspección puntual, así como abaratar su aplicación.

En cuanto a las conclusiones deducidas del estudio de las técnicas:

Si se atiende a la cantidad de lesiones que detectan, cabe destacar la fotografía de barrido, la termografía, el escaneado láser y el termohigrómetro. Del mismo modo si se considera la clasificación del porcentaje de lesiones según su importancia (Tipo A, B o C) aparecen las mismas técnicas a la cabeza.

Según el tipo de datos que se obtienen, pueden considerarse dos grandes grupos:

- Las que ofrecen información directa o casi directa para el diagnóstico: termografía, sonda magnética, termohigrómetro y extensometría.

- Las que aportan datos que exigen tareas complejas de procesado: endoscopía, fotografía de barrido, georadar, escáner láser 3D, impacto eco y ultrasonidos.

En aquellas técnicas en que no se obtienen datos directos o semidirectos es necesario revisar y comparar los resultados obtenidos de manos de una persona experta. Para sistematizar el proceso sería muy conveniente disponer de patrones de comparación preestablecidos en condiciones similares a las inspecciones, de modo que fueran fiables y útiles para la interpretación de resultados.

Hay otras apreciaciones de especial interés sobre las técnicas, por ejemplo, las compatibles para su aplicación combinada:

- Microperforación, Endoscopía y Termohigrometría: La combinación de estas técnicas nos daría una buena información sobre las capas internas del cerramiento. Primero se obtendría una muestra para analizar en laboratorio y extraer determinadas propiedades de los materiales y sus posibles lesiones. Después podría estudiarse in situ la composición, calidad de ejecución y estado de conservación del elemento perforado empleando la endoscopía en la misma perforación realizada para la micro extracción. Finalmente, una sonda termohigrométrica en profundidad podría aportar datos exactos del grado de humedad interno de la fachada.

- Termografía, fotografía de barrido y el escáner láser 3D: mediante el uso coordinado de estas tres técnicas que no requieren contacto directo con la superficie a inspeccionar sería posible analizar prácticamente el 100% de las lesiones con síntomas superficiales ya manifestándose.

- Georadar, ultrasonidos e impacto eco: más que una utilización combinada, en este caso, dado que las tres técnicas permiten detectar lesiones o defectos internos, no visibles desde el exterior, el interés de su utilización conjunta se basaría en el contraste de la información obtenida, teniendo en cuenta la alta dificultad de interpretación de los resultados de todas ellas. Esto permitiría mejorar las condiciones de fiabilidad en dicha interpretación de resultados.

- Termografía y fotografía de barrido combinadas con la sonda magnética: Ante la presencia de fisuras o indicios de humedad, es muy interesante detectar también la existencia de elementos metálicos, susceptibles de provocar daños por corrosión.

- En general, las técnicas de auscultación superficial por barrido o desplazamiento de la sonda son siempre combinables con las de localización puntual de problemas. Por ejemplo, la extensometría puede emplearse cuando se conoce el cuadro fisurativo y sus magnitudes a través de otras técnicas más globales. Lo mismo ocurre con la endoscopia y la microperforación a partir de los resultados del Georradar o los Ultrasonidos.

En resumen, siempre será necesario, o al menos muy conveniente, el uso de varias técnicas para alcanzar a reconocer y diagnosticar el 100 % de las lesiones existentes en las fachadas de los edificios, por varios motivos:

- Las técnicas superficiales se complementan con las internas, en la prevención y en el análisis a posteriori.
- Las condiciones de captación no siempre serán las adecuadas para cada técnica, de modo que hay que prever la versatilidad para una sesión de inspección lo más rentable posible.
- Los datos obtenidos deben compararse y superponerse para conseguir un resultado más exacto y fiable en la interpretación de todos los resultados.

Recomendaciones finales:

- Parece necesario utilizar una combinación de técnicas que permitan inspección superficial e interna, a la vez que ofrezcan datos diferentes sobre una misma lesión o sistema constructivo.
- La prevención y la caracterización del sistema constructivo solo es viable a través de la auscultación interna, mientras que las lesiones visibles, en general, solo son detectables mediante inspección superficial.
- Es interesante poder inspeccionar la totalidad de la envolvente, siempre que sea rentable en términos globales (medios, tiempo, coste económico...), a la vez que se debe poder hacer comprobaciones puntuales, en función de los resultados globales.

IV.2. Relativas a validación del protocolo de inspección

Por lo general, en los trabajos de inspección se debe realizar una caracterización constructiva del edificio y los sistemas que lo componen, así como localizar las lesiones y deterioros presentes, y, para ello, es imprescindible adaptarse a los condicionantes de cada caso.

Los técnicos deben ser conocedores de estas necesidades, para elaborar el plan de inspección que mejor satisfaga los requerimientos del trabajo. En este plan deben de contar con instrumental técnico especializado que les ayude a tomar datos y realizar el diagnóstico y, en muchos casos, no es algo sencillo.

Para dar una adecuada solución a estos problemas en la inspección de edificios tradicional, se planteó el proyecto ROBIM, que define una metodología de inspección basada en un protocolo más sencillo y fiable de cara a la toma de datos, pues la posibilidad de contar con un robot que ejecuta la captura de información de una manera sistemática y autónoma o teleoperada, permite recabar gran cantidad de datos, ahorrando tiempo y esfuerzo, así como identificar y corregir, durante la inspección del edificio, los problemas que se presenten en los resultados obtenidos.

A pesar de las dificultades coyunturales sobrevenidas en el transcurso de la investigación a causa de la COVID19, especialmente en lo referente a las enormes restricciones en movilidad y la actividad presencial en los trabajos de campo y, en general, en las reuniones de coordinación de los distintos equipos que participaron en ella, los resultados de las pruebas en el piloto pueden considerarse satisfactorios en diversos sentidos.

Capacidad de captación de datos obtenidos manual y automáticamente:

En el caso del edificio seleccionado y por las restricciones normativas, que obligaron a ejecutar los vuelos en una fachada de escasa altura y sin obstáculos visuales, los resultados de ambos procedimientos son equivalentes en dificultad de obtención de la información. Parece claro que este paralelismo iría decantándose progresivamente hacia la inspección automatizada a medida que se aumentase la elevación del plano de inspección y la presencia de elementos urbanos que obstruyesen la visión.

Esto es muy claro en lo referente a la captación de imágenes, donde salvo algunas dificultades en el caso de la termografía, consideradas subsanables, la adquisición ha sido igual de sencilla en ambas modalidades. En efecto, el poder tomar las imágenes desde el suelo con el mismo paralaje se hace imposible al ir elevando el punto de vista, mientras que el robot puede ir desplazándose hacia arriba, manteniendo las mismas condiciones de captación que si se realizase desde el suelo.

Por otro lado, al usar técnicas que requieren contacto con el paramento analizado, como es el caso del videoendoscopio, la sonda magnética o el georradar, es obvio que en alturas superiores al alcance del brazo, la inspección tradicional no es comparable, pues simplemente no es viable sin medios auxiliares como cestas, alpinismo o andamios a partir de esa altura.

Calidad de datos obtenidos manual y automáticamente:

En el anterior capítulo se ha explicado con detenimiento las diferencias y similitudes en la calidad de la información obtenida, particularmente en las técnicas de captación de imagen, dado que en el resto la diferencia fundamental estriba en el alcance del operador manual respecto del robot.

Es importante señalar que se ha conseguido obtener una información de calidad suficiente, aunque siempre mejorable, comparada con la obtenida manualmente.

Además, debe tenerse en cuenta que las prestaciones del instrumental en este campo mejoran muy rápidamente en el caso de los equipos convencionales por su mayor alcance comercial, mientras que la adaptación a los medios robotizados se planteó con los equipos seleccionados hace cuatro años al inicio del proyecto, de calidad adecuada, pero entre una gama más limitada, por las especiales características exigibles a los mismos.

Tiempo y medios de captación de datos obtenidos manual y automáticamente:

De nuevo en este caso la escasa entidad de la fachada a inspeccionar en cuanto a tamaño y ausencia de deterioros importantes hace que se deba extrapolar las conclusiones para prever otras situaciones.

La inspección manual, en casos donde la superficie a inspeccionar sea poca y muy accesible, requiere menor tiempo de preparación y no exige medidas especiales de seguridad en el entorno, tal como ocurre con el sistema robotizado y sus aplicaciones.

Así, la toma de datos manual, si se puede hacer desde el suelo o con medios de elevación de poca envergadura y que no requieran muchos desplazamientos, puede ser más rentable en tiempo y medios que la automatizada.

El tiempo de preparación del sistema robótico (disposición, calibración, prueba...) aconseja usarlo en casos de grandes superficies o fachadas muy inaccesibles para que salga rentable, pues cuando está preparado es mucho más rápido y no requiere ninguno de los medios necesarios que cuando se trabaja manualmente.

Tiempo de procesado y acceso a los datos obtenidos manual y automáticamente:

De nuevo la cantidad de información que se requiera es aquí determinante para comparar ambas modalidades de inspección.

Cuando los datos son obtenidos de diversas técnicas de inspección, cada instrumento dispone de sus propios tipos de datos y sistemas de almacenamiento. Incluso algunos requieren que se tome manualmente en el momento de la captación el dato proporcionado, pues no disponen de dichos sistemas.

El técnico debe recopilar toda la información obtenida, en algunos casos sin haberla podido revisar en el momento de su obtención, descargándola a su ordenador desde los medios de almacenamiento de los diversos dispositivos empleados, para trabajar en gabinete. Así, debe clasificarla y trabajarla por separado, empleando un tiempo apreciable.

Además, si no ha podido revisarse la calidad e idoneidad para el diagnóstico de la información en el momento de captación, es probable que se tenga que volver a realizar parte de la inspección de nuevo.

Todo esto hace que, además de aumentar considerablemente el tiempo de trabajo de campo, el tiempo requerido para descargar la información, clasificarla y revisarla es mucho mayor en el caso de la inspección manual, ya que los datos que toma el robot son almacenados directamente en la aplicación, de modo que pueden revisarse cómodamente.

Otra ventaja es la posibilidad de revisar in situ la validez de la información obtenida, pudiendo realizar inspecciones adicionales o repetir las no válidas en el mismo momento.

Así pues, el ahorro de tiempo de procesado gracias a la metodología propuesta, la aplicación desarrollada y los sistemas de almacenamiento de datos del robot, es importante respecto de la inspección manual, incluso en inspecciones de envergadura moderada.

**CAPÍTULO V:
INVESTIGACIONES
FUTURAS**

CAPÍTULO V

A continuación se presentan las posibles investigaciones futuras que se podrían desarrollar, divididas en distintos escenarios.

V.1 Cuestiones sobre las técnicas de inspección

A continuación, se han descrito las limitaciones de las distintas técnicas, tanto desde el punto de vista del control de los aparatos como de la gestión y guardado de datos, que son posibles mejoras que pueden llegar de la mano de otras futuras investigaciones.

T.I.01 Termografía

Calibración:

Se necesita un tiempo de calibración en la medición entre cada toma de datos, por lo que el desplazamiento continuo dependerá lo rápido que pueda calibrarse la cámara para obtener datos fiables.

Captura de datos:

La cámara no permite una conexión en tiempo real, lo que dificulta ver lo que está capturando y no permite hacer ningún tipo de operación sobre las imágenes hasta terminar el proceso y descargar la información.

Las imágenes tienen un formato propio del fabricante que hace difícil poder realizar un procesamiento con programas de terceros y mantener toda la información adicional que se requiere para algunos análisis.

Esto deberá conseguirse a través de una aplicación informática específica para controlar y ser capaces de ver a tiempo real las imágenes obtenidas.

Interpretación de datos:

Las imágenes deben ser analizadas con un programa propio del fabricante, lo que hace que el diagnóstico no se pueda generar únicamente a través de la aplicación realizada por el ROBIM.

T.I.03 Fotografía de barrido

Control conjunto cámara/robot:

La cámara de fotografía de barrido es controlada a través de un programa propio en el que se puede modificar ciertos parámetros, pero con el fin de obtener un manejo mucho más preciso sería conveniente crear una interfaz con la API del fabricante para controlar el robot y la cámara al unísono.

El enfoque manual puede resultar un problema si por algún motivo el sistema debe cambiar la distancia de la fachada. Esta es la tecnología más susceptible a esta necesidad de cambio.

T.I.04 Sonda Magnética

Configuración cerrada del instrumental:

La sonda magnética es con diferencia la técnica más complicada de manejar, pues de los dispositivos existentes en el mercado, pese a que el escogido es el que mejor cumple con las expectativas de tamaño, peso y prestaciones de detección, no es fácil de operar de manera remota, pues todos estos aparatos están diseñados para ser empleados manualmente.

Concretamente, no es posible desactivar el apagado automático y es necesario pulsar físicamente los botones integrados en el aparato cada poco tiempo para evitar esto, además de para operar durante la inspección.

Tampoco ha sido posible extraer la sonda para separarla del resto de componentes y no se ha obtenido ayuda del fabricante para el uso remoto, de modo que fuera posible recibir los datos y almacenarlos en la unidad central del robot. Ello implica que se necesita que una cámara ofrezca visión de la pantalla incorporada en el instrumento para tener las lecturas en tiempo real.

T.I.06 Georadar

Limitaciones físicas:

En este sentido cabe citar el peso considerable y la necesidad de una toma de datos a una velocidad relativamente baja.

Experiencia del operador:

Pese a que los resultados de calibración son buenos y no requieren de mucho tiempo, se necesita bastante experiencia, por lo que es indispensable que sean operadores expertos los que manejen de manera remota la inspección, para garantizar que los datos obtenidos en la inspección alcanzan los resultados esperados.

Vinculación captura/interpretación de datos:

El programa de manejo es complejo y debe instalarse en el ordenador base para controlar a tiempo real el aparato y validar o no los resultados, pues de nada serviría obtener unos resultados a ciegas.

T.I. 07 Escáner Láser

Los dos escáneres láser han dado unos resultados bastante buenos, pero hay ciertas limitaciones para tener en cuenta.

Complejidad del software:

El escáner ZED, es capaz de generar un modelo a tiempo real, pero el software es complejo de manejar y la señal debe ser muy buena para obtener unos resultados adecuados, además de ser necesario disponer de equipos muy potentes para manejar la cantidad y tamaño de los datos que obtiene. Los archivos resultantes también son muy grandes y su manipulación posterior puede dificultar su uso.

Postproducción de datos:

El escáner PICO MONSTAR es mucho más sencillo de implementar, sin embargo, el procesamiento de las nubes de puntos requiere muchos algoritmos de verificación para garantizar que la reconstrucción del modelo 3D se está haciendo en modo adecuado y hace falta optimizar más este proceso.

Por estos motivos, el margen de mejora en el futuro es muy amplio, gracias a los avances tecnológicos que se producen en la industria será fácil incorporar instrumental que tenga mayor calidad o se adecúe mejor al sistema de inspección desarrollado por ROBIM.

V.2 Cuestiones sobre la detección automática de lesiones.

En el caso de la detección de lesiones, la tecnología de reconocimiento de imágenes está mejorando gracias a la incorporación de la inteligencia artificial (IA). Esto abre la puerta a introducir en el sistema ROBIM una de mejora en detección de lesiones gracias a este tipo de herramientas y al reconocimiento de las imágenes tomadas de la inspección inicial.

V.3 Cuestiones sobre la mejora del Sistema ROBIM.

El sistema ROBIM tiene su potencial en la inspección de edificios de gran tamaño, donde los medios auxiliares tienen un elevado coste y el tiempo de toma de datos es muy extenso.

Por estos motivos, las investigaciones futuras tienen que ver con la mejora y calibración final del sistema completo en edificios de varias plantas y mucha complejidad.

Cuanto más grande sea el edificio más rentable será sacar la información para el diagnóstico con el sistema completo.

Además, también puede ser de interés para edificios con protección patrimonial, puesto que en estos casos es muy importante conocer el diagnóstico completo, para poder

actuar con seguridad. De esta manera, en este tipo de edificios es más que necesario obtener una gran cantidad de información.

En el patrimonio arquitectónico intervienen distintos técnicos que son expertos en varias partes del edificio, por lo que el sistema de inspección remoto es gran ayuda para ser de base para el trabajo de un equipo multidisciplinar.

BIBLIOGRAFÍA



Capítulo I

- [1] Parlamento Europeo, “Reducción de emisiones en la UE: objetivos nacionales para 2030 | Noticias | Parlamento Europeo,” 2018. [Online]. Available: <http://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180208STO97442/r-educcion-de-emisiones-en-la-ue-objetivos-nacionales-para-2030>. [Accessed: 20-Dec-2018].
- [2] European Commission, “In focus: Energy efficiency in buildings,” *Eur. Comm. – Dep. Energy*, no. February, 2020.
- [3] J. Zhao, C. Gao, and T. Tang, “A Review of Sustainable Maintenance Strategies for Single Component and Multicomponent Equipment,” *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2992, Mar. 2022.
- [4] Mauricio Noya, Ana Lucia Torres Seroa da Motta, Mariângela Moura, Rafael Carvalho de Souza, and Bruno Barzellay, “Risk Analysis: A Methodology Applicable to the Building Inspection,” *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 10, no. 9, Sep. 2016.
- [5] A. T. H. Le, N. Domingo, E. Rasheed, and K. S. Park, “Building maintenance cost planning and estimating: A literature review,” in *Proceeding of the 34th Annual ARCOM Conference, ARCOM 2018*, 2018, pp. 697–706.
- [6] G. Acampa and C. M. Parisi, “Management of maintenance costs in cultural heritage,” in *Green Energy and Technology, 2021*, pp. 195–212.
- [7] Comunidad Valenciana. Conselleria de Vivienda Obras Públicas y Vertebración del Territorio., “DECRETO 53/2018, de 27 de abril, del Consell, por el que se regula la realización del informe de evaluación del edificio de uso residencial de vivienda y su Registro autonómico en el ámbito de la Comunitat Valenciana.,” *D. Of. la General. Valencia.*, no. 8288, 7 de mayo, pp. 17822–17829, 2018.
- [8] A. Shorten and J. Smith, “Mixed methods research: Expanding the evidence base,” *Evid. Based. Nurs.*, vol. 20, no. 3, pp. 74–75, 2017.
- [9] B. Domenech, L. Ferrer-Martí, and R. Pastor, “Multicriteria analysis of renewable-based electrification projects in developing countries,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 312, no. 2, pp. 1375–1401, 2022.
- [10] C. H. Kuo, A. Leber, C. M. Kuo, C. Boller, C. Eschmann, and J. Kurz, “Unmanned robot system for structure health monitoring and non-destructive building inspection current technologies overview and future improvements,” in *Structural Health Monitoring 2013: A Roadmap to Intelligent Structures - Proceedings of the 9th International Workshop on Structural Health Monitoring, IWSHM 2013*, 2013, vol. 1, no. January 2013, pp. 569–576.
- [11] S. Halder and K. Afsari, “Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 4, p. 2304, Feb. 2023.

Capítulo II

- [1] AENOR, *Informe UNE*. 2009, pp. 3-5.
- [2] G. Metodologica, «Inspeccion Tecnica De Edificios (I.T.E.) Guia Metodologica», 2006.
- [3] Jefatura del Estado, *Real Decreto-ley 8/2011*. 2011, pp. 71548-71586.
- [4] IVE, «Cuaderno de lesiones en fachadas». VALENCIA, 2017.
- [5] IVE, «Cuaderno de lesiones en estructuras de fábrica». VALENCIA, 2017.
- [6] IVE, «Cuaderno de lesiones en estructuras de hormigón». VALENCIA, 2017.
- [7] IVE, «Experiencia en inspección de estructuras en edificios», 2008.
- [8] IVE, «GUÍA PARA LA INSPECCIÓN COMPLEMENTARIA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES». VALENCIA, 2008.
- [9] AA.VV., *Tratado de rehabilitación. Vol. 4: Patología y técnicas de intervención: fachadas y cubiertas*. Editorial Munilla-Lería, 1999. doi: 84-89150-23-0.
- [10] «REHABEND Congresses».
- [11] L. Villegas y I. Lombillo, «Los estudios previos en la rehabilitación de construcciones del patrimonio construido», en *Rehabend*, 2006, p. 16.
- [12] I. Arce et al., *Tratado de rehabilitación. Tomo 2, Metodología de la restauración y de la rehabilitación*. Madrid: Madrid : Munilla-Lería, 1999., 1999.
- [13] «Guía docente del “Máster Universitario de Rehabilitación de edificios y regeneración urbana”». Universitat Politècnica de València, 2021.
- [14] Generalitat Valenciana. Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática, «INFORME DE EVALUACIÓN DEL EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL DE VIVIENDA (IEEV.CV)».
<https://habitatge.gva.es/es/web/arquitectura/aplicacion-informe-de-evaluacion-del-edificio>
- [15] J. Domínguez, A. González, R. El, y V. Técnica, «Valoración técnica del deterioro de las edificaciones en la zona costera de Santa Fe», *Revista científica de Arquitectura y Urbanismo*, vol. 36, n.º 1, pp. 48-61, 2015.
- [16] Ł. Uchański y K. Karsznia, «The use of Terrestrial Laser Scanning for the purposes of preparing technical documentation in BIM technology», *Budownictwo i Architektura*, vol. 17, n.º 3, pp. 189-199, dic. 2018, doi: 10.24358/Bud-Arch_18_173_14.
- [17] R. J. Scherer y P. Katranuschkov, «BIMification: How to create and use BIM for retrofitting», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 38, pp. 54-66, oct. 2018, doi: 10.1016/j.aei.2018.05.007.
- [18] R. Volk, J. Stengel, y F. Schultmann, «Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs», *Automation in Construction*, vol. 38. Elsevier, pp. 109-127, 1 de marzo de 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [19] N. Cavalagli, M. Gioffrè, S. Grassi, V. Gusella, C. Pepi, y G. M. Volpi, «On the accuracy of UAV photogrammetric survey for the evaluation of historic masonry structural damages», *Procedia Structural Integrity*, vol. 29, pp. 165-174, 2020, doi: 10.1016/j.prostr.2020.11.153.
- [20] F. J. Castilla, A. Ramón, A. Adán, A. Trenado, y D. Fuentes, «3D Sensor-Fusion for the Documentation of Rural Heritage Buildings», *Remote Sens (Basel)*, vol. 13, n.º 7, p. 1337, mar. 2021, doi: 10.3390/rs13071337.
- [21] S. Motayyeb, F. Samadzedegan, F. Dadrass Javan, y H. Hosseinpour, «Fusion of UAV-based infrared and visible images for thermal leakage map generation of building facades», *Heliyon*, vol. 9, n.º 3, p. e14551, mar. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14551.

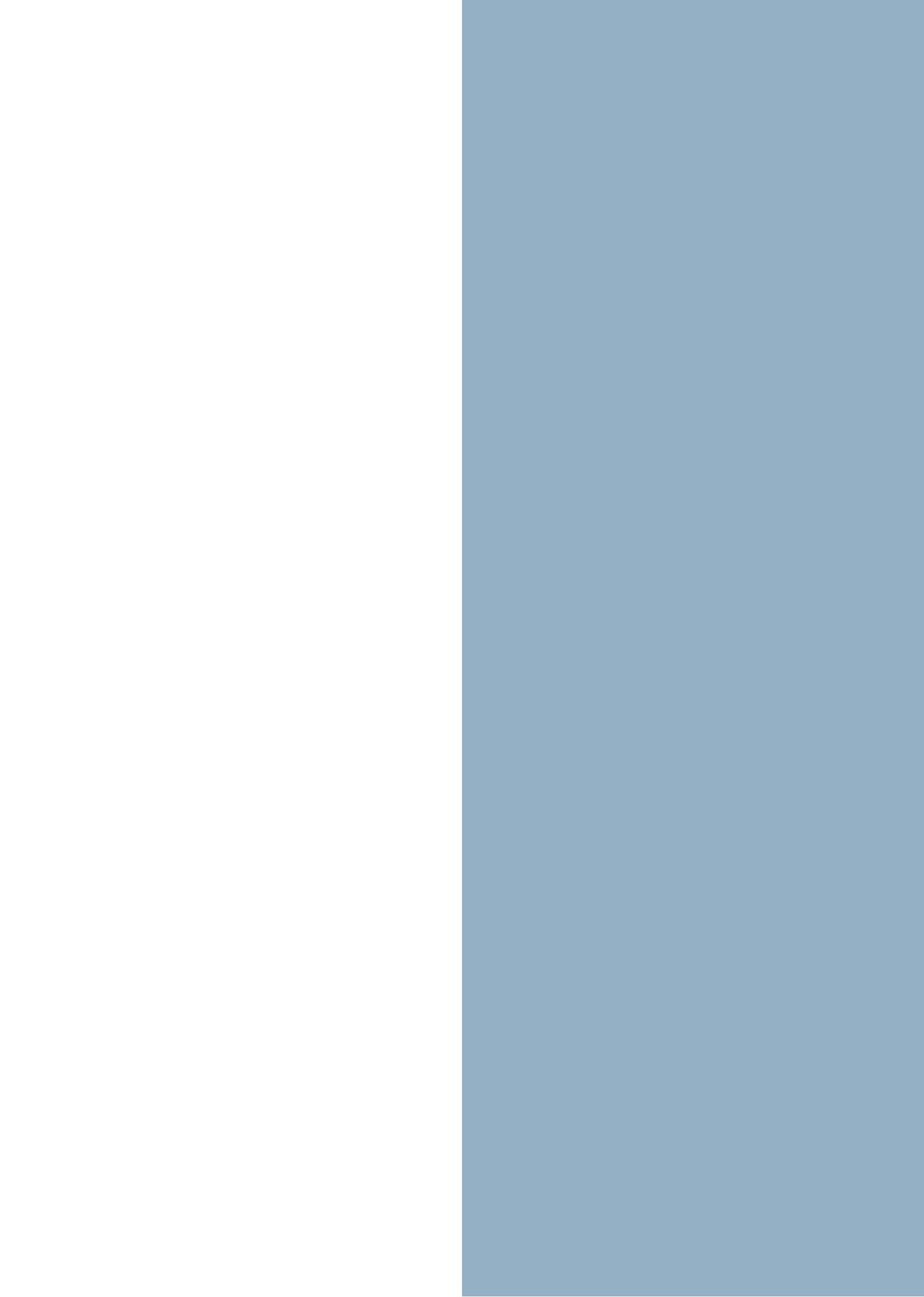
- [22] M. Dahaghin, F. Samadzadegan, y F. Dadrass Javan, «Precise 3D extraction of building roofs by fusion of UAV-based thermal and visible images», *Int J Remote Sens*, vol. 42, n.º 18, pp. 7002-7030, 2021, doi: 10.1080/01431161.2021.1951875.
- [23] K. S. Yen, T. A. Lasky, y B. Ravani, «Cost-Benefit Analysis of Mobile Terrestrial Laser Scanning Applications for Highway Infrastructure», *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 20, n.º 4, dic. 2014, doi: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000192.
- [24] G. Desogus, E. Quaquero, G. Rubiu, G. Gatto, y C. Perra, «BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings», *Sustainability*, vol. 13, n.º 8, p. 4496, abr. 2021, doi: 10.3390/su13084496.
- [25] L. D'Angelo, M. Hajdukiewicz, F. Seri, y M. M. Keane, «A novel BIM-based process workflow for building retrofit», *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104163, jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104163.
- [26] S. Han, R. Yao, y E. Essah, «Developing a theoretical framework to assist policymaking for retrofitting residential buildings using system player analysis and causal loop diagrams», *J Clean Prod*, vol. 411, n.º August 2022, p. 137211, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137211.
- [27] D. Bostenaru, «Natural Hazards and Earth System Sciences Multi-criteria decision model for retrofitting existing buildings», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, pp. 485-499, 2004.
- [28] N. Nebot, V. González, y R. Fernandez, *Pensar la ciudad. Nuevas herramientas para la regeneración urbana*. 2014.
- [29] A. E. Ortega y R. B. Arenas, «ACC3DE 2.0: HERRAMIENTA INTELIGENTE PARA EL DIAGNÓSTICO Y EL APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA LA ACCESIBILIDAD EN EL PATRIMONIO (2)», 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www-cpsv.upc.es/lmvc/index.htm>
- [30] M. Navarro Escudero, C. Mateo Cecilia, B. Serrano Lanzarote, y V. Valero Escribano, «Because people act, cities can be smart: Promoting social innovation in smart-city design-tools in the Mediterranean.», n.º September, pp. 1179-1186, 2018, doi: 10.4995/isuf2017.2017.6936.
- [31] V. Bosiljkov, M. Uranjek, R. Žarnić, y V. Bokan-Bosiljkov, «An integrated diagnostic approach for the assessment of historic masonry structures», *J Cult Herit*, vol. 11, n.º 3, pp. 239-249, jul. 2010, doi: 10.1016/j.culher.2009.11.007.
- [32] V. Sarrablo, J. Roviras, F. Sánchez, y L. Gil, «Envolvente del Centro de Arte Botín en Santander. Estudio de viabilidad de la solución con discos cerámicos roscados sobre chapa de aluminio», *Informes de la Construcción*, vol. 68, n.º 544, pp. 1-11, 2016, doi: 10.3989/ic.16.002.m15.
- [33] E. D. E. L. Documento, «español la», 2009.
- [34] T. Silva *et al.*, «A novel methodology for obtainment of compressive strength of concrete», *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 1, n.º 1, pp. 1-5, 2016, doi: 10.1007/s41024-016-0001-x.
- [35] Á. G. Hernández, «Desarrollo Y Análisis De Pavimentos Industriales Desde El Punto De Vista», 2007.
- [36] A. Carpinteri, S. Invernizzi, y G. Lacidogna, «Historical brick-masonry subjected to double flat-jack test: Acoustic emissions and scale effects on cracking density», *Constr Build Mater*, vol. 23, n.º 8, pp. 2813-2820, ago. 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.03.003.
- [37] M. Dahaghin, F. Samadzadegan, y F. Dadrass Javan, «Precise 3D extraction of building roofs by fusion of UAV-based thermal and visible images», *Int J Remote Sens*, vol. 42, n.º 18, pp. 7002-7030, 2021, doi: 10.1080/01431161.2021.1951875.

- [38] S. Motayyeb, F. Samadzedegan, F. Dadrass Javan, y H. Hosseinpour, «Fusion of UAV-based infrared and visible images for thermal leakage map generation of building facades», *Heliyon*, vol. 9, n.º 3, p. e14551, mar. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14551.
- [39] V. González, C. A. Monje, L. Moreno, y C. Balaguer, «Fast Marching Square Method for UAVs Mission Planning with consideration of Dubins Model Constraints», en *IFAC-PapersOnLine*, 2016, pp. 164-169. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.09.029.
- [40] N. Cavalagli, M. Gioffrè, S. Grassi, V. Gusella, C. Pepi, y G. M. Volpi, «On the accuracy of UAV photogrammetric survey for the evaluation of historic masonry structural damages», *Procedia Structural Integrity*, vol. 29, pp. 165-174, 2020, doi: 10.1016/j.prostr.2020.11.153.
- [41] A. Adán, B. Quintana, S. A. Prieto, y F. Bosché, «Scan-to-BIM for ‘secondary’ building components», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 37, pp. 119-138, 2018, doi: 10.1016/j.aei.2018.05.001.
- [42] I. Bosch Reig, M. J. Ballerter Bordes, B. Pereperez Ventura, y E. Barberá Ortega, «Técnicas No-destructivas en la consolidación estructural. El caso de la basílica de Valencia», *Arché*, vol. 7, 2006.
- [43] G. PORCO Giulia Francesca VALER MONTERO y D. ROMANO Sismlab srl, «Las técnicas de ensayos no destructivos para el control de materiales y de estructuras de ingeniería civil».
- [44] M. Mosharafi, S. B. Mahbaz, M. B. Dusseault, y P. Vanheeghe, «Magnetic detection of corroded steel rebar: Reality and simulations», *NDT and E International*, vol. 110, p. 102225, mar. 2020, doi: 10.1016/j.ndteint.2020.102225.
- [45] K. J. Langenberg, K. Mayer, y R. Marklein, «Nondestructive testing of concrete with electromagnetic and elastic waves: Modeling and imaging», *Cem Concr Compos*, vol. 28, n.º 4, pp. 370-383, 2006, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2006.02.010.
- [46] M. Beres, P. Huggenberger, A. G. Green, y H. Horstmeyer, «Using two- and three-dimensional georadar methods to characterize glaciofluvial architecture», *Sediment Geol*, vol. 129, n.º 1-2, pp. 1-24, nov. 1999, doi: 10.1016/S0037-0738(99)00053-6.
- [47] M. Grasmueck, «3-D ground-penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss», *Geophysics*, vol. 61, n.º 4, pp. 1050-1064, jul. 1996, doi: 10.1190/1.1444026.
- [48] A. Melnikov *et al.*, «Non-destructive thermal-wave-radar imaging of manufactured green powder metallurgy compact flaws (cracks)», *NDT and E International*, vol. 86, pp. 140-152, mar. 2017, doi: 10.1016/j.ndteint.2016.12.004.
- [49] L. Villegas, *1ª Jornada Nacional sobre Metodologías No Destructivas aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido : jornada técnica*. Grupo de Tecnología de la Edificación, 2007.
- [50] N. Masini, R. Persico, y E. Rizzo, «Some examples of GPR prospecting for monitoring of the monumental heritage», *Journal of Geophysics and Engineering*, vol. 7, n.º 2, pp. 190-199, 2010, doi: 10.1088/1742-2132/7/2/S05.
- [51] A. Sadri, «Application of impact-echo technique in diagnoses and repair of stone masonry structures», *NDT & E International*, vol. 36, n.º 4, pp. 195-202, jun. 2003, doi: 10.1016/S0963-8695(02)00064-6.
- [52] V. G. MEDINA, «ULTRASONIDOS TÉCNICA NO DESTRUCTIVA PARA EL ESTUDIO DE MONUMENTOS», 2013.
- [53] G. Minchola, «Ultrasonido Industrial», p. 18, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3MlrNjQ>
- [54] M. J. Picazo Ródenas, «Diagnóstico De Máquinas Eléctricas Mediante Técnicas De Termografía Infrarroja», p. 302, 2016.

- [55] M. Fox, D. Coley, S. Goodhew, y P. De Wilde, «Thermography methodologies for detecting energy related building defects», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 296-310, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.188.
- [56] A. Kylili, P. A. Fokaides, P. Christou, y S. A. Kalogirou, «Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review», *Applied Energy*, vol. 134, pp. 531-549, 2014. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.08.005.
- [57] P. A. Fokaides y S. A. Kalogirou, «Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes», *Appl Energy*, vol. 88, n.º 12, pp. 4358-4365, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.05.014.
- [58] I. Nardi, S. Sfarra, y D. Ambrosini, «Quantitative thermography for the estimation of the U-value: state of the art and a case study», *J Phys Conf Ser*, vol. 547, p. 012016, nov. 2014, doi: 10.1088/1742-6596/547/1/012016.
- [59] T. Taylor, J. Counsell, y S. Gill, «Combining thermography and computer simulation to identify and assess insulation defects in the construction of building façades», *Energy Build*, vol. 76, pp. 130-142, jun. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.080.
- [60] K. E. A. Ohlsson y T. Olofsson, «Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface», *Appl Energy*, vol. 134, pp. 499-505, dic. 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.08.058.
- [61] A. Taileb y H. Dekkiche, «Infrared Imaging as a Means of Analyzing and Improving Energy Efficiency of Building Envelopes: The case of a LEED Gold Building», *Procedia Eng*, vol. 118, pp. 639-646, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.497.
- [62] L. Ruiz Valero, V. Flores Sasso, y E. Prieto Vicioso, «In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques», *Case Studies in Construction Materials*, vol. 10, jun. 2019, doi: 10.1016/j.cscm.2019.e00228.
- [63] I. Abdel-Qader, S. Yohali, O. Abudayyeh, y S. Yehia, «Segmentation of thermal images for non-destructive evaluation of bridge decks», *NDT and E International*, vol. 41, n.º 5, pp. 395-405, jul. 2008, doi: 10.1016/j.ndteint.2007.12.003.
- [64] T. Lourenço, L. Matias, y P. Faria, «Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography», *Constr Build Mater*, vol. 148, pp. 419-428, sep. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052.
- [65] G. Paolo, D. Bardeschi, y G. Ermanno, «Survey of facades based on thermal scanning : Palazzo della Ragione , Milan , Italy», *Intervento presentato al convegno SPIE - Thermosense XVIII: An International Conference on Thermal Sensing and Imaging Diagnostic Applications tenutosi a Orlando, Florida, USA nel 10-12 aprile 1996*, n.º 1996, p. 2766, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2158/389474>
- [66] C. A. Balaras y A. A. Argiriou, «Infrared thermography for building diagnostics», *Energy Build*, vol. 34, n.º 2, pp. 171-183, feb. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(01)00105-0.
- [67] A. S. N. Huda y S. Taib, «Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment», *Appl Therm Eng*, vol. 61, n.º 2, pp. 220-227, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.07.028.
- [68] J. L. Bodnar, C. Menu, M. Egée, P. Pigeon, y A. Le Blanc, «Detection of wear cracks by photothermal radiometry», *Wear*, vol. 162-164, n.º PART A, pp. 590-592, abr. 1993, doi: 10.1016/0043-1648(93)90546-X.
- [69] C. Dore y M. Murphy, «Historic Building Information Modelling (HBIM)», pp. 233-273. doi: 10.4018/978-1-4666-8379-2.ch007.

- [70] F. Bernardini y H. Rushmeier, «The 3D Model Acquisition Pipeline», *Computer Graphics Forum*, vol. 21, n.º 2, pp. 149-172, jun. 2002, doi: 10.1111/1467-8659.00574.
- [71] D. Oreni, R. Brumana, S. Della Torre, F. Banfi, L. Barazzetti, y M. Previtali, «Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)», *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. II-5, pp. 267-273, may 2014, doi: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014.
- [72] M. Murphy, E. McGovern, y S. Pavia, «Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 76, pp. 89-102, feb. 2013, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.
- [73] Y.-P. Ma, C. C. Hsu, y M.-C. Lin, «Combine BIM-based and mobile technologies to design on-site support system for the communication and management of architectural heritage conservation works», en *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, IEEE, may 2017, pp. 307-310. doi: 10.1109/ICASI.2017.7988413.
- [74] K. P. Liu, B. L. Luk, F. Tong, y Y. T. Chan, «Application of service robots for building NDT inspection tasks», *Industrial Robot*, vol. 38, n.º 1, pp. 58-65, 2011, doi: 10.1108/01439911111097850.
- [75] S. N. Yu, J. H. Jang, y C. S. Han, «Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel», *Autom Constr*, vol. 16, n.º 3, pp. 255-261, may 2007, doi: 10.1016/j.autcon.2006.05.003.
- [76] R. Bogue, «The role of robotics in non-destructive testing», *Industrial Robot*, vol. 37, n.º 5, pp. 421-426, 2010, doi: 10.1108/01439911011063236.
- [77] T. P. Sattar y A. A. Brenner, «Robotic system for inspection of test objects with unknown geometry using NDT methods», *Industrial Robot*, vol. 36, n.º 4, pp. 340-343, jun. 2009, doi: 10.1108/01439910910957093.
- [78] J. Shang, T. Sattar, S. Chen, y B. Bridge, «Design of a climbing robot for inspecting aircraft wings and fuselage», *Industrial Robot*, vol. 34, n.º 6, pp. 495-502, 2007, doi: 10.1108/01439910710832093.
- [79] (Aplicación de técnicas de diagnóstico y restauración arquitectónica-pictórica con medios robotizados. Ministerio de Educación y Ciencia, Ref. BIA 2005-09377-C03-01, 2005-2008; Verificación, control y aplicación de los medios robotizados a la restauración arquitectónica y pictórica, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Ref. DPI 2001-689-C03-03)
- [80] Desarrollo de metodologías no destructivas de aplicación a muros históricos. IMPIVA, Generalitat Valenciana, Ref. IMIDIN/2008/7).

ANEJOS



NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS EN MAPA POR REACCIÓN ÁRIDO-ÁLCALI

LS.H.1.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Fisuras en mapa
 ORIGEN: Reacción árido-álcali

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	○	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

La **reacción álcali-sílice** se produce cuando la disolución alcalina de los poros del hormigón y los minerales silíceos de algunos áridos reaccionan para formar un gel, que al embeber agua, **aumenta de volumen**. Los daños que presentan los hormigones afectados por la **reacción árido-álcali** se manifiestan inicialmente en forma de **pequeñas fisuras de forma irregular** que aparecen en la superficie, **seguida eventualmente por una completa desintegración**, cuando la expansión progresa en las direcciones de menor resistencia originando fisuras paralelas a la superficie y en la dirección de los esfuerzos de compresión a que esté sometido el elemento.

IMÁGENES DEL PROCESO:

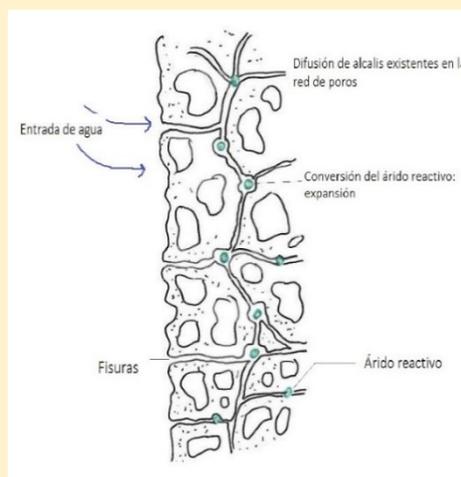


Figura 3. Proceso de formación de fisuras por reacción árido-álcali (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Zonas más o menos expuestas a la **presencia de humedad**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Microperforación	Contenido de álcalis del cemento/Composición química
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS EN MAPA POR ATAQUE POR SULFATOS

LS.H.1.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Fisuras en mapa
 ORIGEN: Ataque por sulfatos

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	●
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

El **ataque por sulfatos** es una reacción expansiva, que produce fisuras en mapa varios años después del hormigonado, y tiene una lenta evolución. Las fisuras pueden ser más importantes en unas direcciones que en otras, en función del esquema del armado.

IMÁGENES DEL PROCESO:

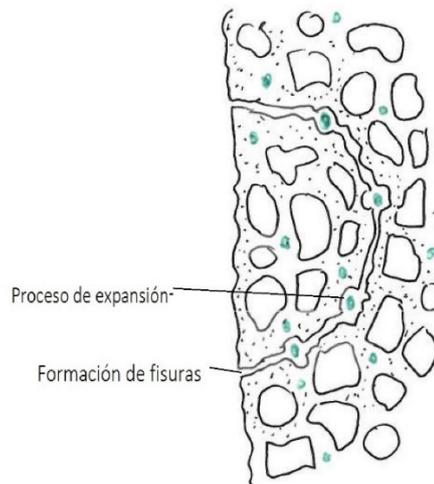


Figura 2. Proceso de formación de fisuras por ataque de sulfatos(FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Zonas más o menos expuestas a la **presencia de humedad y de sustancias con sulfatos.**

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Contenido de álcalis del cemento/Composición química
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: DESGASTE SUPERFICIAL POR EROSIÓN MECÁNICA

LS.H.2.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Desgaste superficial
 ORIGEN: Erosión mecánica

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	●	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

La **erosión** puede tener dos formas de actuar dependiendo de su intensidad y temporalidad:

- la **abrasión** (o proceso erosivo lento)
- el **impacto** (o golpe de forma rápida).

Los **agentes causantes** son, el tráfico peatonal, rodado, corrientes de agua, etc

IMÁGENES DEL PROCESO:

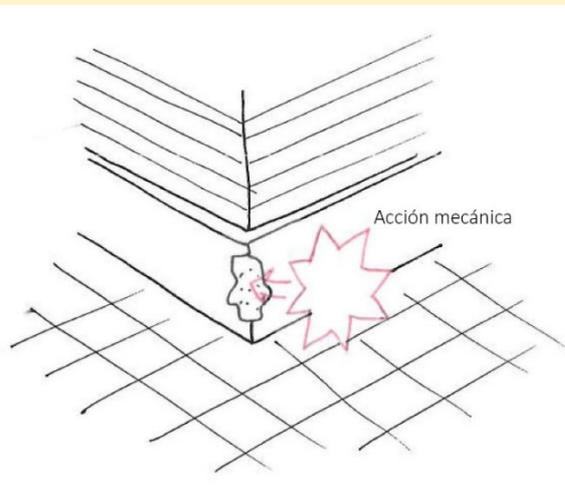


Figura 2. Diagrama de erosión mecánica (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Zonas bajas de las fachadas, expuestas a los agentes causantes, y en las zonas altas de las mismas expuestas a la lluvia o la combinación de lluvia y viento.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Naturaleza del árido grueso/Resistencia del hormigó
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.06	Parcheo de hormigón	Eliminar y reparar zonas afectadas con nuevo material

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Disgregación de la pasta y desmoronamiento del hormigón.
 ORIGEN: Deslavado

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Se produce por el deslavado o **lixiviación**, que se trata de la separación, remoción selectiva o **disolución** de **componentes cálcicos solubles** de una piedra por la acción de las aguas percolantes. En este caso, los compuestos cálcicos se diluyen por la acción de aguas blandas destruyendo la estructura del cemento.

IMÁGENES DEL PROCESO:

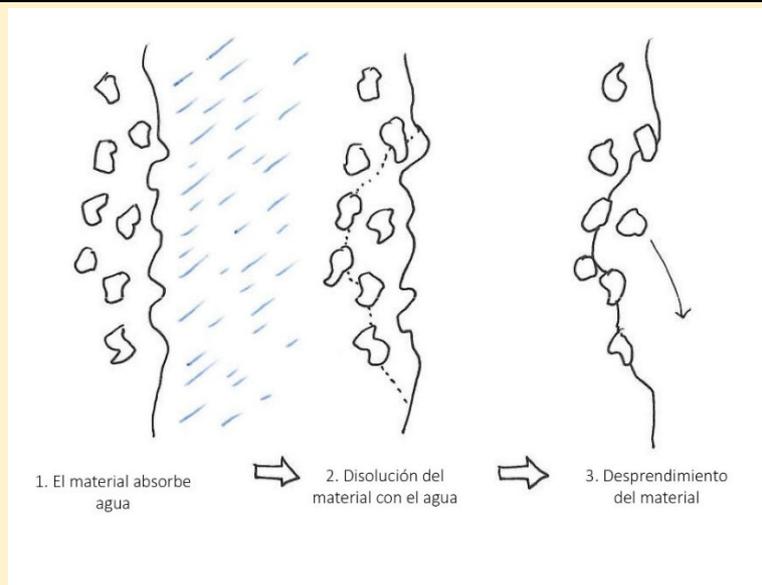


Figura 2. Proceso de lixiviación (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos expuestos a la acción de aguas blandas.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Análisis químico del agua/Porosidad
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del paramento
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.06	Parqueo de hormigón	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material adecuado para el ambiente

NOMBRE:

FACHADA HORMIGÓN: DISGREGACIÓN POR ATAQUE ÁCIDO

LS.H.3.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Disgregación de la pasta y desmoronamiento del hormigón.
 ORIGEN: Ataque ácido

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

El ataque ácido destruye la estructura de cemento debido a la conversión de los compuestos cálcicos de la pasta en sales cálcicas del ácido actuante

IMÁGENES DEL PROCESO:

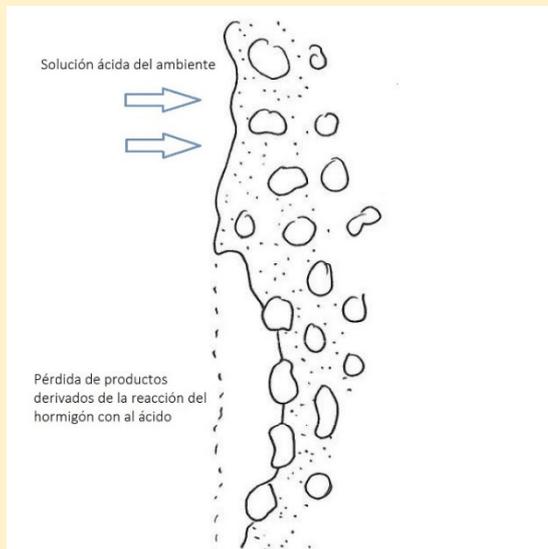


Figura 3. Proceso de disgregación por ataque ácido (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos expuestos a la acción de ácidos. Generalmente en las fachadas aparece en las zonas bajas.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Porosidad/Permeabilidad
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de los vacíos

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos
TRAT.06	Parqueo de hormigón	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material adecuado para el ambiente

NOMBRE:

FACHADA HORMIGÓN: DISGREGACIÓN POR ACCIÓN DEL HIELO

LS.H.3.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Desmoronamiento de la superficie del hormigón.
 ORIGEN: Acción del hielo

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Desmoronamiento superficial del hormigón provocado por el **aumento de volumen** del **agua** en los poros al **helarse**. Esta lesión **se agrava** si hay también **presencia de sales de deshielo**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

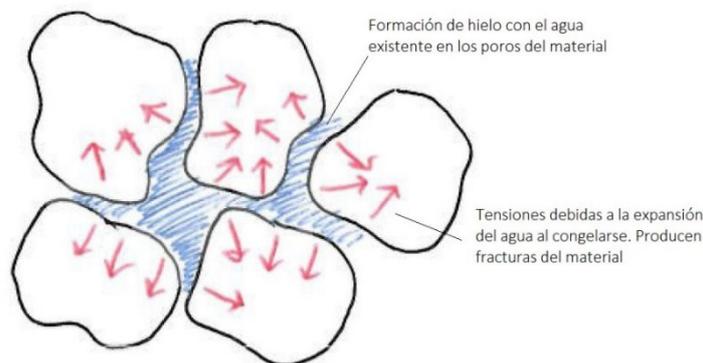


Figura 3. Disgregación por acción del hielo (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos **exteriores expuestos** a la acción del agua en zonas **frías**. Generalmente fachadas orientadas a norte, zonas con ausencia de huecos y medianeras.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Porosidad
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón para evitar la humedad por capilaridad
TRAT.08	Sustitución	Restauración del hormigón a la forma y función original por sustitución parcial

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Ataques al hormigón
 SÍNTOMA: Desmoronamiento superficial hormigón con presencia de eflorescencias.
 ORIGEN: Recristalización de sales

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Este **fenómeno** es de naturaleza puramente **física**, en él las sales cristalizan en el interior del **cuerpo poroso** del material, y bajo determinadas condiciones, provocan tensiones superiores a la resistencia a tracción del material, causando la microfisuración y el descascaramiento de la superficie.
 Se producen **eflorescencias** y **desmoronamiento superficial** del hormigón debido a la recristalización de sales.

IMÁGENES DEL PROCESO:

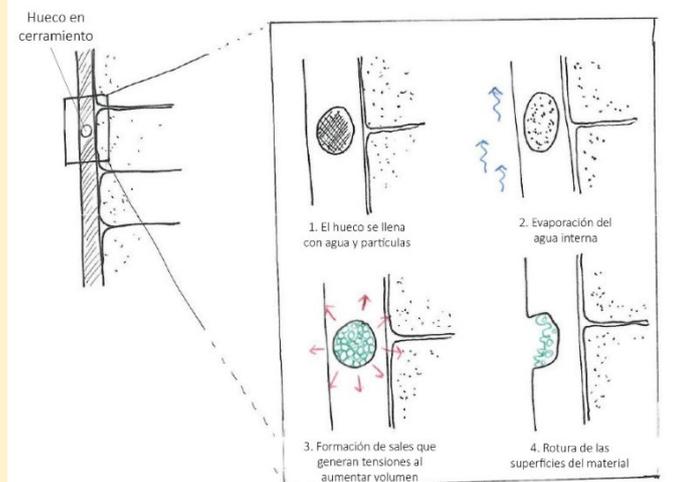


Figura 2. DISGREGACIÓN POR RECRISTALIZACIÓN DE SALES (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos **expuestos** a paso de **agua** y ciclos de humedad/secado.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Porosidad/Helacidad/Análisis químico eflorescencias
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de fisuras	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Corrosión de las armaduras
 SÍNTOMA: Fisuras coincidiendo con las armaduras
 ORIGEN: Presencia de humedad en hormigón carbonatado o en presencia de sales

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	●	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Las **fisuras** son roturas que afectan a **una parte del espesor del cerramiento** . En ésta ficha se tratan las producidas en la **superficie vista exterior de las fachadas de hormigón armado** , debido a un proceso de **corrosión electroquímica de las armaduras** originado por la presencia de **humedad en hormigones carbonatados o en presencia de sales** (ambiente marino, sales de deshielo...).

- Se trata de la **lesión que se produce en la primera fase de la mencionada corrosión** , en la que aparecen fisuras coincidiendo con las armaduras que sufren dicha corrosión, por el mayor volumen de los óxidos respecto al material original.

IMÁGENES DEL PROCESO:

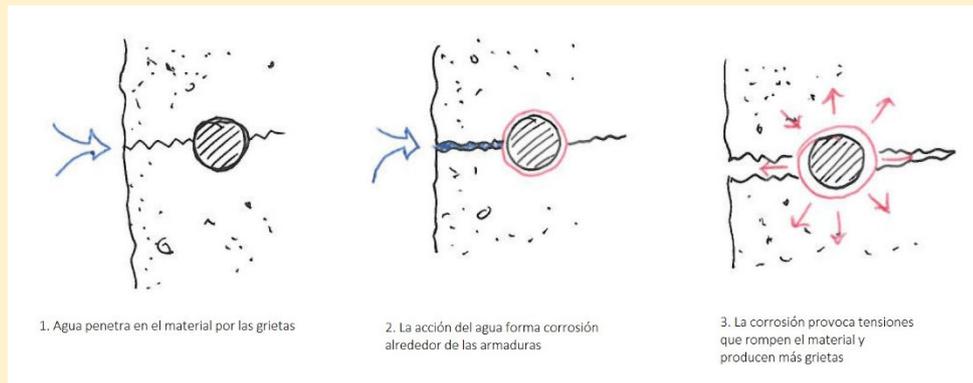


Figura 2. Proceso de fisuración por corrosión de armaduras. (FCCCO)

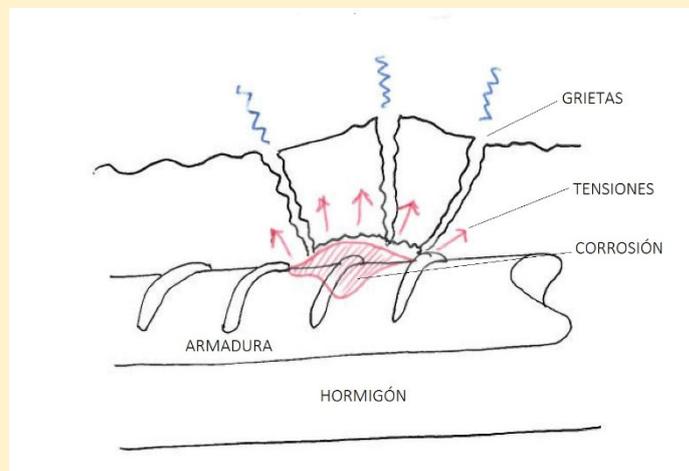


Figura 3. Proceso de fisuración por corrosión de armaduras. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se producen en:

- **Elementos exteriores**, especialmente en zonas de acumulación o escorrentía de aguas o de presencia de humedad.
- **Elementos interiores** en zonas húmedas por su función (depósitos, aljibes) o por fallos de la impermeabilización o las instalaciones de suministro o evacuación de agua.
- **Muros** en sótanos o semisótanos por fallo en el drenaje y/o impermeabilización del trasdós.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.02	Extensometría	Seguimiento de las fisuras
T.I.01	Termografía	Localización de las armaduras
T.I.02	Endoscopía	Profundidad de fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas. A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.02	Ocratización	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.03	Sellado de fisuras	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.05	Inyección	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material
TRAT.06	Parcheo de hormigón	

NOMBRE: **DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO POR CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS**

LS.C.2.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Corrosión de las armaduras
 SÍNTOMA: Desprendimiento del recubrimiento
 ORIGEN: Presencia de humedad en hormigón carbonatado o en presencia de sales

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	●	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1. Curso de Patologías en Edificación Arquitectura (FCCCO)

DESCRIPCIÓN:

Desprendimiento producido en la **superficie vista exterior de las fachadas de hormigón armado**, debido a un proceso de **corrosión electroquímica de las armaduras** originado por la **presencia de humedad en hormigones carbonatados o en presencia de sales** (ambiente marino, sales de deshielo...).

- Se trata de la lesión que se produce en la **segunda fase de la mencionada corrosión**, en la que se produce el **desprendimiento del recubrimiento**, especialmente en las esquinas del elemento, dejando la armadura oxidada al descubierto.

IMÁGENES DEL PROCESO:

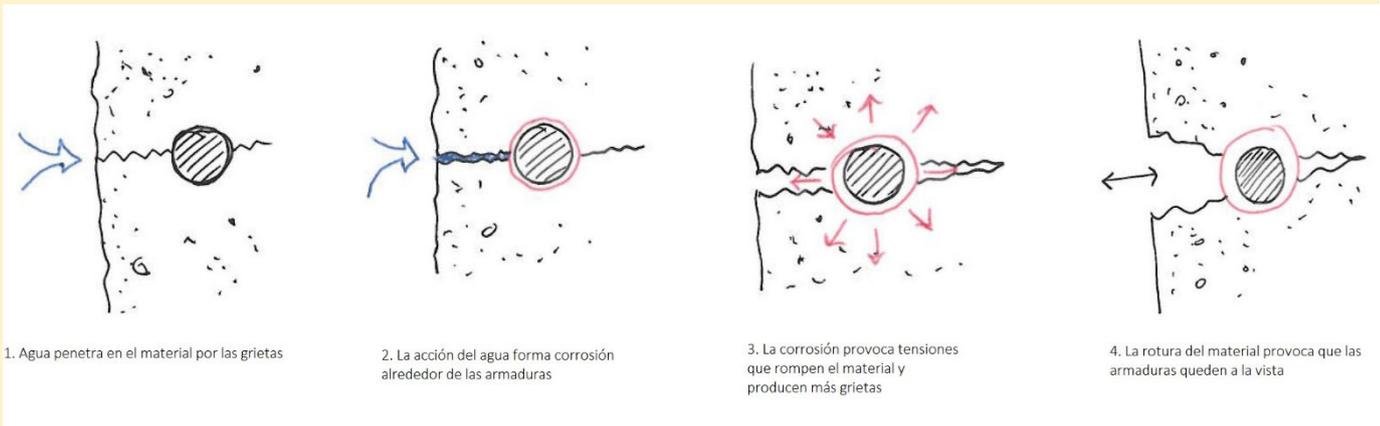


Figura 2. Proceso de fisuración por corrosión de armaduras. (FCCCO)

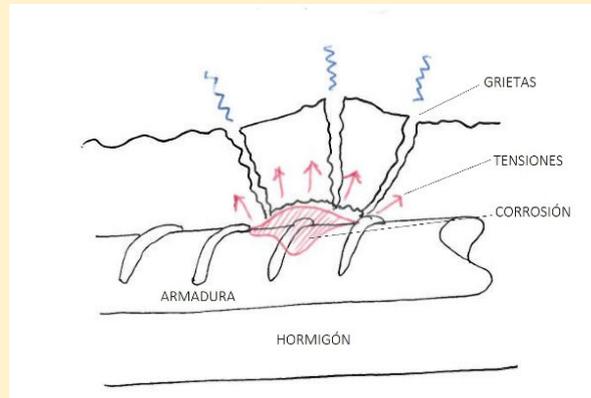


Figura 3. Proceso de fisuración por corrosión de armaduras. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se producen en:

- **Elementos exteriores**, especialmente en zonas de acumulación o esorrentía de aguas o de presencia de humedad.
- **Elementos interiores** en zonas húmedas por su función (depósitos, aljibes) o por fallos de la impermeabilización o las instalaciones de suministro o evacuación de agua.
- **Muros** en sótanos o semisótanos por fallo en el drenaje y/o impermeabilización del trasdós.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Localización de las armaduras
T.I.02	Endoscopía	Profundidad de fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.06	Parcheo de hormigón	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material

NOMBRE: MANCHAS DE OXIDO POR CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS Y/O OTROS ELEMENTOS METÁLICOS

LS.C.3.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Corrosión
 SÍNTOMA: Manchas de óxido
 ORIGEN: Corrosión de armaduras y/o otros elementos metálicos

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1. CURSO Diversas Patologías en estructuras 2016 (FCCCO)

DESCRIPCIÓN:

Manchas de óxido producidas en la superficie vista exterior de las fachadas de hormigón armado, debidas a la corrosión de las propias armaduras u otros elementos embebidos en el hormigón (latiguillos de sujeción de encofrados, alambres sueltos de atado de armaduras, etc).

IMÁGENES DEL PROCESO:

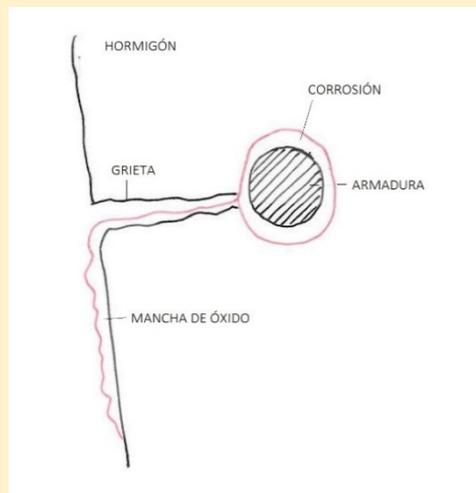


Figura 2. Formación de manchas de óxido en fachadas (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se produce en:

Elementos exteriores, especialmente en zonas de acumulación o escorrentía de aguas o de presencia de humedad.

- **Elementos interiores** en zonas húmedas por su función (depósitos, aljibes) o por fallos de la impermeabilización o las instalaciones de suministro o evacuación de agua.

- **Muros** en sótanos o semisótanos por fallo en el drenaje y/o impermeabilización del trasdós.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Localización de las armaduras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.09	Limpieza con cepillo	Se limpian los restos de óxidos con el cepillo de puas

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS POR DISPOSICIÓN INADECUADA O INSUFICIENTE DE ARMADURAS

LS.L.1.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Alteración de la función resistente
 SÍNTOMA: Fisuras verticales y/o inclinadas
 ORIGEN: Disposición inadecuada o insuficiente de armaduras

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:

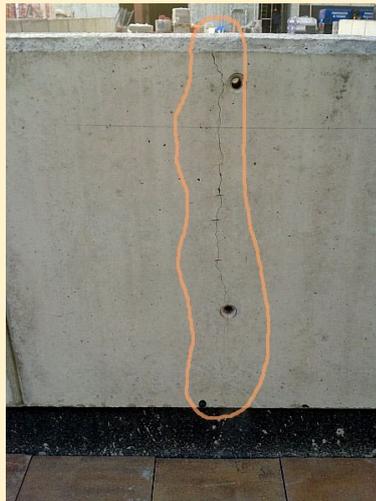


Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Desarrollo de fisuras causadas por la **disposición inadecuada** o insuficiente de **armadura** para **resistir** la transmisión localizada de los esfuerzos a los que está sometido el elemento constructivo.

IMÁGENES DEL PROCESO:

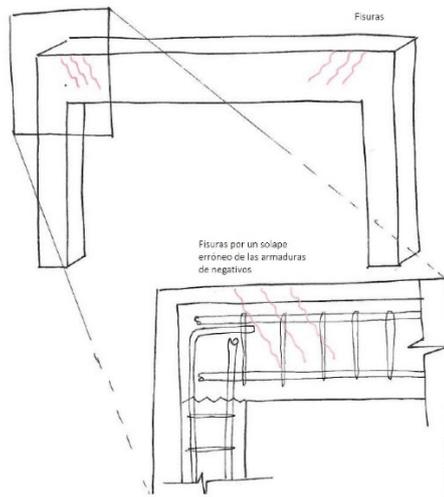


Figura 2. Diagrama de mala colocación de armaduras (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Fisuras verticales o con una geometría en función de la disposición inadecuada de las armaduras. En las zonas de conexión con los pilares que se apoyan sobre el muro, las fisuras son verticales o ligeramente inclinadas.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas. A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.02	Ocratización	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.03	Sellado de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.05	Inyección	

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS POR RETRACCIÓN TÉRMICA POR ENFRIAMIENTO RÁPIDO

LS.L.1.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Fisuras horizontales o verticales
 ORIGEN: Retracción térmica por enfriamiento rápido del elemento

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Durante la **fase de fraguado**, principalmente en la fase inicial, se produce una **reacción exotérmica**, en la que se alcanzan altas temperaturas debidas al **calor de hidratación**. Como consecuencia de un **rápido enfriamiento posterior**, se produce la **contracción de la masa y la aparición de fisuras**, si no se dispone de la suficiente armadura para absorber las tracciones generadas.

Cuando la retracción del muro, predominantemente longitudinal, está coaccionada por el cimiento, se producen fisuras verticales.

Cuando la retracción de su superficie exterior está coaccionada por el núcleo (más caliente por las altas temperaturas debidas al calor de hidratación), se producen fisuras horizontales, verticales, o "en mapa".

IMÁGENES DEL PROCESO:

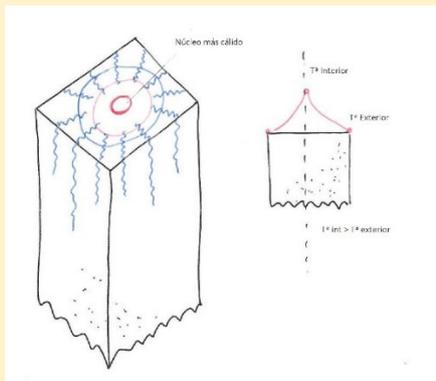


Figura 2. Diagrama de temperaturas en la retracción térmica del hormigón. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Las **coacciones del cimiento**, producen **fisuras verticales** (junto a la zapata) espaciadas uniformemente en la zona inferior de muros de espesor considerable. También se pueden producir **fisuras horizontales** longitudinales en las **zonas extremas del muro**. Las **fisuras "en mapa"**, se pueden localizar **en cualquier zona de la superficie** del muro de fachada.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.

NOMBRE:

FACHADA HORMIGÓN: FISURAS POR RETRACCIÓN HIDRÁULICA

LS.L.1.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Fisuras verticales
 ORIGEN: Retracción hidráulica

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1. Velódromo Palma de Mallorca (FCCCO)



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

La **retracción hidráulica** es la **variación de contracción del hormigón** originada por tensiones de compresión locales, que son consecuencia de la **evaporación progresiva del agua** de los poros del hormigón que se encuentra en un ambiente seco. Si la evaporación del agua del hormigón comienza antes de finalizar el fraguado del cemento, la retracción hidráulica puede alcanzar valores superiores.

Éste **fenómeno se ve favorecido** en hormigones con **exceso de finos, alta relación agua/cemento, curado inadecuado**, etc y con **insuficiente armadura de retracción**.

Las fisuras **previas a la finalización del fraguado**, se producen por la desecación superficial del hormigón en las primeras horas, y su **trazado es "en mapa"**.

Las fisuras **posteriores al fraguado** (hormigones con edades variables, desde varias semanas a meses), aparecen en **elementos cuya libre contracción está impedida**. El trazado de estas fisuras, es **perpendicular al eje del elemento** y son de anchura pequeña y constante.

IMÁGENES DEL PROCESO:

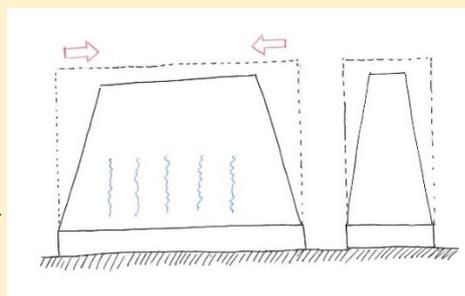


Figura 3. Contracción de un muro por retracción hidráulica. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Fisuras verticales espaciadas uniformemente en la zona superior de los muros de espesor considerable, con máxima abertura en coronación y decreciente al descender, sin que lleguen, habitualmente, al cimiento.
Fisuras "en mapa" en cualquier zona del muro de fachada.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO DEL HORMIGÓN

LS.L.1.4

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Fisuras horizontales
 ORIGEN: Asentamiento plástico del hormigón

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:

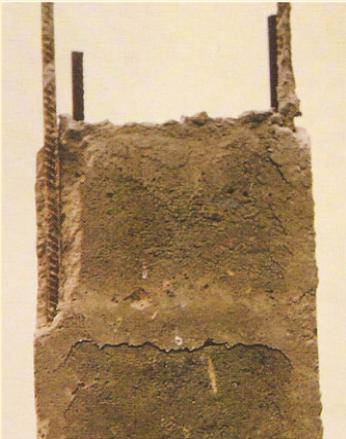


Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

El **asentamiento plástico** se produce a las pocas horas del hormigonado, por la **segregación** de los **sólidos de mayor densidad** que tienden a bajar y el agua a ascender a la superficie, **disminuyendo la concentración de sólidos en la zona más superficial** y quedando por tanto debilitada ésta zona, evidenciando una **fisuración horizontal** sobre las **zonas del muro donde se encuentra con los armados**, quedando éstos marcados en superficie y por lo tanto desprotegidos por recubrimiento alguno de hormigón.

IMÁGENES DEL PROCESO:

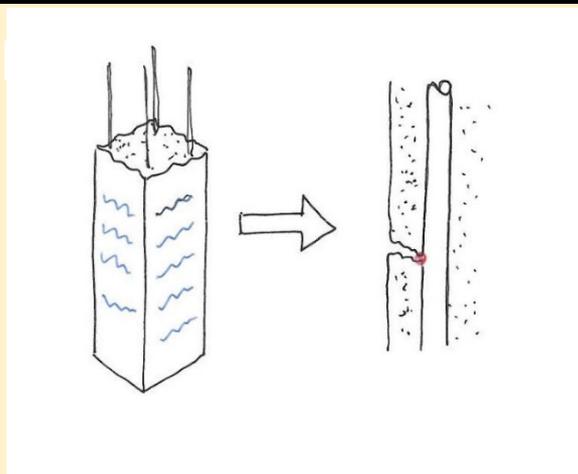


Figura 3. Fisuración por asentamiento plástico del hormigón. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Fisuras horizontales cercanas a la **coronación del muro**, marcando la posición de las armaduras.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Relación agua/cemento-Tipo y contenido de cemento
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS Y GRIETAS POR EMPUJES DE TIERRAS

LS.L.2.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Fisuras / grietas
 ORIGEN: Empujes inadmisibles de las tierras

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Fisuras y grietas generadas por **empujes excesivos de las tierras en el trasdós del muro**, en ocasiones debidos a una **errónea estimación** de los mismos en proyecto, a la **acumulación de aguas** en el trasdós por fugas o averías en sistemas de suministro o evacuación de aguas, o **ascenso del nivel freático** e insuficiente drenaje.

IMÁGENES DEL PROCESO:

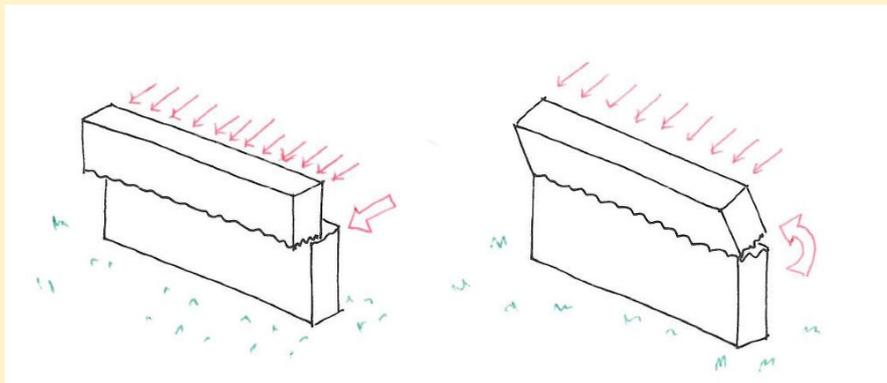


Figura 3. Efectos de los empujes de tierras sobre muros (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En el intradós de muros que contienen tierras ; suelen ser **fisuras o grietas horizontales** (Fig.2), o **verticales en las esquinas de los muros transversales de arriostramiento** . En algunos casos pueden ir acompañadas de humedades.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia del acero
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: FISURAS Y GRIETAS POR ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

LS.L.2.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Fisuras / grietas inclinadas
 ORIGEN: Asentamientos diferenciales

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	●	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	●

IMAGEN:



Figura 1. CURSO Diversas Patologías estructurales 2016 (FCCCO)

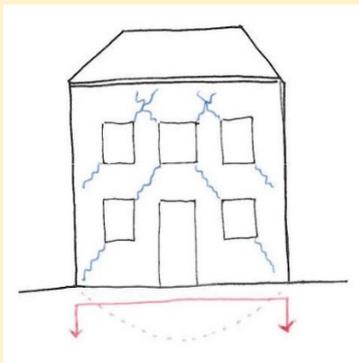
DESCRIPCIÓN:

Los asientos diferenciales entre distintas zonas del muro pueden estar producidos, entre otras, a las siguientes causas:

- Diferentes **tensiones** transmitidas al cimiento
- Distintas **profundidades** de su cimentación
- Distintas características del **terreno** de apoyo
- **Reblandecimientos** o socavaciones locales provocados por fugas o averías en sistemas de suministro o evacuación de aguas

IMÁGENES DEL PROCESO:

asentamientos de las edificaciones (FCCCO)



LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Paramentos verticales del muro

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia del acero y hormigón
E.02	Extensometría	Evolución de las fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: REDUCCIÓN SECCIÓN Y COQUERAS POR HORMIGONADO INADECUADO

LS.L.3.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
 SÍNTOMA: Reducción de la sección de hormigón, estrangulamientos, coqueras
 ORIGEN: Inadecuadas puesta en obra/diseño del hormigón, del encofrado, etc

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1. Aeropuerto de Gran Canaria (FCCCO)



Figura 2. Informe Gral de Patologías M-30 I-1 (FCCCO)

DESCRIPCIÓN:

Las coqueras y reducciones de la sección del muro/panel de hormigón son defectos de acabado visibles en la superficie del hormigón o internas que pueden no verse a simple vista, que pueden tener un origen muy diverso: inadecuada puesta en obra del hormigón o del encofrado (generando "fugas" de lechada), inadecuado "diseño" del hormigón (inadecuada consistencia / tamaño máximo del árido...), armado "excesivo" (impidiendo el paso del hormigón o el correcto vibrado), etc.

Por regla general, las consecuencias de estas patologías comprometen la **durabilidad** de la obra y **dejan las puertas abiertas a las agresiones exteriores**, acelerando la carbonatación de sus armaduras o reduciendo la resistencia al hielo/deshielo. Se producen por excavación u hormigonados inadecuados.

IMÁGENES DEL PROCESO:

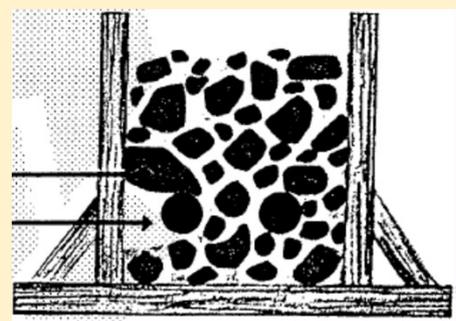
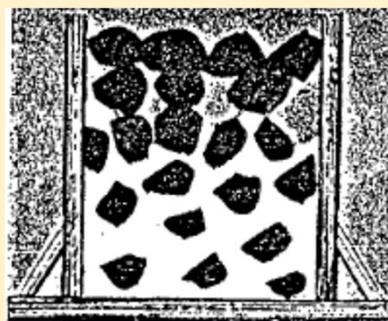
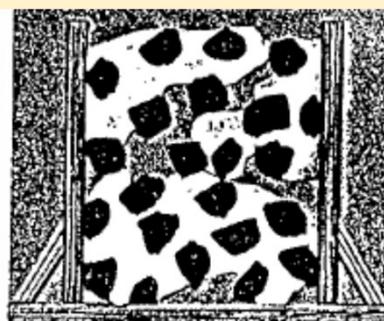


Figura 3. Curso de Patologías en Edificación Arquitectura (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En cualquier punto de la superficie de la fachada en general, en especial en el arranque inferior y en las esquinas.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.02	Endoscopía	Identificación de las coqueras y discontinuidades
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Identificación de las coqueras y discontinuidades
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Identificación de las coqueras y discontinuidades

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.06	Parcheo de hormigón	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material

NOMBRE: FACHADA HORMIGÓN: ARMADURAS VISTAS O DESPLAZADAS
RESPECTO DE SU DISPOSICIÓN TEÓRICA

LS.L.4.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Problemas de la propia estructura
SÍNTOMA: Armaduras vistas o desplazadas
ORIGEN: Insuficiencia o inexistencia de separadores

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Se producen por **insuficiencia** o **inexistencia** de **separadores** entre la ferralla y el encofrado, pudiendo quedar las **armaduras sin el recubrimiento mínimo necesario** (comprometiendo la **durabilidad** de la fachada) o con un **recubrimiento excesivo** (comprometiendo las **prestaciones estructurales** previstas en el cálculo del elemento de hormigón).

IMÁGENES DEL PROCESO:

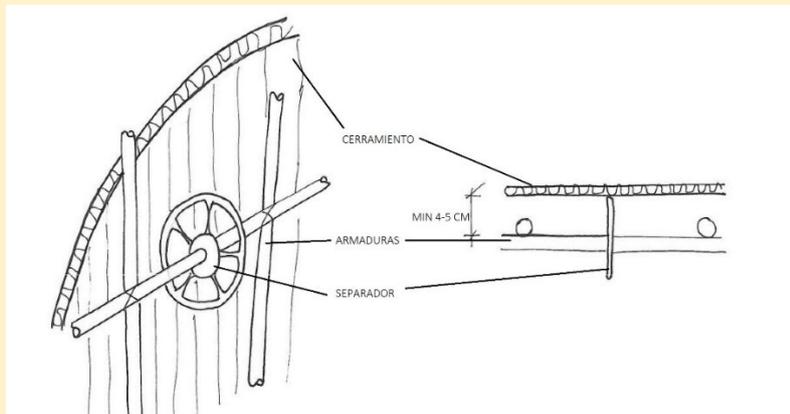


Figura 2. Detalle y planta de colocación de separadores (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En cualquier punto de la fachada .

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Grado de humedad/Análisis del cuadro fisurativo
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.06	Parqueo de hormigón	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo material

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: "Manchas" de humedad, erosión física, desprendimientos, eflorescencias
 ORIGEN: Capilar

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	●	●
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.

DESCRIPCIÓN:

Los muros y cimentaciones del edificio **absorben la humedad presente en el terreno** situado en contacto directo con los mismos (sin interposición de una barrera impermeable), la cual **asciende y se evapora a través de las fachadas** produciendo "**manchas**" de humedad así como "lesiones secundarias" (**erosión física, desprendimientos y eflorescencias**).

Dicha **absorción del agua del terreno** por parte de los materiales de la construcción **se produce por capilaridad**, y la "ascensión" de la humedad es función principalmente, de la **porosidad** de dichos materiales, de la **presión atmosférica** y del **potencial eléctrico** de los mismos frente al agua.

IMÁGENES DEL PROCESO:

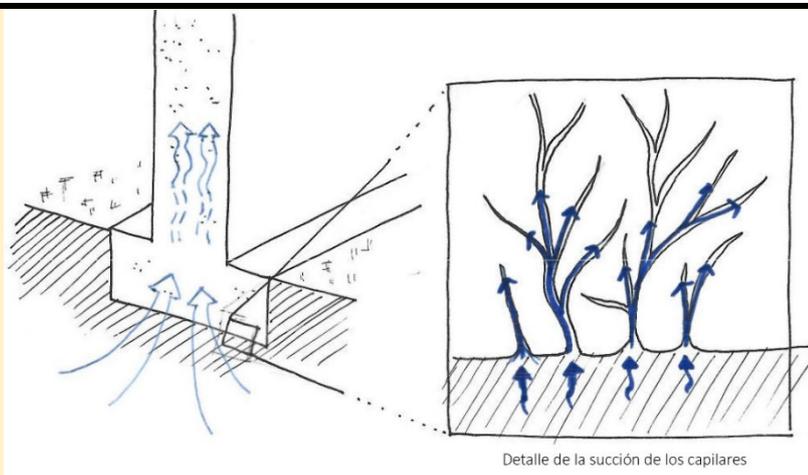


Figura 4. Proceso de formación de humedad por capilaridad. (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En el arranque de las fachadas que está en contacto con el terreno

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos.
TRAT.07	Electrosmosis	Cambio de polaridad del material.

NOMBRE:

HUMEDAD POR FILTRACIÓN

LS.F.1.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: "Manchas" de humedad, erosión física, desprendimientos, eflorcencias, etc
 ORIGEN: Filtración

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se produce cuando el **agua se filtra a través de intersticios macroscópicos de un modo directo** . Se puede producir por **diferentes procesos** :

- En los **paños ciegos**: **succión y absorción** del agua de lluvia **por estructuras porosas, juntas constructivas o grietas y fisuras**
- En **plataformas horizontales de la fachada** : **embalses de agua** que producen una **filtración** en el plano horizontal y la **aparición de organismos** (mohos, líquenes o musgo), y también se produce una filtración por la junta constructiva del diedro y una **ascensión "microcapilar" por la fachada**
- En los **huecos de las ventanas** : **filtración** en vierteaguas y dintel y **microcapilaridad** en jambas

IMÁGENES DEL PROCESO:



Figura 3. Proceso de filtración de aguas subterráneas (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se encuentra mayormente en:

- **Paños ciegos:** sobre todo en las **zonas más expuestas al viento y a la lluvia** (coronación y esquinas)
- **Plataformas horizontales:** albardillas, cornisas, molduras, etc
- **Arranque** de paños desde las mencionadas plataformas horizontales
- **Huecos de ventanas:** vierteaguas, jambas y dinteles.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos.

NOMBRE:

HUMEDAD POR CONDENSACIÓN

LS.F.1.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: "Manchas" de humedad, erosión física, desprendimientos, eflorescencias, etc
 ORIGEN: Condensación

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se produce cuando el **aire húmedo del interior del edificio alcanza la temperatura de rocío**, depositando y quedando adheridas gotas de agua en la superficie ext./int. de la fachada.

Éste fenómeno se ve favorecido por una **presión de vapor interior alta**, **insuficiente ventilación interior**, existencia de **puentes térmicos**, **ausencia de barrera de vapor** y a un **aislamiento insuficiente** de la fachada.

Se puede producir condensación:

- En la **cara interior** de las fachadas. Produce: **manchas, mohos y desprendimientos**
- En la **cara exterior** de las fachadas, cuando la **condensación intersticial** que se produce en el interior de las fachadas **sale hacia la cara exterior**. Produce: **manchas, erosión física, desprendimientos y eflorescencias**

IMÁGENES DEL PROCESO:

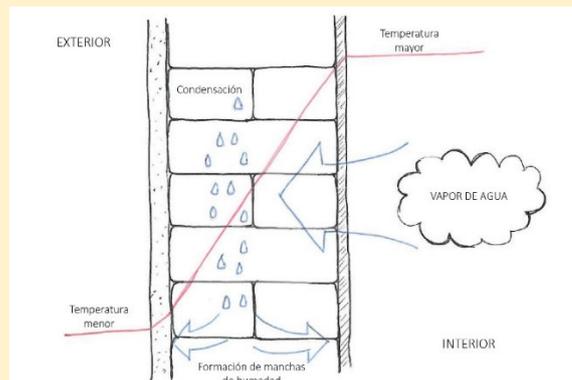


Figura 3. Proceso de condensación en el interior de un cerramiento (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Cara interior y exterior de las fachadas

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.10	Aireadores en muro	Expulsa la humedad del muro

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: "Manchas" de humedad, erosión física, desprendimientos, eflorescencias
 ORIGEN: Accidental

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Aparecen cuando se produce una **avería** o **rotura** en una **conducción de agua** (tuberías a presión, bajantes, sumideros de cubierta, etc) provocando el paso de la misma al cerramiento .
 Es producida por **defectos de diseño**, **deficiente ejecución**, **asentamientos de la cimentación**, **ausencia de mantenimiento de las instalaciones** y **los desagües** de las cubiertas, etc.
 Los **síntomas** son, las **manchas en forma de nube** (tuberías a presión), **manchas lineales** (bajantes), la **erosión física**, y los **desprendimientos**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

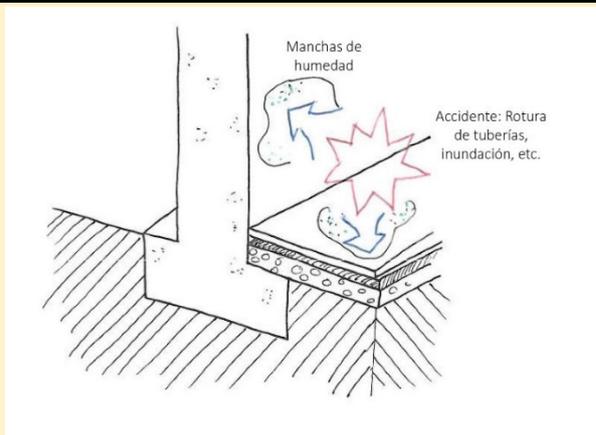


Figura 3. Machas por humedades accidentales (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Tuberías a presión y **bajantes** de cubiertas y **desagües**. Estos problemas se suelen producir mayoritariamente en las fachadas de los cuartos de baño y cocinas, y en el entorno de los bajantes embebidos y sumideros de las cubiertas.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.05	Termohigrómetro	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.11	Reparación instalación	Reparación o reposición de la instalación que origina la lesión
TRAT.12	Reparación elementos	Reparación o reposición de los elementos constructivos afectados accidentalmente

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: Manchas generalizadas
 ORIGEN: Depósito

FRECUENCIA DE APARICIÓN	● ● ● ● ○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	● ○ ○ ○ ○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	● ○ ○ ○ ○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	● ○ ○ ○ ○
COSTE DE REPARACIÓN	● ● ○ ○ ○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Ensuciamiento producido en la superficie de la fachada como resultado de **depositos por gravedad** o por **efectos foréticos**. La intensidad aumenta **cuanto menos expuesta está la zona al agua y al viento** , y **cuanto más rugosa y porosa en la textura de la superficie** .
 La **causa** del ensuciamiento por depósito de fachadas es el **posicionamiento de las partículas sobre la superficie** (depósito superficial) **o en el interior de los poros superficiales** (depósito interno) cuando las partículas son absorbidas junto al agua, evaporándose posteriormente ésta y dejando en el interior la suciedad.

IMÁGENES DEL PROCESO:

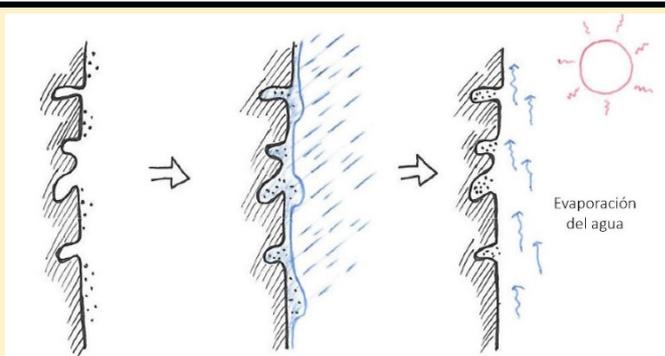


Figura 2. Proceso de formación de manchas por depósito (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En los **paños ciegos** - en las **zonas más protegidas** (bajos y centros de fachadas) - y sobre todo en las **plataformas horizontales** (cornisas, albardillas, molduras, voladizos, etc.)

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Volumen de la fachada deteriorado

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT. 09	Limpieza con cepillo	Eliminación de la suciedad mediante el cepillo de puas

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: "Churretones limpios y sucios"
 ORIGEN: Lavado diferencial

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Es el resultado de la **concentración de la escorrentía** del agua de lluvia sin control en una serie de puntos, dando lugar a la aparición de "churretones". La causa es la existencia de elementos en fachada que provocan **distorsiones en el recorrido de la lámina de agua** que terminan por dar lavados o ensuciamientos de mayor o menos intensidad a la fachada. Pueden ser de dos tipos:

- "Churretones limpios" sobre ensuciamiento por depósito: provocados por una concentración de lámina de agua a la velocidad suficiente como para provocar el lavado de paños sucios o evitar la permanencia de los depósitos internos.
- "Churretones sucios" sobre paños limpios: concentración de depósito interno facilitado por el arrastre de partículas ensuciantes depositadas superficialmente en alguna plataforma horizontal.

IMÁGENES DEL PROCESO:

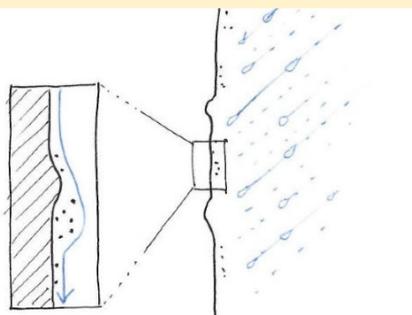


Figura 3. Formación de manchas por lavado diferencial (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Paño ciego bajo cambios de plano como ventanas, molduras...

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Volumen de la fachada deteriorado

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT. 09	Limpieza con cepillo	Eliminación de la suciedad mediante el cepillo de puas

NOMBRE:

EROSIÓN FÍSICA

LS.F.3.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Físico
 SÍNTOMA: Alteración y pérdida de masa
 ORIGEN: Acción del agua y la helada

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

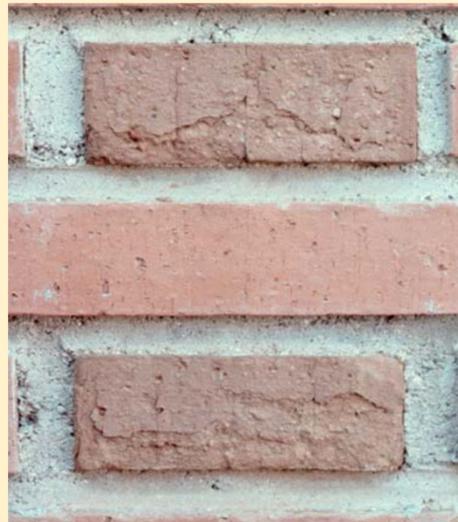


Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se caracteriza por producirse una **alteración y pérdida de masa en la superficie** de las fachadas como consecuencia de la **acción del agua** y la **helada** en los **materiales porosos** exteriores.

IMÁGENES DEL PROCESO:

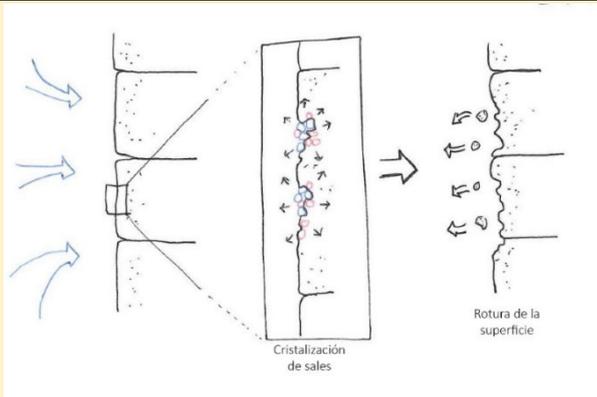


Figura 3. Erosión de fachadas por cristalización y heladas (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se encuentra en la **cara exterior**, sobre todo en las **zonas más expuestas** (coronación y elementos salientes) así como en **plataformas horizontales**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Volumen de la fachada deteriorado
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de los huecos

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.06	Parqueo del material	Se completa el material faltante mediante un mortero reparador acorde a las características del paramento.

NOMBRE: **GRIETAS: ROTURAS DE LOS PAÑOS DE FACHADA POR MOVIMIENTOS/DEFORMACIONES DE LA ESTRUCTURA**

LS.M.1.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Roturas lineales
 ORIGEN: Movimientos y deformaciones de la estructura

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Las **grietas** son roturas lineales que **afectan a todo el espesor** del cerramiento de fachada (no sólo a su revestimiento exterior)

En ésta ficha se tratan las producidas por los **excesivos movimientos y/o deformaciones de la estructura**, que introducen tracciones y esfuerzos cortantes de valor inadmisibles para las fachadas rígidamente vinculadas a dichas estructuras

IMÁGENES DEL PROCESO:

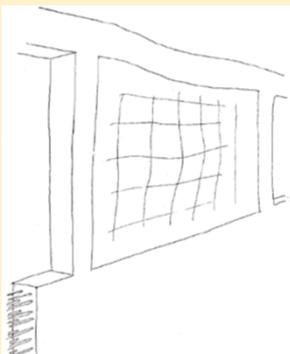


Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

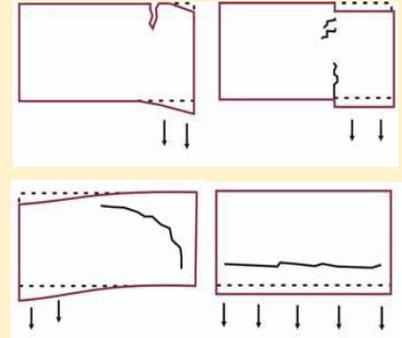


Figura 6.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En las zonas próximas al encuentro entre la estructura y los paños de las fachadas .

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia a flexión y tracción
E.02	Extensometría	Seguimiento de las fisuras
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado láser	Dimensionado del hueco erosionado
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección

NOMBRE: **GRIETAS: ROTURAS DE LOS PAÑOS DE FACHADA POR MOVIMIENTOS/DEFORMACIONES PROPIOS**

LS.M.1.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Roturas lineales, abombamientos
 ORIGEN: Movimientos, deformaciones de la propia fachada

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	●
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:

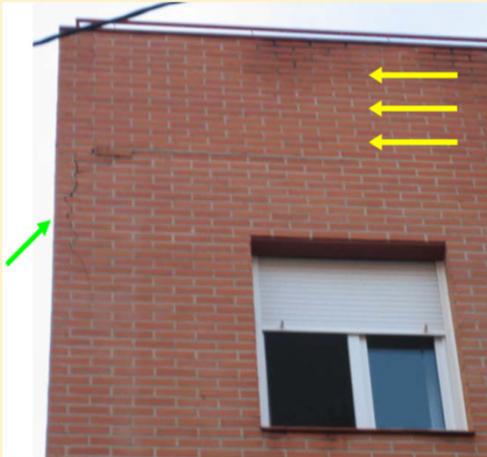


Figura 1.



Figura 2.

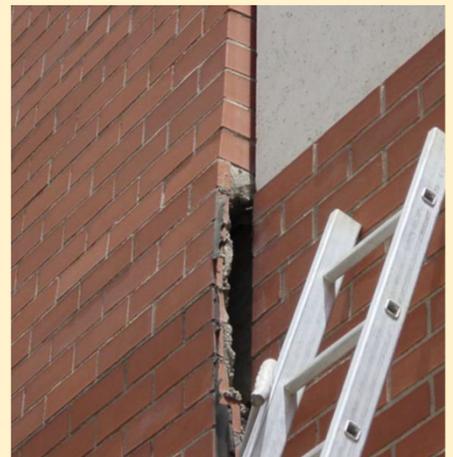


Figura 3.

DESCRIPCIÓN:

Las **grietas** son roturas lineales que **afectan a todo el espesor del cerramiento de fachada** (no sólo a su revestimiento exterior).

En esta ficha se tratan las producidas por los **excesivos movimientos, deformaciones y abombamientos de la propia fachada**, que producen en las mismas unas tracciones y esfuerzos cortantes de valor inadmisibles. En función de la separación entre las juntas de movimiento de la fachada, del valor de dichos movimientos (por variaciones de temperatura y por retracción/expansión por humedad de las piezas que conforman la fachada) y del grado/tipo de vinculación respecto de la estructura, es posible que se pueda **producir en ciertos casos incluso una pérdida del apoyo/sustentación de la fachada**, y por tanto, la consecuente **caída de la misma**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

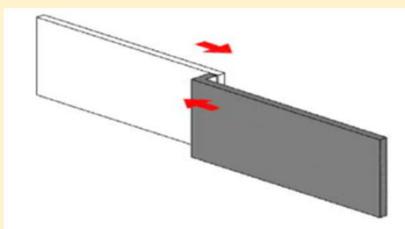


Figura 4.

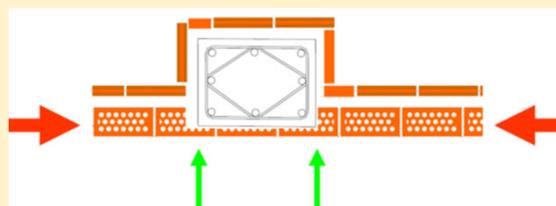


Figura 5.

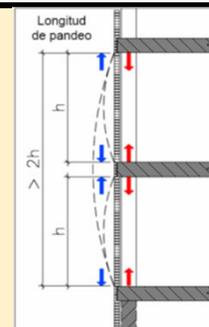


Figura 6.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Quiebros cortos (Fig.1 y Fig.4), fachadas curvas (Fig.2), en las esquinas y jambas de las ventanas de grandes paños de fachada con juntas de movimiento excesivamente separadas, junto a los pilares cuando la hoja del cerramiento no pasa en todo su espesor por delante suyo (Fig.5), abombamientos de la fachada adyacentes a forjados con un insuficiente apoyo de la misma frente a cargas laterales (Fig. 3 y Fig.6), etc.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia a flexión y tracción
E.02	Extensometría	Seguimiento de las fisuras
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado láser	Ubicación y dimesionado de las fisuras y deformaciones
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.

NOMBRE: **GRIETAS: ROTURAS DE LOS PAÑOS DE FACHADA POR ASIENTO DE LA ESTRUCTURA**

LS.M.1.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Roturas lineales
 ORIGEN: Asentamientos diferenciales de la cimentación

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	●

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Las **grietas** son roturas lineales que **afectan a todo el espesor** del cerramiento de fachada (no sólo a su revestimiento exterior)

En esta ficha se tratan las producidas por los **excesivos asentamientos diferenciales de la cimentación**, que introducen tracciones y esfuerzos cortantes de valor inadmisibles para las fachadas apoyadas o rígidamente vinculadas a la misma.

Estas grietas pueden estar también producidas en ciertos casos, por fenómenos de **elevación diferencial de la cimentación** (terrenos arcillosos expansivos, con cimentaciones superficiales de edificios de poca altura y con entornos no pavimentados, etc)

IMÁGENES DEL PROCESO:

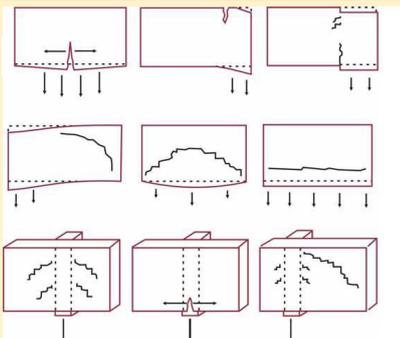


Figura 2.

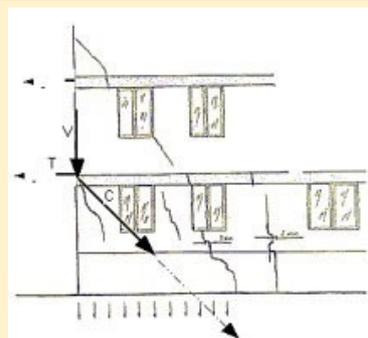


Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En los paños de fachada directamente vinculados a la cimentación y a la estructura de pilares/forjados que acompañan a los movimientos de la misma.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia a flexión y tracción
E.02	Extensometría	Seguimiento de las fisuras
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado láser	Dimensionado del hueco erosionado
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.

NOMBRE: **FISURAS: ROTURAS LINEALES DEL ACABADO POR MOVIMIENTOS DEL SOPORTE**

LS.M.2.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Rotura lineal del acabado
 ORIGEN: Movimientos diferenciales entre distintos soportes del acabado superficial exterior

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Las **fisuras** son **roturas** que **afectan a una parte del espesor del cerramiento**. En ésta ficha se tratan las producidas en los **revestimientos de acabado exterior de las fachadas** como resultado de los movimientos diferenciales entre los distintos soportes de los mismos.

Estas fisuras tienen una componente **lineal**, y pueden ser **horizontales** (p.e. en la parte superior/inferior de las vigas y bordes de forjados), **verticales** (p.e. en los laterales de los pilares), o **siguiendo la discontinuidad del soporte** del acabado.

IMÁGENES DEL PROCESO:

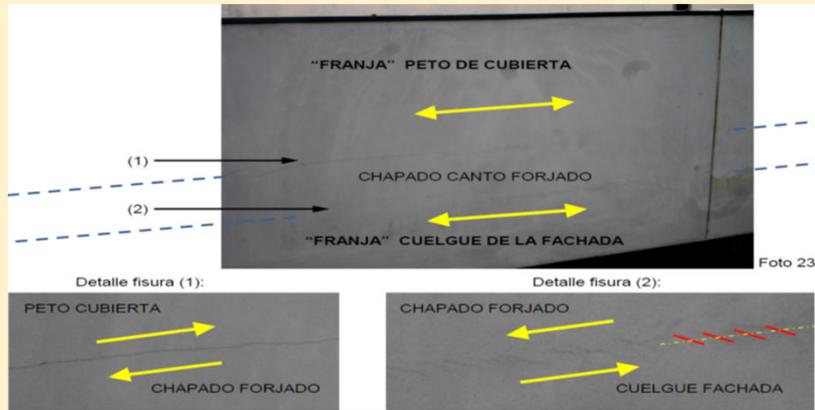


Figura 3.

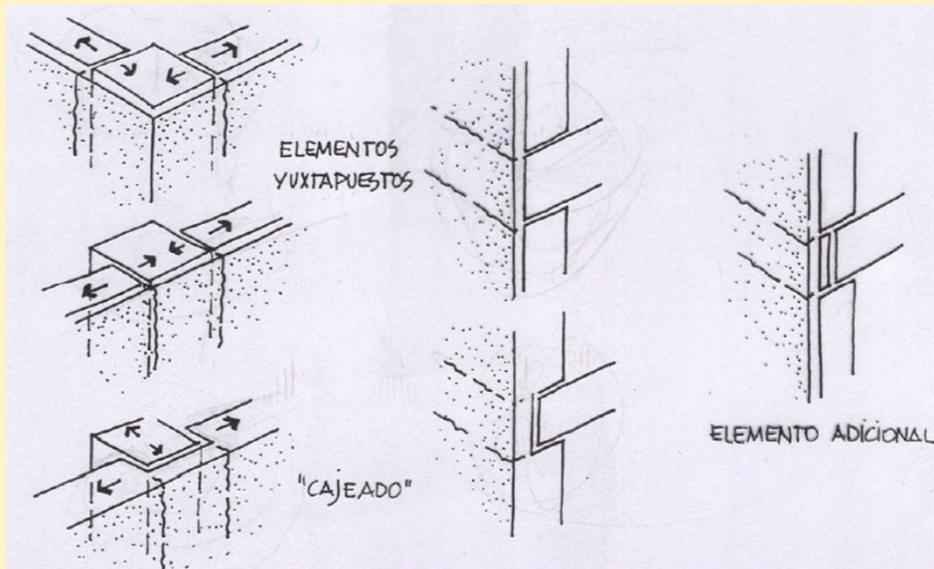


Figura 4.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se producen en zonas próximas al **encuentro entre fachadas y estructuras**, o entre soportes de **distinto material, espesor, coeficiente de dilatación térmica, etc.**

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Resistencia a flexión y tracción
E.02	Extensometría	Seguimiento de las fisuras
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.13	Revestimientos con malla de fibra de vidrio teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.	Se emplean revestimientos de diferentes tipos

NOMBRE: FISURAS: ROTURAS MÚLTIPLES DEL ACABADO POR RETRACCIÓN HIGROTÉRMICA LS.M.2.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Roturas múltiples
 ORIGEN: Retracción higrotérmica del acabado
 (revestimientos exteriores continuos o por elementos)

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD

URGENCIA DE INTERVENCIÓN

DIFICULTAD DE DETECCIÓN

COSTE DE REPARACIÓN

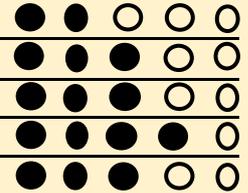


IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Las **fisuras** son **roturas** que **afectan a una parte del espesor del cerramiento**. En ésta ficha se tratan las producidas en los **revestimientos continuos o por elementos de acabado exterior de las fachadas** como resultado de la **retracción higrotérmica** de los mismos.

Éstas fisuras pueden producirse sobre todo **"en series" de fisuras lineales paralelas entre sí** en el caso de acabados sobre paños con una **dimensión dominante** (fisuras **transversales a dicha dimensión**), **fisuras entre paños de geometrías muy diferentes** (fig.3), fisuras **"en mapa"** en centros de paños ciegos, etc

IMÁGENES DEL PROCESO:

Fisuras de retracción

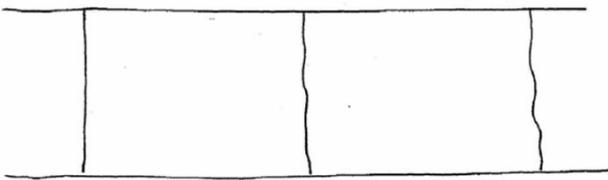


Figura 2.

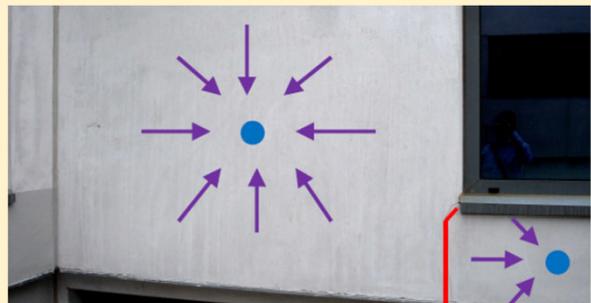


Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Fisuras "en series" paralelas dispuestas transversalmente a la longitud dominante de paños alargados (fig.2), y en menor medida, fisuras "en mapa" en centros de paños ciegos

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas.
TRAT.02	Ocratización	A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección

NOMBRE: FISURAS: ROTURAS "EN MAPA" DEL ACABADO POR RETRACCIÓN HIDRÁULICA

LS.M.2.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Fisuración "en mapa"
 ORIGEN: Retracción hidráulica de revestimientos exteriores continuos de mortero

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:

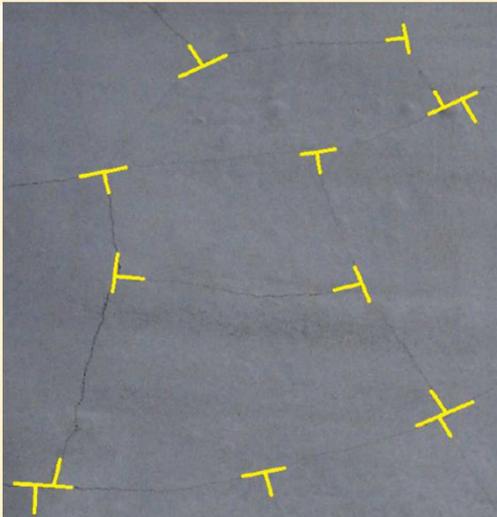


Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Las **fisuras** son **roturas** que **afectan a una parte del espesor del cerramiento**. En ésta ficha se tratan las producidas en los **revestimientos continuos de acabado exterior de las fachadas** como resultado de la **retracción hidráulica** de los mismos.

Estas fisuras se producen **"en mapa"** o **"afogarado"** de los **morteros excesivamente ricos o mal curados**, y que conforman el acabado continuo exterior de la fachada. Los encuentros entre las fisuras suelen producirse a **90º** (Fig.1).

IMÁGENES DEL PROCESO:

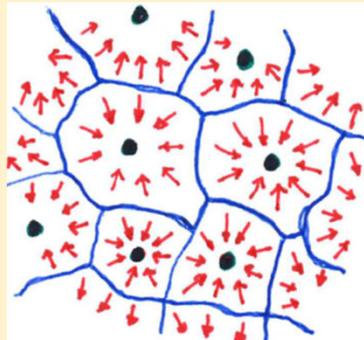


Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En paños ciegos en general.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.02	Extensometría	Evolucion de las fisuras
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.07	Escaneado Láser	Ubicación y dimensionado de las fisuras

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos teniendo en cuenta si son fisuras activas o pasivas. A través de un sellado superficial. (Para fisuras menores 0,2 mm).
TRAT.02	Ocratización	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.03	Sellado de fisuras	Sellado de fisuras con sellantes plásticos, elásticos o termoplásticos, o mediante piezas prefabricadas.
TRAT.04	Cosido de fisuras	Se emplea el cosido con acero o composite.
TRAT.05	Inyección	Consiste en el bombeo de material de inyección

NOMBRE: **DESPRENDIMIENTOS DE ACABADOS POR MOVIMIENTOS DIFERENCIALES**

LS.M.3.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Desprendimientos, abombamientos
 ORIGEN: Rotura de adherencia continua o de anclajes metálicos, tanto de acabados continuos o por elementos

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	●
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.

DESCRIPCIÓN:

Desprendimiento, abombamiento o incluso caída del acabados exteriores de fachada (tanto continuos como por elementos), debido a la pérdida de la adherencia continua o de los anclajes metálicos, existente entre el acabado y el soporte del mismo, por esfuerzos rasantes debidos a: -movimiento
 elástico de la estructura (flecha, pandeo)
 dilatación-contracción del soporte o del propio acabado
 - ausencia de juntas de dilatación en el soporte o en el propio acabado

IMÁGENES DEL PROCESO:

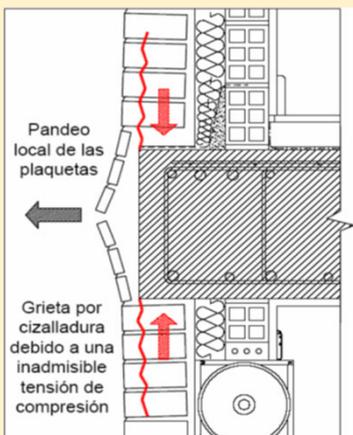


Figura 4.

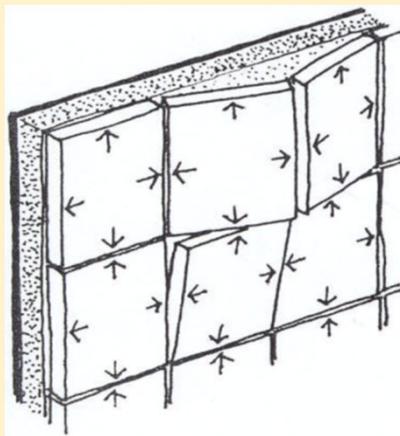


Figura 5.

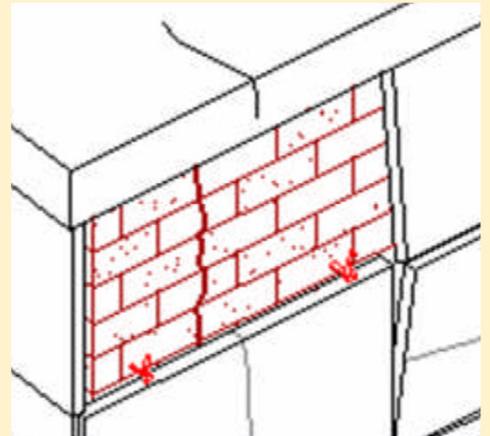


Figura 6.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Zonas próximas al encuentro entre fachada y estructura o en paños ciegos en general .

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado láser	Dimensionado del hueco erosionado
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos
TRAT.06	Parcheo del material	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Desprendimientos, abombamientos
 ORIGEN: Fisuración previa del acabado + helada o corrosión

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Desprendimiento, abombamiento o incluso caída del acabados exteriores de fachada (tanto continuos como por elementos) y/o de elementos decorativos (cornisas, impostas, etc), debido a la fisuración previa del acabado, y la acción posterior del agua de lluvia:

- por rotura de la adherencia continua, debido a la helada
- por corrosión de anclajes metálicos o elementos embebidos en el soporte

IMÁGENES DEL PROCESO:



Figura 3.

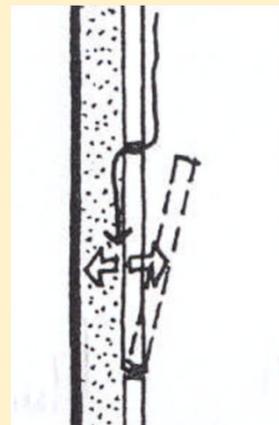


Figura 4.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En coronaciones de fachada (bajo la albardilla o el propio elemento de albardilla), o de huecos de fachada (bajo el alfeizar o el propio elemento de alfeizar), en los cantos de forjado de balcones, elementos decorativos sujetos con anclajes metálicos, etc

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.03	Fotografía de barrido	Análisis del cuadro fisurativo
T.I.06	Georadar	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.07	Escaneado láser	Dimensionado del hueco erosionado
T.I.08	Impacto Eco	Grietas y coqueras del material de enlace
T.I.09	Ultrasonido	Grietas y coqueras del material de enlace

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos
TRAT.06	Parcheo del material	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo

NOMBRE:

EROSIÓN MECÁNICA

LS.M.4.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Mecánico
 SÍNTOMA: Pérdida de masa por golpes/desgaste
 ORIGEN: Erosión mecánica por usuarios y maquinaria

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.

DESCRIPCIÓN:

Es el **desgaste** o **alteración superficial** como consecuencia de **acciones mecánicas externas**, como **golpes**, **impactos** o **rozamientos** producidos por **usuarios** y **maquinaria**.

IMÁGENES DEL PROCESO:



Figura 3. www.fototransportistas.es

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Cara exterior, sobre todo, en **zonas bajas** (zócalos, pilares, esquinas, etc), terrazas y lugares accesibles de la fachada.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.03	Fotografía de barrido	Dimensionado del hueco erosionado
T.I.07	Escaneado láser	Dimensionado del hueco erosionado

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.01	Revestimientos generalizados	Se emplean revestimientos de diferentes tipos
TRAT.06	Parcheo del material	Eliminar y reparar las zonas afectadas con nuevo

NOMBRE:

EFLORESCENCIA

LS.Q.1.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Mancha, normalmente blanquecina
 ORIGEN: Eflorescencia

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PROCESO:	● ● ● ○ ○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	● ○ ○ ○ ○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	● ○ ○ ○ ○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	● ● ○ ○ ○
COSTE DE REPARACIÓN	● ● ● ○ ○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Cristalización de la fachada **de sales solubles** contenidas en algún material constitutivo del cerramiento, o anexo a él, y arrastradas por el agua que, al evaporarse, las deposita en la **superficie exterior**. Normalmente se trata de **sulfatos alcalinos** de color blanco provenientes de ladrillos cerámicos, piedras sedimentarias, áridos de morteros y hormigones, aditivos de morteros o tierra vegetal contenida en el terreno o en jardineras.

IMÁGENES DEL PROCESO:

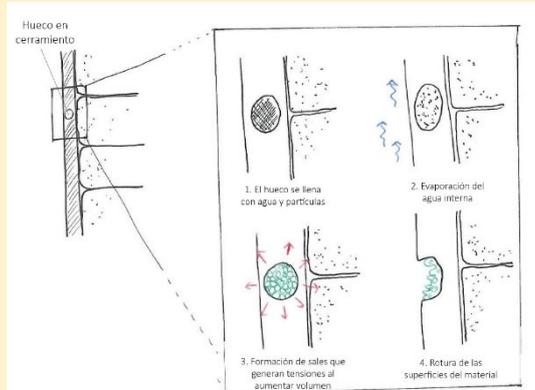


Figura 3. Proceso de eflorescencia (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Cualquier punto o zona de la fachada donde se haya producido algún tipo de **humedad**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza natural	Disolución de los cristales con agua a presión y un cepillo
TRAT.15	Limpieza química	Disolución de los cristales con agua y otros elementos químicos disueltos en agua (Acido Clorhídrico)
TRAT.16	Limpieza física	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos.

NOMBRE:

PSEUDO-EFLORESCENCIA

LS.Q.1.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Mancha, normalmente blanquecina
 ORIGEN: Pseudo-eflorescencia

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se produce la **cristalización** en la fachada por la presencia de **carbonato cálcico**, como consecuencia de la reacción entre el **óxido cálcico de hormigones y morteros frescos**, con el **anhídrido carbónico del aire**. Es muy común en ciertas tipologías de fachada, como las de fábrica de ladrillo visto (con llagas y tendeles rellenos de mortero), o en el caso de los aplacados de piezas cerámicas / piedra natural con el trasdós relleno de mortero, etc

IMÁGENES DEL PROCESO:

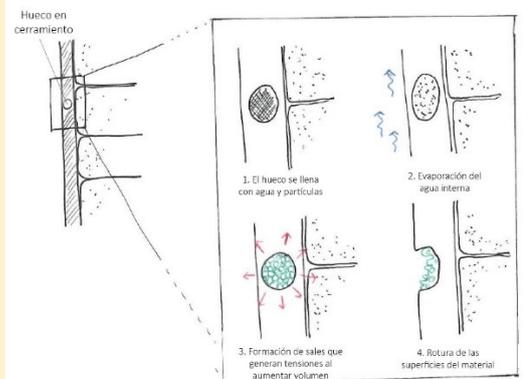


Figura 2. Proceso de eflorescencia (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Paños de obra de fábrica recién terminada , aplacados con trasdós relleno de mortero , etc.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza natural	Disolución de los cristales con agua a presión y un cepillo
TRAT.15	Limpieza química	Disolución de los cristales con agua y otros elementos químicos disueltos en agua (Acido Clorhídrico)
TRAT.16	Limpieza física	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos.

NOMBRE:

CRIPTO-EFLORESCENCIA

LS.Q.1.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Erosión superficial con manchas blanquecinas
 ORIGEN: Cripto-eflorescencia

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Proceso que se inicia con la **crystalización de las sales en algún alveolo (poro) perteneciente a la superficie de la fachada**, generándose unas **fuerzas de presión** que acaban causando la **rotura del mismo**, produciendo una **erosión superficial** (desconchados o desprendimientos de capas), acompañada de **manchas blanquecinas**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

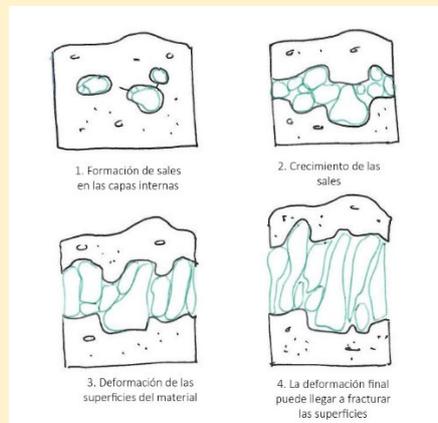


Figura 2. Proceso de cripto eflorescencias (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Cualquier **punto** o zona de fachada donde se haya producido algún tipo de **humedad**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopia	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza natural	Disolución de los cristales con agua a presión y un cepillo
TRAT.15	Limpieza química	Disolución de los cristales con agua y otros elementos químicos disueltos en agua (Acido Clorhídrico)
TRAT.16	Limpieza física	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos.

NOMBRE:

ORGANISMOS: HONGOS

LS.Q.2.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Colonias de mohos
 ORIGEN: Hongos

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Las **esporas del moho** se encuentran en el aire, y en casi todas las superficies pero **requieren una fuente de humedad para poder crecer**, por lo que los **asentamientos de colonias de mohos**, se producen en zonas de la fachada con **abundancia de agua, humedad permanente y ausencia de soleamiento**.

Los **tipos** de hongos más frecuentes encontrados en edificación son el Aspergillus, Cladosporium, Penicillium y Alternaria. Presentan **diversos colores**: claros como el blanco o el rosado, u oscuros como los verdosos, pardos, grises o negros, dependiendo de la cantidad de **micelio**.

El Stachybotrys chartarum, más comúnmente llamado **moho negro**, es el que, a menudo, causa la necesidad de reparaciones en las fachadas.

IMÁGENES DEL PROCESO:

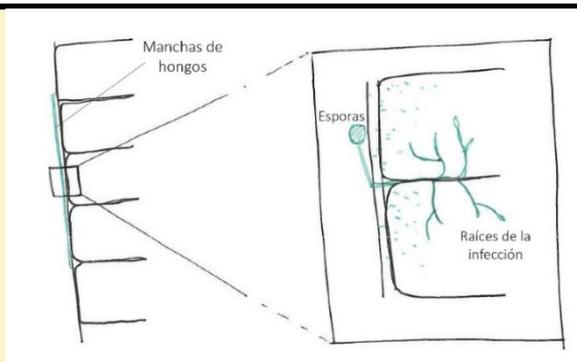


Figura 3. Proceso de colonización de hongos (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Encontraremos hongos en los **zócalos, impostas y molduras orientados al norte** o en rincones **muy protegidos**, en **huecos de ventanas** y coincidiendo con **churretones húmedos**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza física+Fungicida	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos. Añadir fungicida al acabar la limpieza.

NOMBRE:

ORGANISMOS: LÍQUENES

LS.Q.2.2

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Manchas coloreadas
 ORIGEN: Líquenes

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	○	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Los líquenes son una **asociación de un hongo** (ascomiceto o basidiomiceto) **y un alga** (cianofícea o clorofícea). Están tan íntimamente relacionados entre sí que se comportan y reproducen como una planta única e independiente. Tienen una alta tolerancia a circunstancias **ambientales desfavorables**. En momentos de desecación suspenden su actividad, la cual inician nuevamente al volver a entrar en contacto con el agua. Esta forma de vida intermitente limita su crecimiento, pero les permite vivir en lugares donde difícilmente podría desarrollarse una planta. La **lesión** que producen afecta al aspecto, pero también pueden tener una acción más agresiva.

IMÁGENES DEL PROCESO:

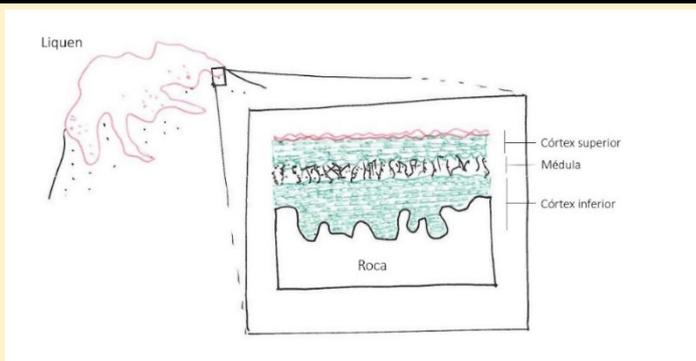


Figura 2. Esquema de colonización de los líquenes (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Se sitúan sobre las **plataformas horizontales** de la fachada y en general sobre todos los materiales porosos formando costras o placas foliáceas o arbustivas en **zonas expuestas y húmedas**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza física+Fungicida	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos. Añadir fungicida al acabar la limpieza.

NOMBRE:

ORGANISMOS: PLANTAS

LS.Q.2.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Crecimiento de plantas silvestres
 ORIGEN: Plantas

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	○	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se produce por la **acumulación de tierra y semillas en roturas y rincones** de la fachada, que permiten el crecimiento de estos organismos.

Las **acciones mecánicas** de las raíces, son debidas a que actúan como una cuña que introducida en juntas constructivas o grietas incrementa su **tensión** y hace saltar el material, facilitando, a su vez la **filtración** de agua. Pero éste no es el único efecto que pueden tener las raíces en el edificio, también pueden absorber la humedad del terreno, perjudicando la cimentación superficial, sobre todo si hablamos de zanjas corridas.

IMÁGENES DEL PROCESO:

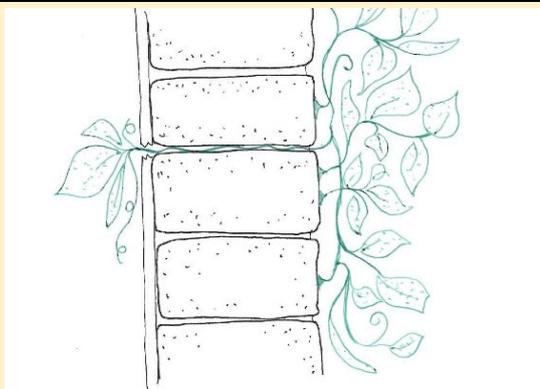


Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En **grietas y roturas superficiales** en paños verticales y en **plataformas horizontales**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza física+Fungicida	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos. Añadir fungicida al acabar la limpieza. Sellado posterior.

FICHA DE LESIÓN



NOMBRE:

ORGANISMOS: INSECTOS Y ANIMALES

LS.Q.2.4

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Nidos y excrementos
 ORIGEN: Insectos y animales

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Asentamiento de **insectos y animales** aprovechando los **orificios** y el **abandono**. Entre los insectos están las **arañas**, los **abejorros**, **cucarachas**, etc y entre los **animales** de mayor tamaño, están las **aves** (sobretudo las **palomas** y las **golondrinas**) y los **murciélagos**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

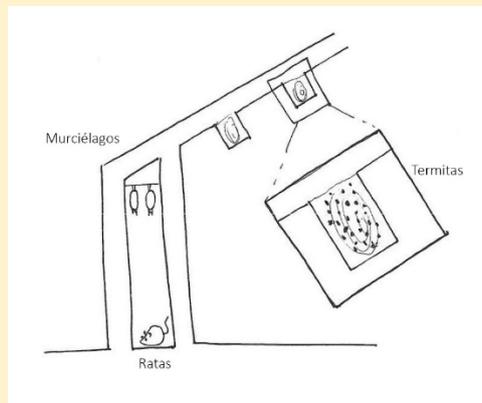


Figura 3. Plagas animales en edificación (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

En **grietas y roturas superficiales** en paños verticales, en **cámaras ventiladas**, bajo las **cornisas y dinteles de huecos de ventanas**, en **plataformas o barandillas horizontales**, etc.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.02	Endoscopía	Presencia de insectos y animales
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de insectos y animales

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.14	Limpieza física+Fungicida	Se limpia mediante instrumentos como cepillos de púas, bujardas o cepillos eléctricos.

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Herrumbre
 ORIGEN: Oxidación superficial

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PROCESO:	Químico	●	●	○	○	○
SÍNTOMA:	Herrumbre	●	○	○	○	○
ORIGEN:	Oxidación superficial	●	○	○	○	○
		●	●	●	○	○
		●	●	●	○	○

IMAGEN:

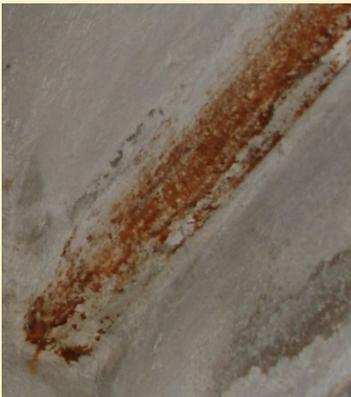


Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Alteración en forma de **herrumbre** de la superficie de los **elementos metálicos** debido a un **proceso de oxidación superficial general**. En el caso de los de hierro y acero, hidroxidación posterior al humedecerse. La **oxidación** se produce cuando un **material metálico** se combina con el **oxígeno**, transformándose en óxidos más o menos complejos.

IMÁGENES DEL PROCESO:

El proceso se produce durante las reacciones de tipo electrolítico. Está basado en la formación de celdas electroquímicas en las que aparece un ánodo (lugar dónde se ceden electrones - se produce la oxidación) un cátodo (donde se reciben electrones - se produce la reducción) y un electrolito o medio conductor a través del cual se mueven los iones.

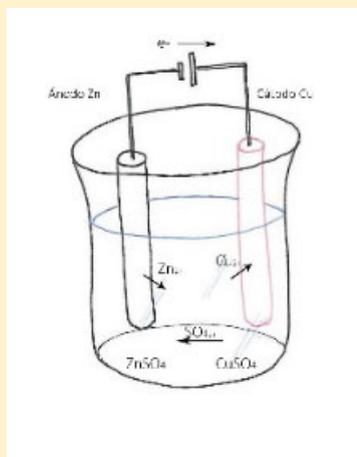


Figura 3. Proceso de oxidación (FCCCO)

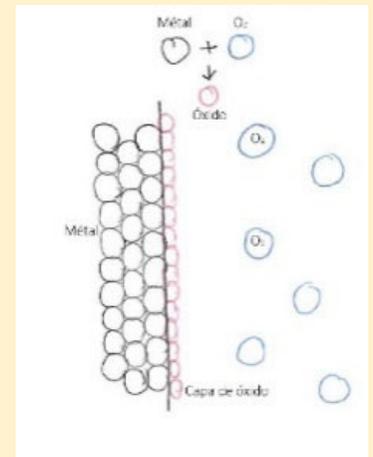


Figura 4. Oxidación de superficie metálica (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos metálicos, afectando principalmente a los de hierro y acero.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Pérdida de sección
 ORIGEN: Corrosión

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	●
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	●
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Se trata de un caso especial de oxidación en el que al encontrarse en un ambiente húmedo y conductor de la electricidad, se produce la **formación de una pila electroquímica**, o la **disolución del hidróxido por inmersión**, produciéndose una **pérdida de la sección del elemento metálico**. La

formación de una pila electroquímica, puede ser producida por: **oxidación previa, aireación diferencial o par galvánico**.

IMÁGENES DEL PROCESO:

El proceso se produce durante las reacciones de tipo electrolytico. Está basado en la formación de celdas electroquímicas en las que aparece un ánodo (lugar dónde se ceden electrones - se produce la oxidación) un cátodo (donde se reciben electrones - se produce la reducción) y un electrolito o medio conductor a través del cual se mueven los iones.

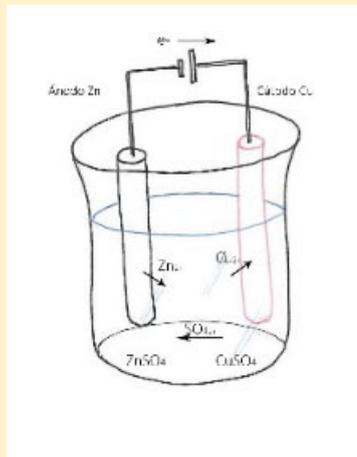


Figura 3. Proceso de oxidación (FCCCO)

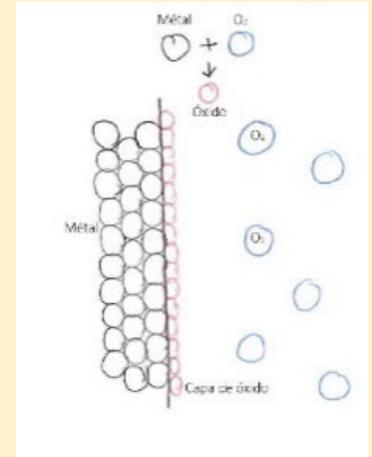


Figura 4. Oxidación de superficie metálica (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Elementos metálicos, principalmente los de hierro y acero, tanto **superficiales como ocultos** .

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.02	Endoscopía	Presencia de humedades
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.04	Sonda magnética	Ubicación y diámetro de las armaduras
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

NOMBRE:

EROSIÓN QUÍMICA: DECEMENTACIÓN

LS.Q.4.1

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Pérdida de masa
 ORIGEN: Decementación

FRECUENCIA DE APARICIÓN

PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	●	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:



Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

En la aparición de procesos de decementación, **alterando las superficies areniscas y calizas** de la fachada, la acción de componentes atmosféricos como el dióxido de carbono (CO₂), produce la **lixiviación de algunos de los componentes del material**. Otros compuestos, como los fluoruros, provenientes de la contaminación industrial, atacan a los materiales ricos en sílice con la correspondiente pérdida de material.

IMÁGENES DEL PROCESO:

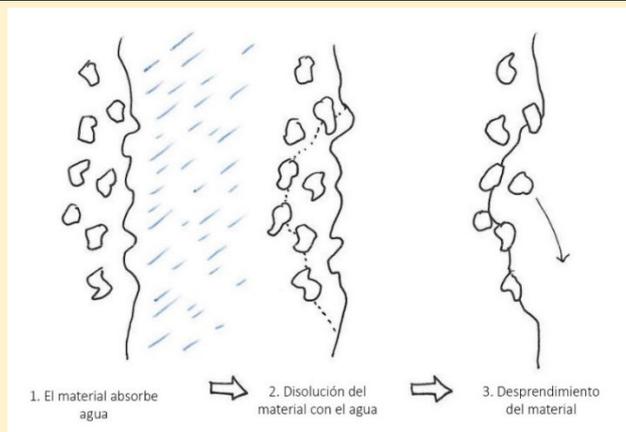


Figura 3. Proceso de lixiviación (FCCCO)

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Zonas más protegidas y con presencia de agua, concretamente zócalos y arranques de fachada, y molduras y relieves decorativos.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Formación de pátina porosa
 ORIGEN: Pátina

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	○	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

DESCRIPCIÓN:

Suele tratarse de **sulfatos cálcicos**, como consecuencia de la **reacción del ácido sulfúrico** que es arrastrado por la lluvia **con el carbonato cálcico de las calizas**. Se forma una capa delgada porosa sobre la superficie de las piedras, que absorbe la suciedad del ambiente.

Esta modificación superficial del material no implica necesariamente procesos de degradación o deterioro.

El término genérico de "pátina" incluye varias acepciones:

- a) **Tonalidad** o aspecto externo que cualquier piedra adquiere por "envejecimiento" con el paso del tiempo, y bajo los efectos de la intemperie.
- b) **Decoloración** debida a causas naturales o artificiales.
- c) Película coloreada artificial (**patinación**).
- d) Película de carácter orgánico (p. ej. algas) de tonalidad variable (**pátina biológica**).
- e) Teñido superficial debido a diversas sustancias: orín, verdín, etc...(**pátina de tinción**).
- f) Acumulación superficial de suciedad (**pátina de enmugrecimiento**).

IMÁGENES DEL PROCESO:

Figura 2.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Superficie de **paños protegidos y molduras y relieves decorativos**, que absorbe la suciedad ambiente.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
E.01	Muestra	Composición química
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

NOMBRE:

EROSIÓN QUÍMICA: COSTRA

LS.Q.4.3

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Alteración similar a la pátina, pero con una superficie muy desigual
 ORIGEN: Costra

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	●	●	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	○	○	○	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	○	○	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	○	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	○	○

IMAGEN:



Figura 1.

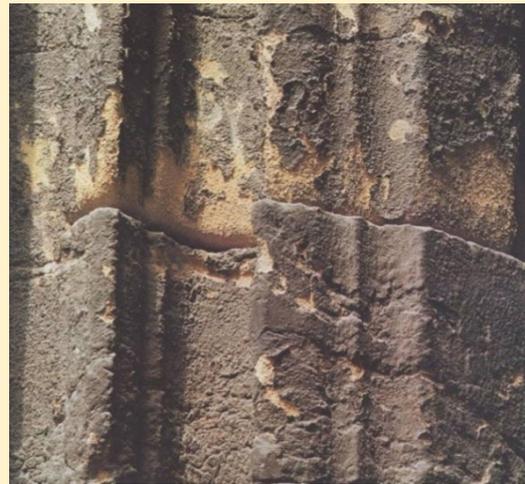


Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Reacción de contaminantes ambientales arrastrados por el agua con **los componentes mineralógicos de las piedras**. Se forma una **lámina o corteza de material coherente** en la parte externa de la piedra, de **superficie muy desigual**, cuya naturaleza químico-mineralógica y características físicas son parcial o totalmente distintas al sustrato pétreo sobre el que se asienta.

IMÁGENES DEL PROCESO:

Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Supereficies de **paños con presencia de agua**, concretamente **zócalos y arranques de fachada**.

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

NOMBRE:

EROSIÓN QUÍMICA: ALVEOLO

LS.Q.4.4

CLASIFICACIÓN

PROCESO: Químico
 SÍNTOMA: Combinación de las costras con la disolución superficial
 ORIGEN: Alveolo

FRECUENCIA DE APARICIÓN

FRECUENCIA DE APARICIÓN	●	○	○	○	○
PELIGRO DE ESTABILIDAD	●	●	●	●	○
URGENCIA DE INTERVENCIÓN	●	●	●	●	○
DIFICULTAD DE DETECCIÓN	●	●	●	○	○
COSTE DE REPARACIÓN	●	●	●	●	○

IMAGEN:

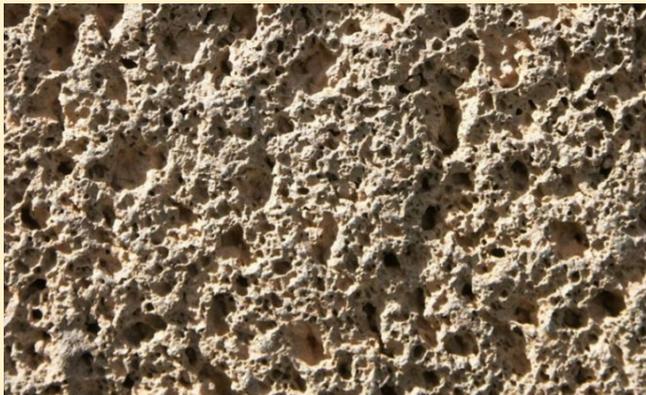


Figura 1.



Figura 2.

DESCRIPCIÓN:

Alteración de las superficies de las fachadas con la combinación de formación de costras y decementaciones.

Alveolización: Degradación de origen físico-químico, en forma de alveolos, característica de ciertos materiales rocosos granulares y porosos (tobas, areniscas, etc.)

Alveolos: Cavidades u oquedades de forma más o menos globular, interconectadas o no, y que en conjunto adquieren un aspecto de panal de miel. El interior de los alveolos suele albergar material disgregado, eflorescencias, microorganismos, etc.

IMÁGENES DEL PROCESO:

Figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN:

Superefcies de paños con presencia de agua , concretamente zócalos y arranques de fachada .

DIAGNÓSTICO (TÉCNICAS Y ENSAYOS):

CÓDIGO:	Ensayo o técnica	Información obtenida
T.I.01	Termografía	Grado de humedad
T.I.03	Fotografía de barrido	Presencia de humedades
T.I.05	Termohigrometría	Grado de humedad

TRATAMIENTOS:

CÓDIGO:	Tratamiento	Descripción
TRAT.05	Inyección de resinas	Consiste en el bombeo de material de inyección para reparar la fisura.
TRAT.07	Electro-ósmosis	Cambio de polaridad del hormigón

NOMBRE:

TERMOGRAFÍA

T.I.01

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

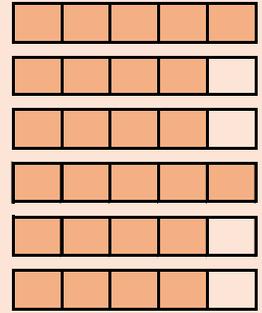
DIFICULTAD DE APLICACIÓN

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

COSTE DEL INSTRUMENTAL

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

La termografía permite monitorizar pequeños gradientes o cambios en la radiación visible e infrarroja que los objetos reflejan. Las variaciones infrarrojas pueden estar relacionadas con algún parámetro global como es la humedad de la pieza o la incipiente aparición de defectos que alteran el patrón de radiación de forma local y que se manifiesta con equipamiento de precisión, mucho antes de que aparezcan en el espectro visible.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



Imagen 1

EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds:	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Cámara multispectral	1	0,4	4	10,6 x 20 x 12,5	8000

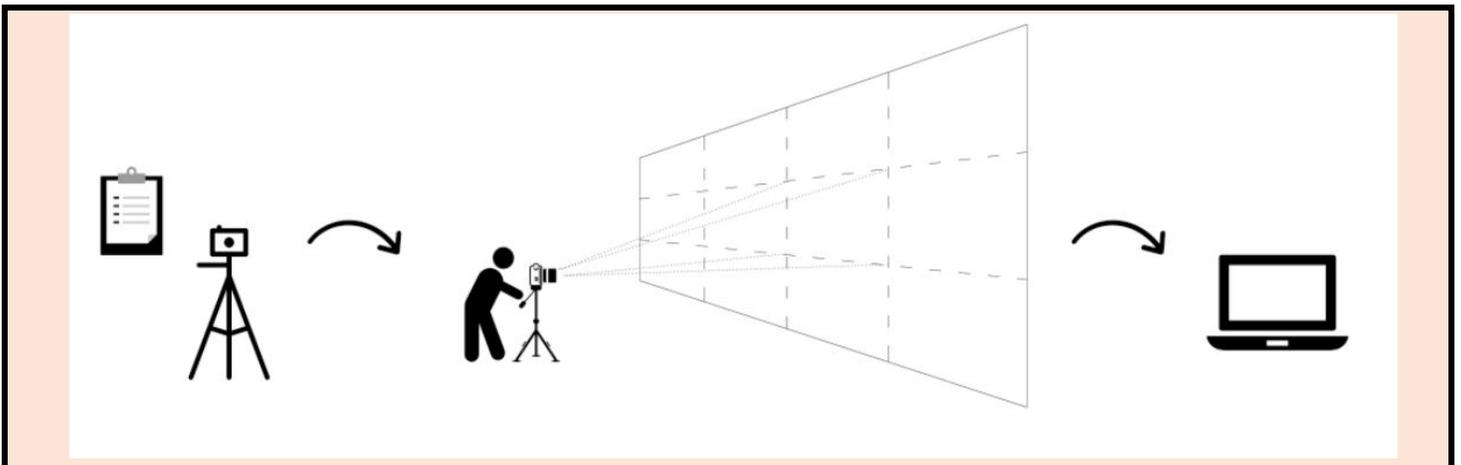
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

El funcionamiento de este tipo de cámaras es muy similar al de una cámara convencional, se prepara el soporte o trípode donde va a ser utilizada, se ajustan los parámetros para cada material a analizar, y se hacen las fotografías necesarias para abarcar la totalidad de la superficie a analizar.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Se debe seleccionar el momento adecuado en función de la luz ambiental disponible (hora del día, climatología...). Durante el proceso, el operario debe analizar los resultados en tiempo real, reajustando los parámetros en caso necesario y/o repitiendo alguna parte de la inspección. Los resultados se analizan dependiendo de varios factores, como el **espectro de temperatura** dependiendo de las especificidades de cada

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

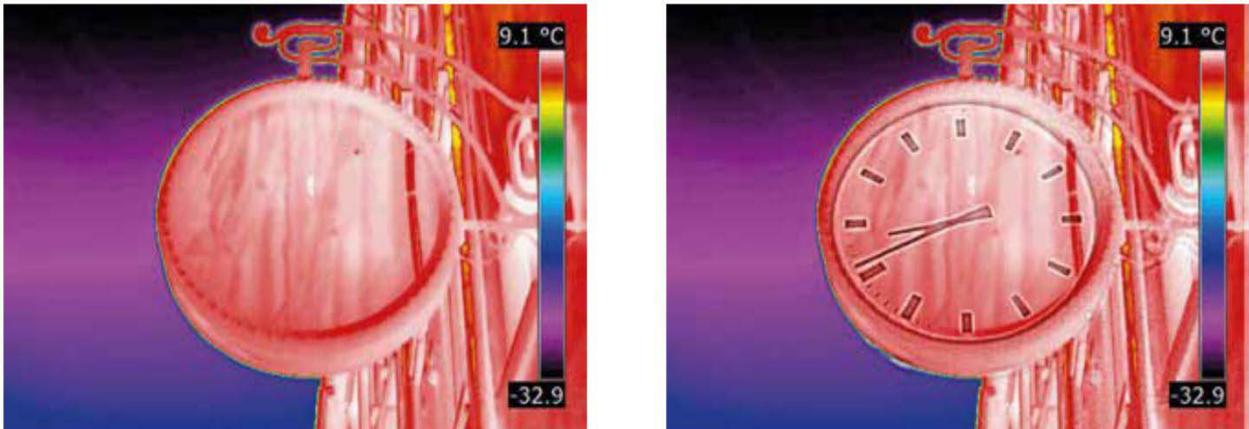
Tipos de inspección	Externa	100 [Sepación de la fachada (cm)]	6 s Tiempo unidad
	Interna	[Profundidad (cm)]	0,2 Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Todos	
	[Incompatibles]	Ninguno	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN

Grado de estabilidad	→	Admite movimientos y vibraciones bajas	Autonomía	→	2-3 Horas
Nivel de precisión	→	Hasta un pixel, pero depende de la calidad de la cámara	Transmisión de datos	→	WIFI, HDMI, USB

TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Imágenes y video de alta calidad con la definición del espectro visible. A través de las diversos de temperatura de los diferentes elementos constructivos se pueden encontrar problemas de humedades, discontinuidades en el paramento, puentes térmicos, filtraciones, infiltraciones de aire, falta de adherencia de aplacados así como cuantificar la transmitancia térmica y acústica.



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

LS.H 1.1	Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
LS.H 1.2	Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
LS.H 3.1	Disgregación por deslavado
LS.H 3.3	Disgregación por acción del hielo
LS.H 3.4	Disgregación por recristalización de sales
LS.C 1.1	Fisuras por corrosión de las armaduras
LS.C 2.1	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.C.3.1	Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos
LS.F.1.1	Humedad capilar
LS.F.1.2	Humedad por filtración
LS.F.1.3	Humedad por condensación
LS.F.1.4	Humedad accidental
LS.F.3.1	Erosión física
LS.M.2.2	Roturas múltiples del acabado por retracción higrotérmica
LS.M.3.1	Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa
LS.Q.1.1	Eflorescencia
LS.Q.1.2	Pseudo-Eflorescencia
LS.Q.1.3	Cripto-Eflorescencia
LS.Q.2.1	Organismo: Hongos
LS.Q.2.2	Organismo: Líquenes
LS.Q.2.3	Organismo: Plantas
LS.Q.3.1	Oxidación
LS.Q.3.2	Corrosión
LS.Q.4.1	Erosión química: Decementación
LS.Q.4.3	Erosión química: Costra
LS.Q.4.4	Erosión química: Alveolo

LIMITACIONES:

Distancia y ángulo óptimo entre la cámara y el plano inspeccionado. Fuera del rango adecuado los resultados no son fiables

Necesidad de interpretación experta de los datos para rentabilizar la técnica al máximo y garantizar la fiabilidad de los resultados

Grado de aceptación de los resultados en caso de vibración u otras interferencias

Entorpecimiento por múltiples obstáculos y/o interferencias presentes en la vía pública entre la cámara y el paramento (arbolado, alumbrado público, vehículos, otras construcciones, objetos sobre la fachada, fuentes de Condiciones atmosféricas (no funciona con lluvia) Medidas a partir de -15º a 50º

RETOS:

Obtener un barrido completo en condiciones óptimas de distancia y ángulo de captación

Conseguir una imagen muy detallada y de alta definición.

Automatizar la interpretación de datos.

FUENTES:

Documentos:

- Capítulo de Libro: 'Inspección termográfica de fachadas de edificios. Comentarios a la norma europea EN 13187'. J.d.I. Puente Crespo, F.J. Rodríguez Rodríguez. 1st ed. Anonymous, Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones, 2004
- Artículo: 'Inspección termográfica de las pérdidas caloríficas en estructuras de edificios'. Al-Kassir Alkarany, R., T., P., Carmona Fernández, D., Al-Kassir Abdulla, A., Gañán Gómez, J., & Turégano Caetano, J. P. Montajes E Instalaciones, nº 35, 2005
- Artículo: 'Aplicabilidad de la termografía para la inspección de los edificios rurales: caso de una comarca española'. González Requena, I., Martín Ocaña, S., & Cañas Guerrero, I. Informes de La Construcción, nº 55, 2003
- Artículo: 'Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures' C. Meola, R. Di Maio, N. Roberti, G.M. Carlomagno. Engineering Failure Analysis, volumen 12, nº 6, Diciembre 2005
- Artículo: 'Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures'. N.P. Avdelidis, A. Moropoulou. Journal of Cultural Heritage, volumen 5, nº 1, Marzo 2004
- Artículo: 'Comparison between thermographic techniques for frescoes NDT'. G. M. Carlomagno, C. Meola. NDT & E International, volumen 35, Nº 8, Diciembre 2002
- Artículo: 'Detection of shallow voids in concrete structures with impulse thermography and radar' Ch. Maierhofer, A. Brink, M. Rollig, H. Wiggenhauser. NDT & E International, volumen 36, nº 4, Junio 2003
- Artículo: 'Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation'. D. Paoletti, D. Ambrosini, S. Sfarra, F. Bisegna. Journal of Cultural Heritage, volumen 14, nº 2, Abril 2013
- Artículo: 'Thermography methodologies for detecting energy related building defects'
- Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido'. I.Lombillo, I. Villegas, D. Silió, C. Hoppe, (GTED-UC. Grupo
- Artículo: 'A knowledge-based system for the non-destructive diagnostics of façade isolation using the information fusion of visual and IR images'. S. Ribaric, D. Marcetic, D. S. Vedrina. Experts Systems with Applications, nº 36, 2009
- Artículo: 'Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage'. A. Moropoulou, K. C. Labropoulos, E. T. Delegou, M. Karoglou, A. Bakolas, (National Technical University of Atenas, School of Chemical
- Artículo: 'Inspección mediante técnicas no destructivas de un edificio histórico: oratorio San Felipe Neri (Cádiz)'. C. Rodríguez Liñán, Ma. J. Morales Conde, P. Rubio de Hita, F. Pérez Gálvez. Informes de la Construcción, volumen 63, nº 521, 2011
- Artículo: 'Pulse phase thermography for characterising large historical building façades after solar heating and shadow cast – a case study'. R. Krankenhagen, C. Maierhofer. Quantitative InfraRed Thermography Journal, Diciembre 2013
- Artículo: 'Quantitative diagnosis of insulated building walls of restored old constructions using active infrared thermography'. M.H. A. Larbi Youcef, V.Feuillet, L. Ibos, Y. Candau, P. Balcon, A. Filloux. Quantitative InfraRed Thermography
- Artículo: 'Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation'. J. Spodek, E. Rosina. Journal of Architectural Conservation, Enero 2014
- Artículo: 'Application of impulse-thermography for non-destructive assessment of concrete structures'. C. Maierhofer, R. Arndt, M. Rölling, C. Rieck, A. Walther, H. Scheel. Cement and Concrete Composites, nº 28, 2006
- Artículo: 'Evaluation of building materials using infrared thermography'. E. Barreira, V.P. de Freitas. Construction and Building Materials, nº 21, 2007
- Artículo: 'Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements'. S. Lagüela, H. Gonzalez--Jorge, J. Armesto, P. Arias. Infrared Physisc – Technology, nº 54, 2011
- Ponencia: 'Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la evaluación no destructiva (END)'. D.L. Balageas, IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires ed. Anonymus, 2007
- Ponencia: 'Termografía infrarroja: Análisis y Diagnóstico en Edificios'. J.M. Bonavera. III Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires ed. Anonymus, 2006
- Tesis Doctoral: 'Estudio y revisión de técnicas no destructivas (termografía, ultrasonidos y resistógrafo) aplicadas a la inspección e intervención de forjados de madera'. María Jesus Morales Conde, Construcciones arquitectónicas, Universidad de Sevilla, 2012
- Tesis Doctoral: 'Contribuciones a las técnicas no destructivas para evaluación y prueba de procesos y materiales
- Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados Unidos de América'. Berta A. de Miguel Alcalá, ETSAV, UPV, 2017

TFM: 'Evaluación de la idoneidad de la termografía y el georradar para caracterizar materiales de construcción'.

Javier Zahonero Simó, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, U.P.V., 2015

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Amaia Mesanza Moraza, Máster en Geotecnologías y Arquitectura. Escuela Politécnica de Ávila. Septiembre 2011

Recopilación de Técnicas IND para sistemas robotizados

Documentos de apoyo del IRP

Enlaces web:

www.álavaingenieros.com

Cámaras térmicas flir para usuarios expertos y profesionales: <http://flir.es/store/instruments/>

INFORMACIÓN ADICIONAL COMPLEMENTARIA:

Descripción de las cámaras termográficas

Las cámaras multispectrales permiten monitorizar pequeños gradientes o cambios en la radiación visible e infrarroja que los objetos reflejan. Las variaciones infrarrojas pueden estar relacionadas con algún parámetro global como es la humedad de la pieza o la incipiente aparición de defectos que alteran el patrón de radiación de forma local y que se manifiesta con equipamiento de precisión, mucho antes de que aparezcan en el espectro visible. Suelen tener un sensor para la captura de longitudes de onda más altas de 13 μm y de infrarrojo cercano de hasta 7.5 μm . Las cámaras permiten un muestreo rápido de imagen siendo así capaces de monitorizar procesos que evolucionan rápidamente, o donde cuando la cámara está alojada en un sistema "metaestable". Estos sistemas embarcados en RPAS ya se empiezan a utilizar en inspección de infraestructuras.

Características de los sistemas

Los sistemas no aero-tripulados permiten embarcar, hoy en día, una gran variedad de sensores, como puede ser un sistema giroscópico inercial alojando una cámara o sensor multispectral, capaz de captar imágenes en un espectro de frecuencia que ya no se limita únicamente al rango infrarrojo o, por otro lado, al rango visible. Estos sensores o cámaras pueden operar de modo remoto por diversas tecnologías inalámbricas y mandar las imágenes a un centro de operación o de cálculo.

La ventaja de algunos sistemas es que es capaz de "rastrear" anomalías en las imágenes que en vuelo puede tomar se ha incrementado notablemente. Por tanto, se hace viable un sistema real de captación multispectral en una navegación sobre un edificio en condiciones de vuelo normales. Dicho de otro modo, conciliando la tecnología actual de vuelos sincronizados por GPS (waypoints) y sistemas de geo-estabilización se consigue una emplazamiento más o menos estable durante un periodo de tiempo tal que las nuevas cámaras consiguen realizar una captación de imágenes en un rango de frecuencias. Posteriormente, se pueden tratar la cascada de imágenes tomadas mediante tratamiento digital de señal. Una cámara que podría desarrollar lo anteriormente descrito es la última versión de cámara que oferta FLIR: <http://www.flir.es/cs/display/?id=56013>

No se ha detectado ninguna aplicación descrita específica para fachadas con cámara hiperespectral, propiamente dicha. Sin embargo, hay mucha literatura de aplicaciones con cámara termográfica en instalaciones incluso para cubiertas en edificación. Un ejemplo es: <https://www.drone-thermal-camera.com/es/inicio/>

Distancia mínima y/o máxima entre el equipo y la envolvente.

Pueden trabajar hasta varias decenas de metros y también tan cerca como el drone (RPAS) pueda situarse cerca del target (de la envolvente), que pueden ser varias decenas de centímetros. Un ejemplo de la precisión es el derivado del uso de una cámara FLIT de la serie T400bx de unos 3.1 Megapíxeles y capaz de captar imágenes de unos 320 x 240 píxeles. Su resolución térmica asociada es de 45 mk. De tal manera que se tendría una resolución por debajo del centímetro, suficiente para aplicaciones en construcción, sobre todo cuando sea posible la aproximación a 2-3 metros.

Precisión

Se puede cubrir una superficie equivalente a un edificio de varias plantas y unos 300 m², en un día, si no se requiere precisiones por debajo del centímetro. El único problema es la autonomía del sistema RPAS, por lo que será necesario parar dicha inspección para reemplazar baterías. Conviene tener juegos de baterías suficientes para realizar estas inspecciones.

NOMBRE:

ENDOSCOPIA

T.I.02

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

--	--	--	--	--	--

DIFICULTAD DE APLICACIÓN

--	--	--	--	--	--

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

--	--	--	--	--	--

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

--	--	--	--	--	--

COSTE DEL INSTRUMENTAL

--	--	--	--	--	--

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS

--	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN:

La técnica endoscópica permite el reconocimiento de los daños y la materialidad superficial e interna de los paramentos accediendo a la información interior del soporte (muro de cerramiento, forjados...) para conocer sus capas internas, ya sean cámaras de aire o secuencia de materiales que compongan el total del cerramiento.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Sonda	1	0,5-1	-	6,1 mm (Ø) x 300 (long)	17500
Óptica	1	1,2-2	-	9,53 x 13,34 x 34,29	120
Taladro	1	0,8-1,5	750	25 x 15 x 8	100-300
Compresor	1	6	1100	34,4 x 18,6 x 33,1	

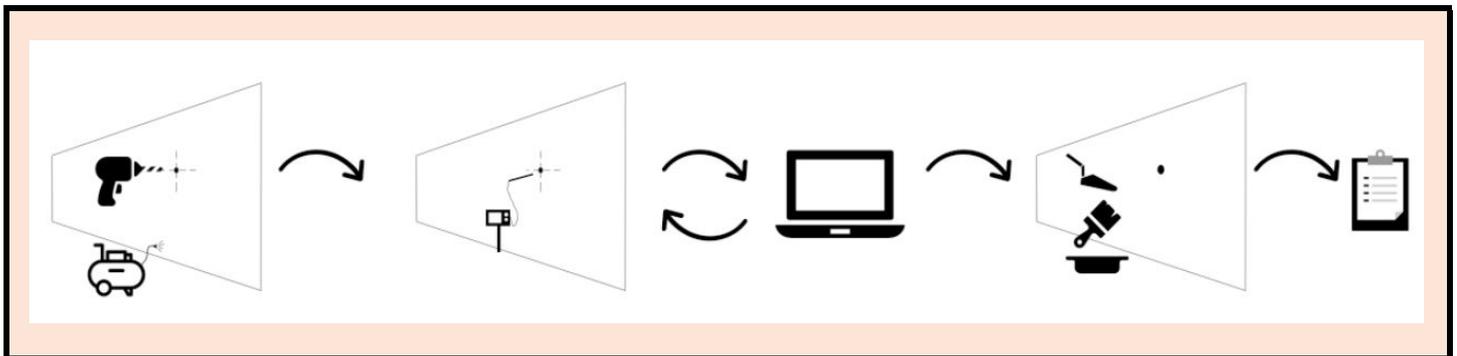
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

La secuencia de trabajo es replanteo, visualización, ubicación de la perforación, realización de la perforación, limpieza de la perforación, introducción de la sonda video-endoscópica, manipulación de la sonda, registro de imágenes y reporte de los datos obtenidos.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



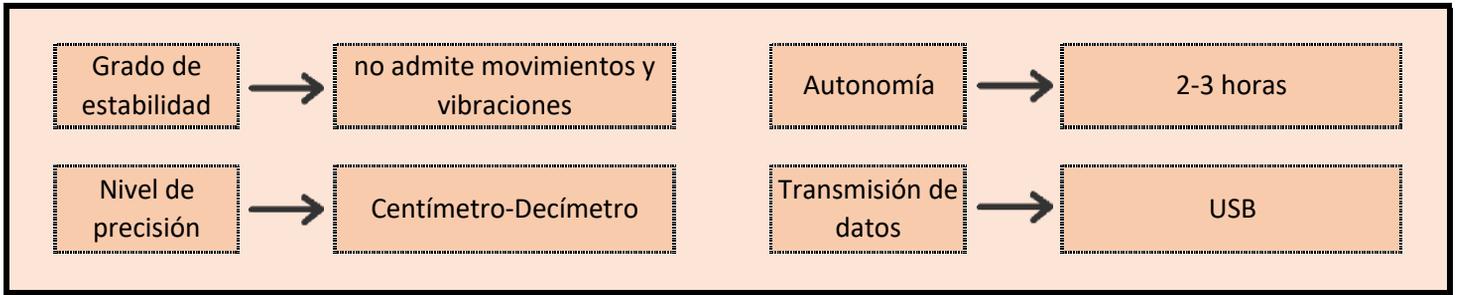
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Descarga de los datos de almacenamiento interno a ordenador de campo. Se debe comprobar la necesidad o no de repetir alguna de las tomas de vídeo o imagen, determinando su validez para identificar posibles huecos, materiales u objetos en la inspección.

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	Externa	[Separación de la fachada (cm)]	5 min Tiempo unidad
	Interna	<300 [Profundidad (cm)]	- Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Fábrica, hormigón, morteros, vidrios, madera.	
	[Incompatibles]	agua, material muy disgregado, lodo	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO	Descripción
LS.C 1.1	Fisuras por corrosión de las armaduras
LS.C 1.2	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.L 3.1	Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
LS.M.1.1	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
LS.M.1.2	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
LS.M.1.3	Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
LS.M.2.1	Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
LS.M.3.1	Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa
LS.Q.1.1	Eflorescencia
LS.Q.1.2	Pseudo-eflorescencia
LS.Q.1.3	Cripto-Eflorescencia
LS.Q.2.1	Organismos:Hongos
LS.Q.2.2	Organismos:Líquenes
LS.Q.2.3	Organismos:Plantas
LS.Q.2.4	Organismos:Insectos y animales
LS.Q.3.1	Oxidación
LS.Q.3.2	Corrosión



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Necesidad de interpretación experta en los datos
Grado de aceptación de los resultados en caso de vibración u otras interferencias
Preparación previa y actuaciones posteriores: medios auxiliares necesarios antes de inspeccionar y después, que pueden afectar al cerramiento
Complejidad del interfaz

RETOS:

Mejorar la velocidad en cada muestra a través de una metodología de inspección
Independizar la sonda de la pantalla, mediante la conexión remota
Mejorar la movilidad de la sonda
Minimizar medios para perforación y su taponado posterior: diámetro y potencia necesaria
Facilitar un mecanismo de ayuda a la orientación al desplazar la sonda

ANEJO I

FUENTES:

Documentos:

Ponencia: 'La endoscopia como técnica complementaria en las labores de inspección visual'. J. Díez Hernández, Libro de Actas de la 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no Destructivas aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (REHABEND), Universidad de Cantabria, Ministerio de Fomento, Noviembre 2006

Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido: Inspección visual, técnicas acústicas, electromagnéticas y tomográficas'. I. Lombillo, E. Agudo, L. Villegas (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria), AEND. Asociación de Ensayos No Destructivos

Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados Unidos de América'. Berta A. de Miguel Alcalá, ETSAV, UPV, 2017

Manual: 'Panatec. Soluciones Tecnológicas de Inspección'

Enlaces web:

www.panatec.net

ANEJO II

INFORMACIÓN ADICIONAL COMPLEMENTARIA:

La Técnica Endoscópica permite de reconocimiento de los daños y la materialidad superficial e interna de los paramentos accediendo a la información interior del soporte (muro de cerramiento, forjados...) para conocer sus capas internas, ya sean cámaras de aire o secuencia de materiales que compongan el total del cerramiento.

Para la realización de esta exploración es necesario un proceso apoyado en diversos medios auxiliares que en el caso de su manejo a distancia en lugares inaccesibles, proporcionan una valiosa información a la vez de un incremento en la dificultad de su manejo.

En líneas generales la técnica video-endoscópica nos permite acceder a la materialidad interna de los elementos constructivos para lo que es necesario una perforación previa del soporte a investigar. Esta perforación debe ser controlada para no dañar el extremo opuesto a la intervención, (paño interior del cerramiento o el otro lado del forjado).

PROCESO DE RECONOCIMIENTO VIDEO-ENDOSCÓPICO.

La secuencia de trabajos es la siguiente:

1. Replanteo
2. Visualización
3. Ubicación de la perforadora
4. Realización de la perforación
5. Limpieza de la perforación
6. Introducción de la sonda video-endoscópica
7. Manipulación de la sonda video-endoscópica
8. Registro de imágenes
9. Reporte de los datos obtenidos.

1. REPLANTEO

Decisión previa del lugar de la inspección que debe reunir una serie de características mínimas:

- Debe estar libre de obstáculos en el área de anclaje de la taladradora
- Se debe comprobar la inexistencia de instalaciones en el cerramiento que podrían ser dañadas en la perforación
- Adecuación del cerramiento a las condiciones de la investigación.

2. VISUALIZACIÓN:

Es necesario disponer de equipos de visualización de los procesos de trabajo lo que conlleva la ubicación de cámaras de video con recepción de señal en tiempo real que permita seguir la secuencia directamente para tomar las decisiones en cualquier parte del proceso de inspección o de sus actuaciones previas.

Esta visualización permite ubicar correctamente la máquina de taladrado en el lugar replanteado y abortar los trabajos en caso de algún acontecimiento inesperado.

3. UBICACIÓN DE LA TALADRADORA

La taladradora y la fuerza que empleará dependerán de la resistencia del soporte y del control que se necesite sobre ella, que determinará si es necesario o no el anclaje previo de la máquina al cerramiento para evitar torsiones y movimientos que puedan dañar la broca.

4. REALIZACIÓN DEL TALADRO

El taladro se deberá hacer de manera controlada por lo que se deberá utilizar una máquina de avance lento automático que permita observar su avance y la profundidad de la perforación.

La broca a utilizar dependerá del diámetro de la sonda video-endoscópica siendo un diámetro 8mm suficiente para la utilización de sonda de diámetro 6mm

Es necesario así mismo el control tanto de los residuos de la perforación (polvo que puede manchar superficies anexas) como los posibles desprendimientos de revestimientos próximos.

5. LIMPIEZA DE LA PERFORACIÓN

En las perforaciones el polvo que se produce tiende a adherirse a las paredes de las mismas por lo que es fundamental varias series de soplado – cepillado de la perforación para que la posterior inspección video-endoscópica tenga unos resultados adecuados.

6. INTRODUCCIÓN DE LA SONDA VIDEO-ENDOSCÓPICA

La sonda se deberá introducir en la perforación una vez esté limpia la misma, lo que en condiciones manuales no reviste mayor complejidad podría serlo en accionamientos a distancia puesto que la diferencia de diámetro es de 1mm.

Esto puede llevar a la realización de taladros de mayores dimensiones lo que es directamente proporcional al daño que se produciría en la fachada por es de interés encontrar el equilibrio entre diámetro de inspección mínimo necesario para inspecciones a distancia.

En este proceso la calidad de la imagen registrada a través de las cámaras comentadas en el punto nº 1 es de especial relevancia.

7. MANIPULACIÓN DE LA SONDA VIDEO-ENDOSCÓPICA

La sonda video-endoscópica general lleva incorporado un joystick con pantalla de visualización para su manejo, permitiendo a través de su gran capacidad de movimiento giros cercanos a los 180º que permiten la inspección de su entorno.

Incorpora iluminación propia y dependiendo de la exploración la sonda es flexible o rígida con visión lateral o frontal.

La longitud de la sonda habitualmente es de 3 m de longitud y el joystick-pantalla directamente conectado con la sonda. Su manejo a distancia es otro de los problemas a resolver.

8. REGISTRO DE IMÁGENES

La exploración se puede grabar tanto en imagen fija como en movimiento, medir en dimensiones reales, y guardar en formato digital.



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

Es imprescindible el manejo por operario especializado puesto que el reconocimiento de las imágenes requiere de la sensibilización a los leves cambios de tonalidad, consistencia porosidad color...etc registrados.

9. REPORTE DE LOS DATOS OBTENIDOS.

La ausencia de los datos externos hace necesario un metódico trabajo de registro de los datos tomados tanto en el proceso de exploración como en el registro final de los datos.

NOMBRE: **FOTOGRAFÍA DE BARRIDO**

T.I.03

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

DIFICULTAD DE APLICACIÓN

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

COSTE DEL INSTRUMENTAL

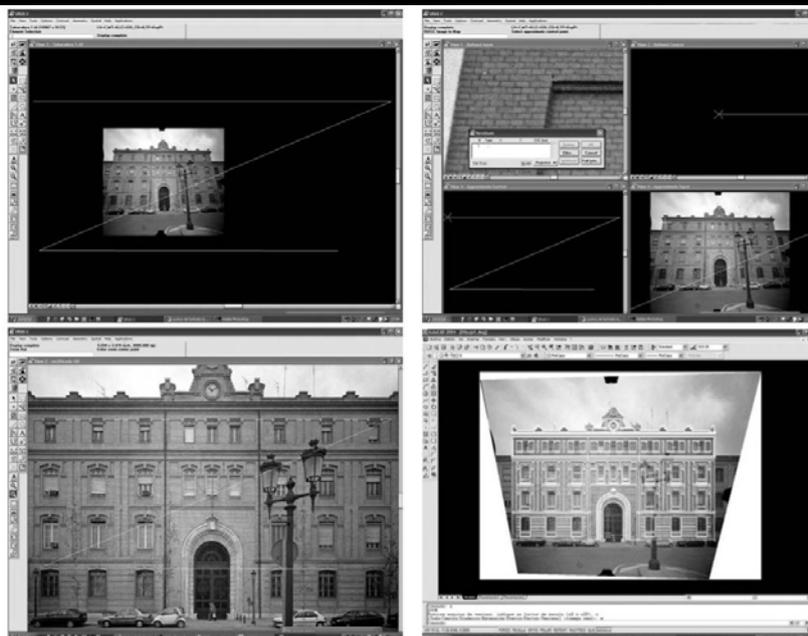
IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS

<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				

DESCRIPCIÓN:

La fotografía de barrido consiste en obtener una imagen 2d de la fachada en verdadera magnitud a partir de fotografías organizadas en retícula. Lo primero que debemos hacer es dividir la fachada en porciones correspondientes a cada encuadre, seguidamente se toman las imágenes y para su localización se deben geoposicionar 3 puntos de cada tramo de la fachada coplanaria, se finaliza la técnica mediante el procesado de las fotografías a partir de un software para obtener la verdadera magnitud.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Estación total	1	1,5	-	15 x 8 x 5	4500
Trípode	1	1	-	100 x 100 x 120	300
Cámara	1	0,3	-	10 x 6 x 4	600

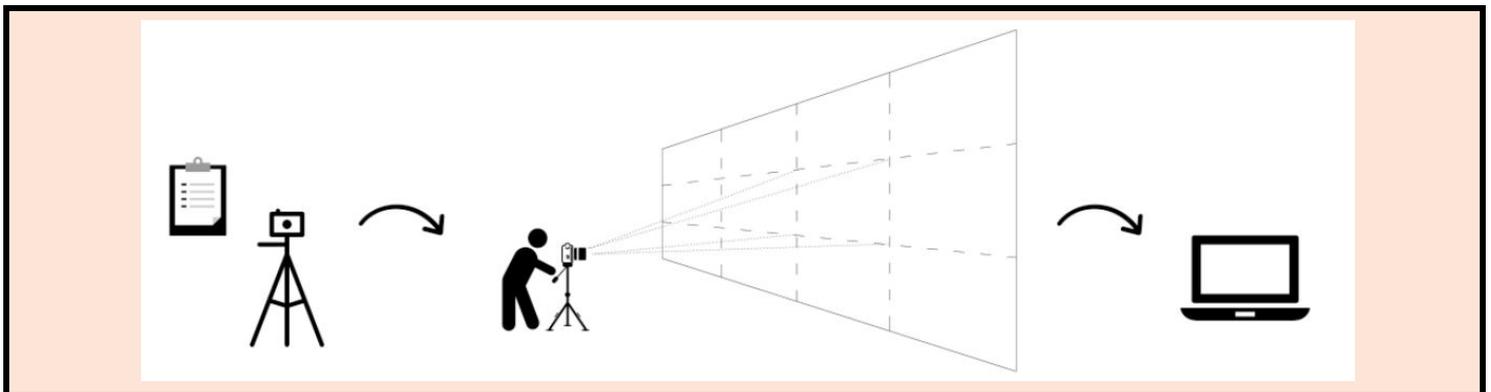
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

División de en partes de la fachada, fotografía, georeferenciación de la fachada y procesado de las imágenes.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



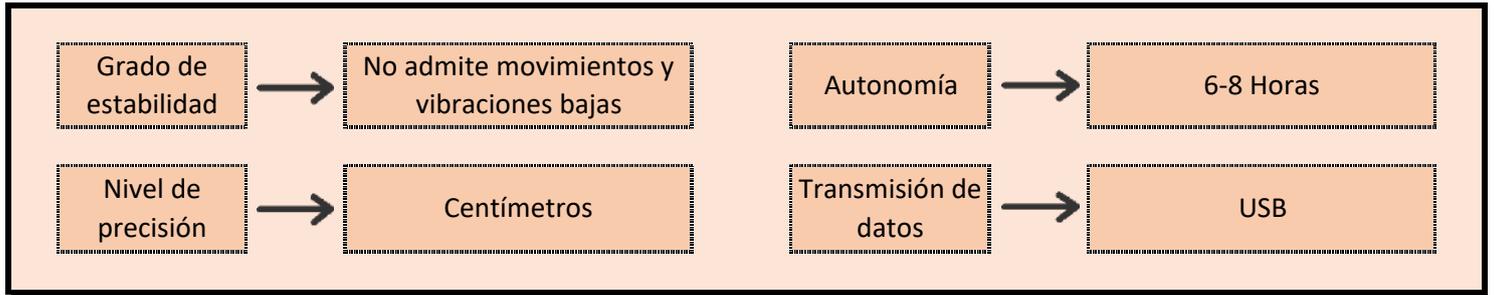
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Generación 2D del alzado fotografiado con el software adecuado.

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	<input type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Interna	<input type="text" value="300"/> [Sepación de la fachada (cm)] <input type="text"/> [Profundidad (cm)]	<input type="text" value="2 min"/> Tiempo unidad <input type="text" value="10"/> Sup. unidad(m2)
Materiales	<input type="checkbox"/> [Compatibles] <input type="checkbox"/> [Incompatibles]	<input type="text" value="Todos"/> <input type="text" value="Ninguno"/>	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Imágenes editables en verdadera magnitud y en alta definición



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

LS.H.1.1	Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
LS.H.1.2	Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
LS.H.2.1	Desgaste superficial por erosión mecánica
LS.H.3.1	Disgregación por deslavado
LS.H.3.2	Disgregación por deslavado
LS.H.3.3	Disgregación por acción del hielo
LS.H.3.4	Disgregación por recristalización de sales
LS.C 1.1	Fisuras por corrosión de las armaduras
LS.C 2.1	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.C.3.1	Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos
LS.L.1.1	Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
LS.L.1.2	Fisuras por retracción térmica por enfriamiento rápido
LS.L.1.3	Fisuras por retracción hidráulica
LS.L.1.4	Fisuras por asentamiento plástico del hormigón
LS.L.2.1	Fisuras y grietas por empujes de tierras
LS.L.2.2	Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
LS.L.3.1	Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
LS.L.4.1	Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica
LS.F.2.1	Ensuciamiento físico por depósito
LS.F.2.2	Ensuciamiento físico por lavado diferencial
LS.F.3.1	Erosión física
LS.M.1.1	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
LS.M.1.2	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
LS.M.1.3	Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
LS.M.2.1	Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
LS.M.2.2	Roturas múltiples del acabado por retracción higrotermica
LS.M.2.3	Roturas "en mapa" del acabado por retracción higrotermica
LS.M.3.1	Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa
LS.M.4.1	Erosión mecánica
LS.Q.1.1	Eflorescencia
LS.Q.1.2	Pseudo-Eflorescencia
LS.Q.1.3	Cripto-Eflorescencia
LS.Q.2.1	Organismo: Hongos
LS.Q.2.2	Organismo: Líquenes
LS.Q.2.3	Organismo: Plantas
LS.Q.2.4	Organismo: Insectos y animales
LS.Q.3.1	Oxidación
LS.Q.3.2	Corrosión
LS.Q.4.1	Erosión química: Decementación
LS.Q.4.2	Erosión química: Pátina
LS.Q.4.3	Erosión química: Costra
LS.Q.4.4	Erosión química: Alveolo



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Lentitud en el posicionamiento de las fotografías con respecto a la fachada
Dificultad de agrupación y encaje de las fotografías
Captación lenta en función de la cantidad de imágenes a tomar y sus correspondientes puntos geoposicionados
Procesado laborioso y lento por el mismo motivo

RETOS:

Captación y procesado de forma desatendida o automática, mejorando la velocidad
Integración como información gráfica y de identificación de materiales/daños en modelos BIM

FUENTES:

Documentos:

Libro: 'Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation'. N. Matthews. Denver, Colorado: Bureau of Land, 2008

Artículo: 'La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos'. P. Navarro Rodriguez, Revista de EGA , nº 20, 2012

Artículo: 'Selecting a Nondestructive Testing Method: Visual Inspection'. Matzkanin. Ammitiac Quarterly. 2006

G.

Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido: Inspección visual, técnicas acústicas, electromagnéticas y tomográficas'. I. Lombillo, E. Agudo, L. Villegas (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de

Artículo: 'Semiautomatic detection and classification of materials in historic buildings with low-cost photogrammetric equipment'. J. Sánchez, E. Quirós. Journal of Cultural Heritage, nº 25, Junio 2017

Artículo: ' Stereoscopic Photopographic Mapping'. C. Birdseye. Annals of the Association of American Geographers, 1940

Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados Unidos de América'. Berta A. de Miguel Alcalá, ETSAV, UPV, 2017

Enlaces web:

Cultural Heritage Imaging. (2015). Photogrammetry:

NOMBRE:

SONDA MAGNÉTICA

T.I.04

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

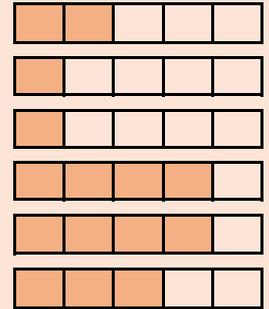
DIFICULTAD DE APLICACIÓN

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

COSTE DEL INSTRUMENTAL

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

La sonda magnética es un dispositivo empleado en la detección de materiales metálicos, como armaduras o tuberías. Con esta técnica podemos localizar, orientar y medir las barras de acero y elementos metálicos y saber la profundidad a la que se encuentran.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Sonda	1	0,4-0,6	-	10 x 8 x 5	600
Receptor	1	0,9-1,1	-	25 x 16,2 x 6,2	1000

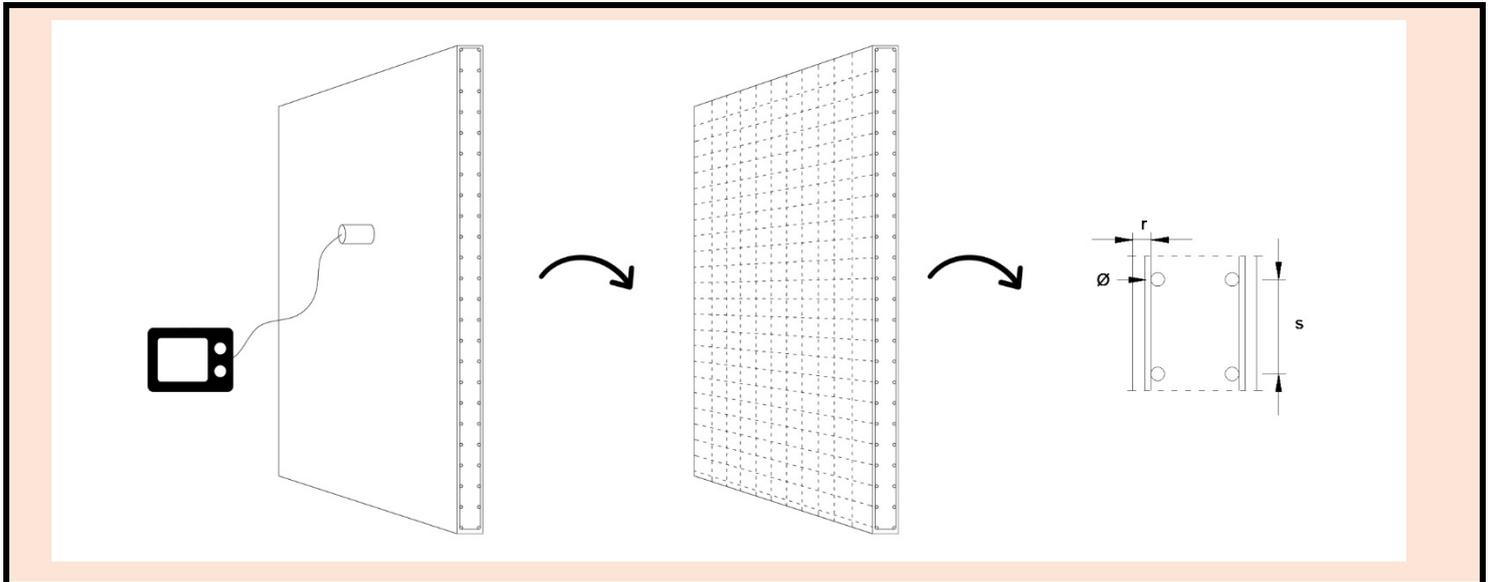
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

Para llevar a cabo esta técnica de inspección el operario debe llevar consigo el receptor y desplazar la sonda en la superficie a inspeccionar. A partir de los datos se puede conocer la disposición y el diámetro de las armaduras.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



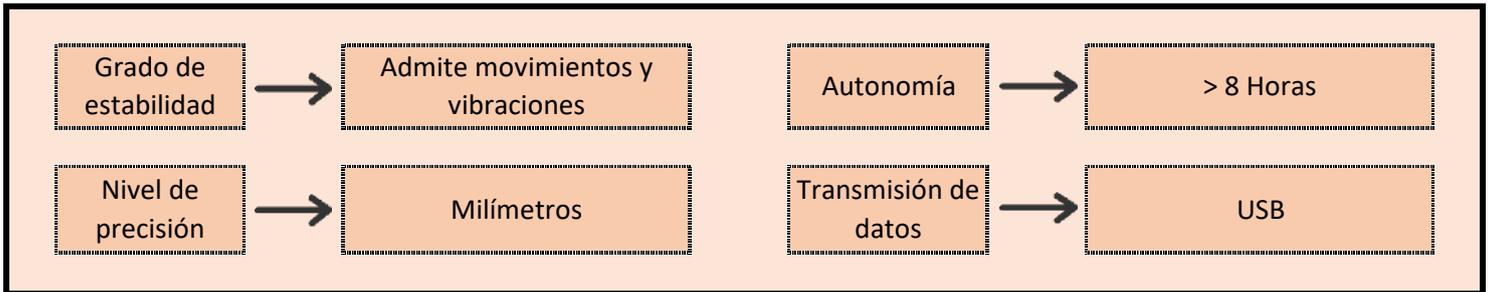
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Se debe conectar la sonda evitando el contacto con materiales metálicos, para no distorsionar su configuración. suele ser habitual realizar varias pasadas, marcando en lápiz o tiza la retícula o disposición estimada de las barras o elementos, comprobando después la estimación hecha, así como las profundidades y diámetros existentes.

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

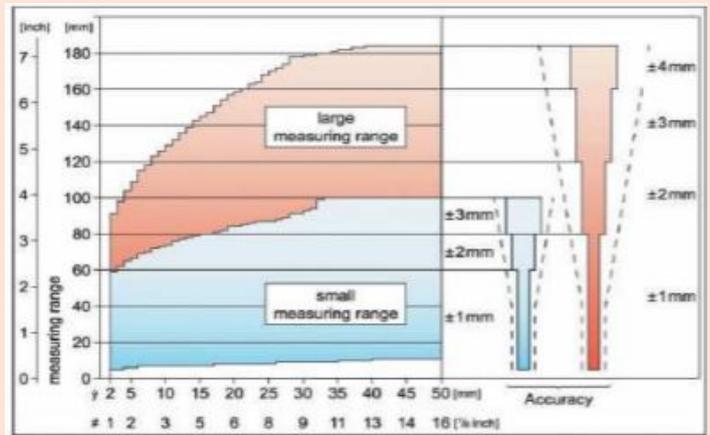
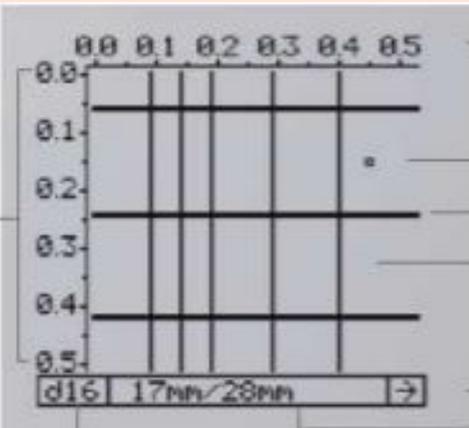
Tipos de inspección	Externa	0 [Separación de la fachada (cm)]	5 min Tiempo unidad
	Interna	[Profundidad (cm)]	1 Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Hormigón, fábrica armada, cerámica.	
	[Incompatibles]	Agua	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Los datos recogidos de la sonda magnética son datos de medidas lineales sobre el diámetro, separación y ubicación de las armaduras.



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

- LS.C 1.1 Fisuras por corrosión de las armaduras
- LS.C 2.1 Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
- LS.C.3.1 Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos
- LS.L.1.1 Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
- LS.L.4.1 Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica
- LS.Q.3.1 Oxidación
- LS.Q.3.2 Corrosión



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Se debe inspeccionar la superficie teniendo contacto con la misma.

A medida que aumenta la profundidad de análisis, disminuye la precisión y fiabilidad de los datos.

Si la densidad de elementos metálicos es muy elevada, es difícil distinguir entre ellos.

Exige una cierta experiencia de utilización y una toma de datos laboriosa en casos no tipificados

Para obtener resultados concluyentes, se debe barrer toda la superficie a inspeccionar, lo que puede ser muy costoso.

RETOS:

Cubrir mayor cantidad de superficie en menor tiempo, manteniendo la fiabilidad

Proceso susceptible de realizarse de forma desatendida (desplazamiento sonda y transmisión de datos) y remota

Conexión más directa de datos obtenidos al modelo BIM: ubicación y caracterización como propiedades de los elementos constructivos

ANEJO I

FUENTES:

Documentos:

Artículo: 'Nondestructive testing of concrete with electromagnetic and elastic waves; modeling and imaging'.
Langenberg, K., Marklein, R., Mayer, K. Cement & Concrete Composites, nº 28, 2006

Artículo: 'Nuevas técnicas en ensayos no destructivos: ACFM (Alternating Current Field Measurement'.
P.L. Fernández, DYNA-Ingeniería e Industria, 2008

Artículo: 'Las técnicas de ensayos no destructivos para el control de materiales y de estructuras de ingeniería civil'.
G. Porco, G.F. Valer Montero. IX Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales (CORENDE), 2013

Tesis Doctoral: 'Contribuciones en el área de sondas y algoritmos aplicadas a la detección de discontinuidades, metrología de distancia y clasificación de materiales con técnicas no destructivas basadas en corrientes inducidas'.
J. García Martín. Universidad de Valladolid.

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Amaia Mesanza Moraza, Máster en Geotecnologías y Arquitectura. Escuela Politécnica de Ávila. Septiembre 2011

Medida del recubrimiento de hormigón y localización de barras

Manual: 'Proceq. Swiss Solutions since 1954'

Enlaces web:

www.gisiberia.com

www.proceq.com

ANEJO II

INFORMACIÓN ADICIONAL COMPLEMENTARIA:

El método más habitual de medida del recubrimiento y de localización de armaduras es el empleo de pachómetros. Estos aparatos están basados en las diferentes propiedades electromagnéticas del acero y del hormigón que las rodea. El método más habitual de medida del recubrimiento y de localización de armaduras es el empleo de pachómetros. Estos aparatos están basados en las diferentes propiedades electromagnéticas del acero y del hormigón que las rodea. encerrada por dicho circuito. Este principio de inducción electromagnética es el que permite a los pachómetros medir los cambios en el campo magnético producidos por la presencia de las armaduras. Existen dos tipos de pachómetros: los basados en el principio de reluctancia magnética y los basados en corrientes de Foucault

NOMBRE:

TERMOHIGRÓMETRO

T.I.05

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

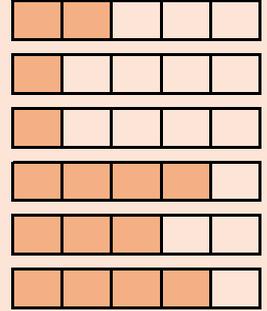
DIFICULTAD DE APLICACIÓN

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

COSTE DEL INSTRUMENTAL

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

El termohigrómetro determina la humedad relativa y la temperatura ambiental. A través de la conexión para termoelementos tipo K tiene la posibilidad de detectar la temperatura de una pared con una sonda superficial. La memoria interna del termohigrómetro a través de la tarjeta SD le permite registrar los valores de humedad y temperatura, con un libre ajuste de la cuota de medición, sea para mediciones en tiempo real o para almacenamiento datos.

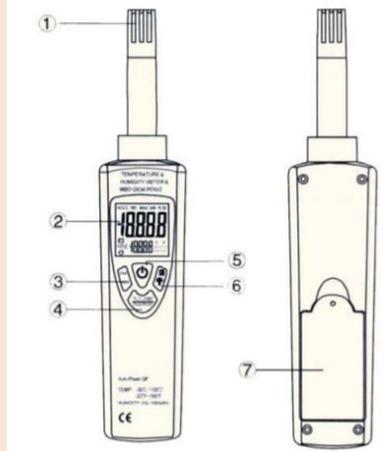
IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Termohigrómetro	1	0,5	-	17,7 x 6,8 x 4,5	200

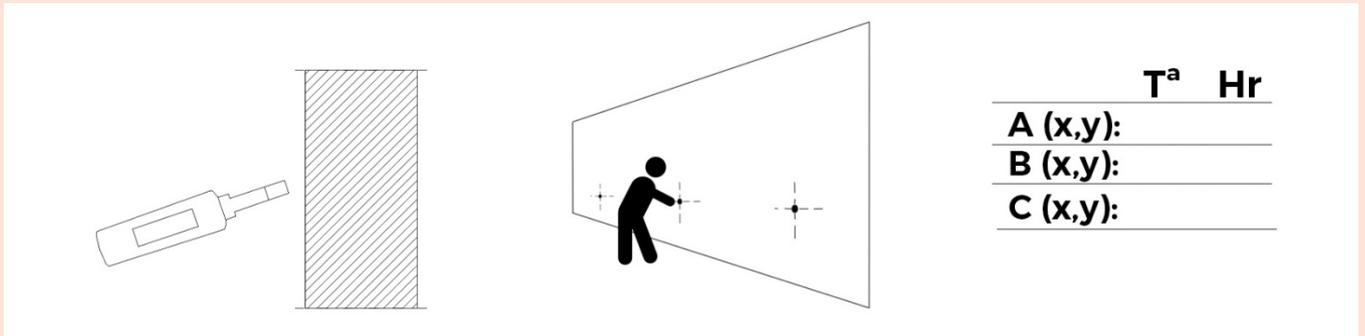
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

El termohigrómetro es la técnica mas sencilla y su uso es tan sencillo como ubicarlo en la estancia o superficie a inspeccionar y medir la temperatura, humedad relativa y otros datos que obtener del instrumento.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



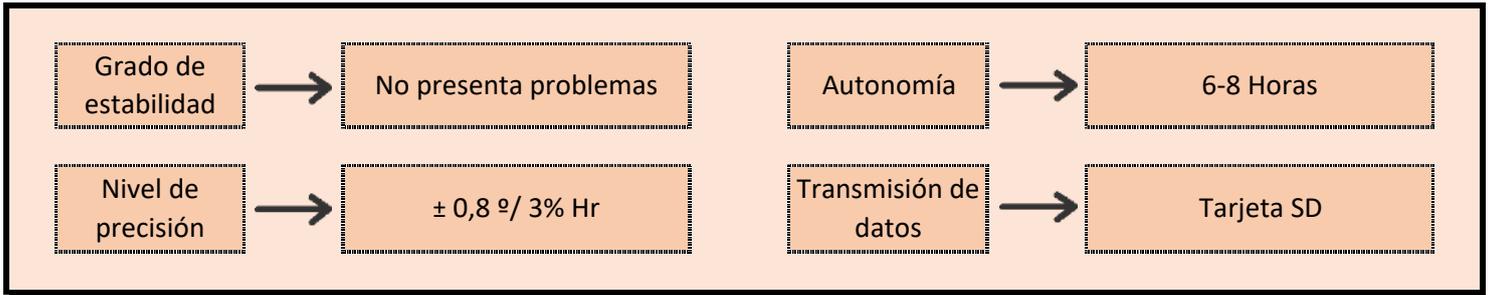
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

No tiene operaciones complementarias

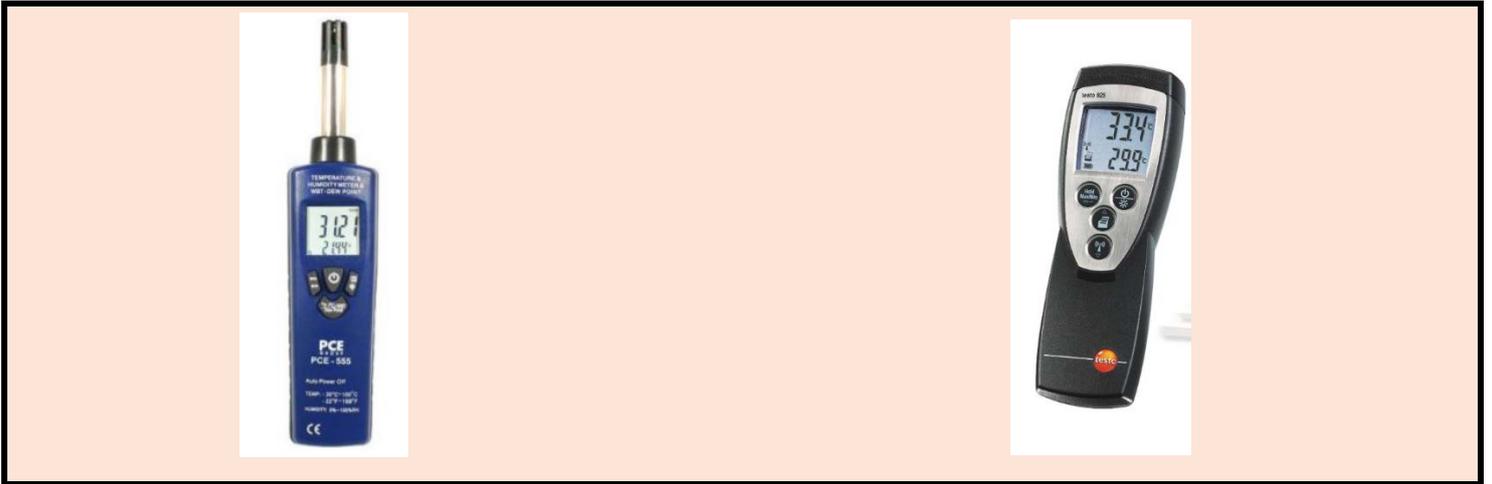
MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	<input type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Interna	0 [Sepación de la fachada (cm)] <input type="text"/> [Profundidad (cm)]	5 s Tiempo unidad Puntual Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles] [Incompatibles]	Todos Agua	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CODIGO

- LS.H 1.1 Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
- LS.H 1.2 Fisuras en mapa por ataque por sulfatos
- LS.H 3.1 Disgregación por deslavado
- LS.H 3.3 Disgregación por acción del hielo
- LS.H 3.4 Disgregación por recristalización de sales
- LS.C 1.1 Fisuras por corrosión de las armaduras
- LS.C 2.1 Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
- LS.C.3.1 Manchas de óxido por corrosión de las armaduras y/o otros elementos metálicos
- LS.F.1.1 Humedad capilar
- LS.F.1.2 Humedad por filtración
- LS.F.1.3 Humedad por condensación
- LS.F.1.4 Humedad accidental
- LS.Q.1.2 Pseudo-Eflorescencia
- LS.Q.1.3 Cripto-Eflorescencia
- LS.Q.2.1 Organismo: Hongos
- LS.Q.2.2 Organismo: Líquenes
- LS.Q.2.3 Organismo: Plantas
- LS.Q.3.1 Oxidación
- LS.Q.3.2 Corrosión
- LS.Q.4.1 Erosión química: Decementación
- LS.Q.4.2 Erosión química: Pátina
- LS.Q.4.3 Erosión química: Costra
- LS.Q.4.4 Erosión química: Alveolo



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Exige un contacto directo con la superficie en el punto que quiera analizarse, lo que será complicado en zonas de difícil acceso

RETOS:

Generación de una red de puntos de toma de temperatura y humedad en lugares o circunstancias donde la termografía no funcione o deba comprobarse

Sustitución los sensores fijos en casos de monitorización de propiedades a lo largo del tiempo

Incorporación como propiedades al modelo BIM

Medir en cualquier punto sin medios auxiliares

ANEJO I

FUNTES:

Documentos:

Manual: 'PCE instruments'

Manual: 'TESTO. Soluciones e instrumentos de medición'

Artículo: 'Metodología de inspección higrotérmica para la determinación de un factor intensidad de evaporación'

Enlaces web:

www.pce-instruments.com

www.testo.com

NOMBRE:

GEORRADAR

T.I.06

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

--	--	--	--	--

DIFICULTAD DE APLICACIÓN

--	--	--	--	--

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

--	--	--	--	--

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

--	--	--	--	--

COSTE DEL INSTRUMENTAL

--	--	--	--	--

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS

--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN:

Se trata de una técnica de inspección basada en el análisis de las señales devueltas por la propagación de pulsos electromagnéticos. La técnica GPR se ha usado como método geofísico para la detección y caracterización de suelos, con diferentes aplicaciones como la geología somera, la hidrogeología, la arqueología y también para la detección de servicios en el planeamiento y ejecución de proyectos urbanos así como se adaptó a la inspección de elementos constructivos superficiales en edificios y construcciones.

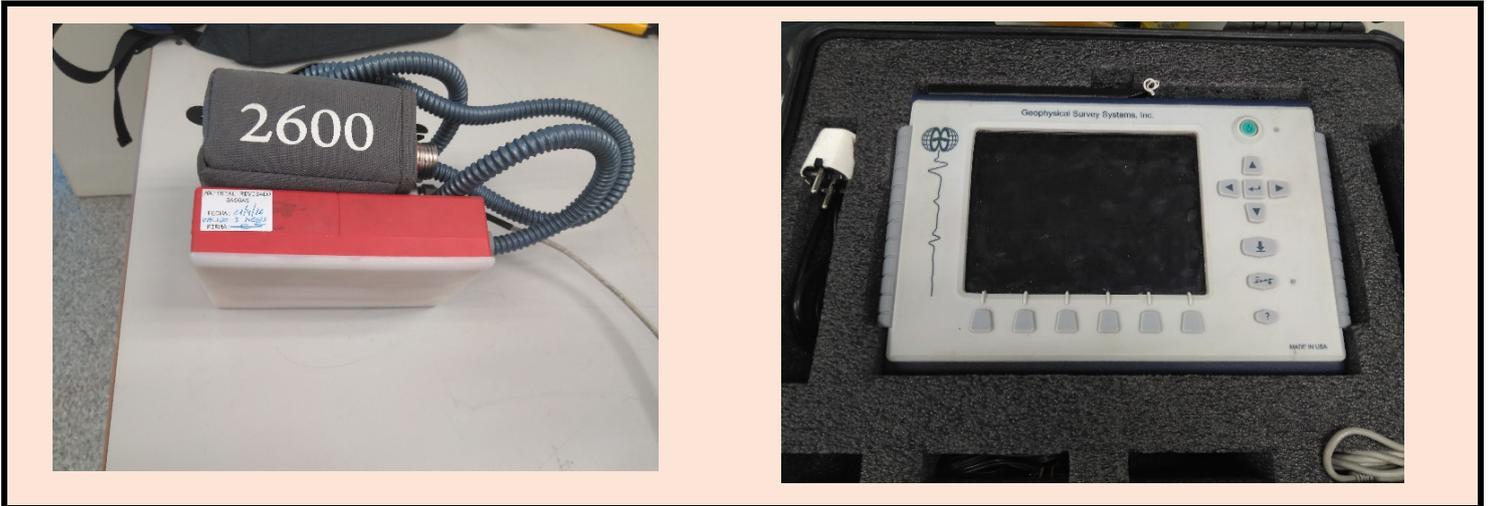
IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Antena (1600 MHz)	1	1,8	-	3,8 x 10 x 16,5	
Acondicionador	1	0,4	-		
Ordenador	1	1 y 4	-	31,5 x 22 x 10,5	

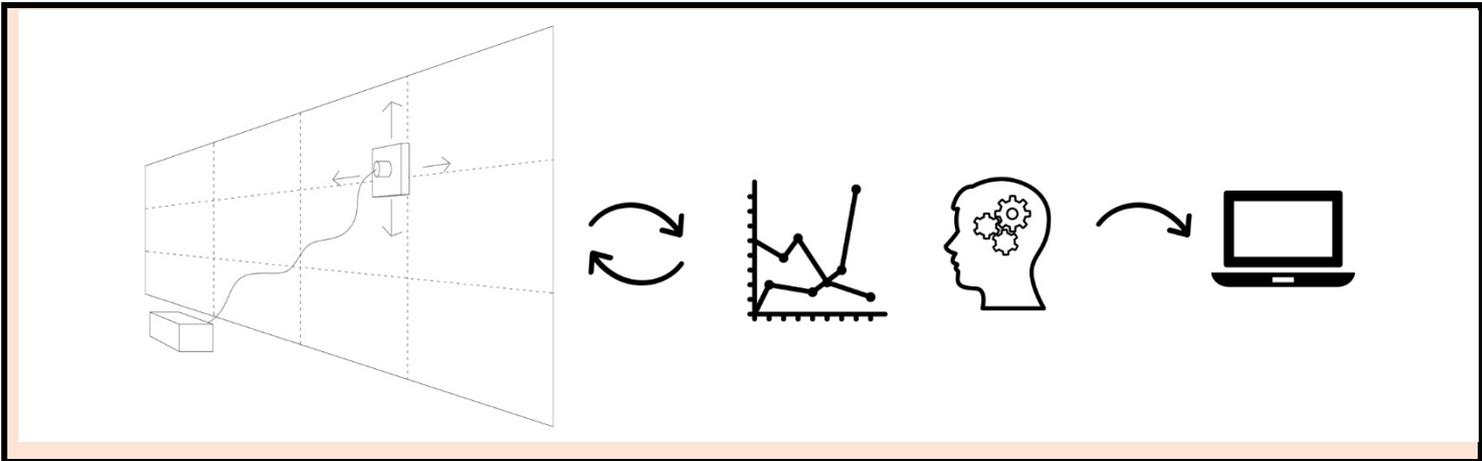
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

Para llevar a cabo esta técnica se debe trasladar la antena por el paramento a inspeccionar, sin necesidad de tener contacto, pero a una distancia de 5-10 cm, y ésta transmite los datos a un ordenador que el operario debe interpretar para ir modificando su trayectoria.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



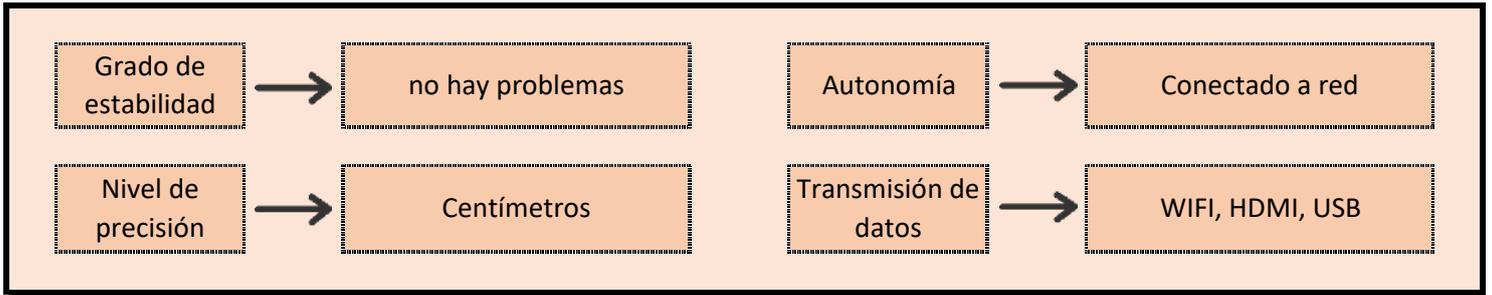
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

No hay operaciones complementarias

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

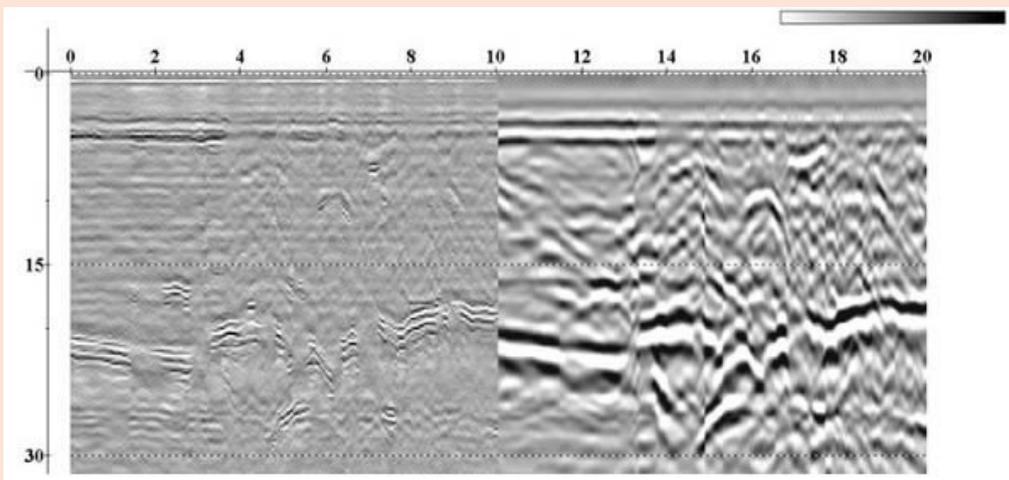
Tipos de inspección	Externa	0-10 [Sepación de la fachada (cm)]	30 s [Tiempo unidad]
	Interna	[Profundidad (cm)]	1 [Sup. unidad(m2)]
Materiales	[Compatibles]	Todos	
	[Incompatibles]	Ninguno	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Los datos que se obtienen de esta técnica son gráficos con las distintas respuestas de los materiales sobre los que la antena emita una señal.



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

- LS.C.2.1 Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
- LS.L.3.1 Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
- LS.M.1.1 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- LS.M.1.2 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
- LS.M.1.3 Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
- LS.M.2.1 Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
- LS.M.3.1 Desprendimientos de acabados por movimientos diferenciales
- LS.M.3.2 Desprendimientos de acabados por fisura previa



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Muy compleja interpretación de los datos, requiere amplia formación y experiencia y saber bien lo que se va buscando

Requiere barridos secuenciales y exhaustivos de la superficie completa²

Para profundidades y precisiones altas, elemento pesados y aparatosos, con necesidad de conexión entre sí por cable

RETOS:

Independizar captación de almacenamiento y revisión de información recibida

Reducir pesos y tamaños manteniendo prestaciones

Monitorizar el análisis de la superficie de inspección

Mejorar interpretabilidad de los datos obtenidos

FUENTES:

Documentos:

Libro: ' Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido' Santander (libro de ponencias de la 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido. Noviembre

Artículo: 'Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos'. V. Pellicer Llopis. ETSAV. UPV. 2012

Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido'. I. Lombillo, I. Villegas, D. Silió, C. Hoppe, (GTED-UC. Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria). Revista Internacional Construlink, nº 16, Noviembre 2008

Artículo: 'Evaluación no destructiva del patrimonio construido: Inspección visual, técnicas acústicas, electromagnéticas y tomográficas'. I. Lombillo, E. Agudo, L. Villegas (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria), AEND. Asociación de Ensayos No Destructivos

Artículo: 'Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage'.

A. Moropoulou, K. C. Labropoulos, E. T. Delegou, M. Karoglou, A. Bakolas, (National Technical University of Atenas, School of Chemical Engineering). Construction and Building Materials, nº 48, 2013

Artículo: 'Some examples of GPR prospecting for monitoring of the monumental heritage'

N. Marsini, R. Persico, E. Rizzo. Journal of Geophysics and Engineering, nº 7, 2010

Artículo: 'Application of sonic and radar tests on the piers and walls of the Cathedral of Noto'

L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, M. Forde. Construction and Building Materials, nº 17, 2003

Artículo: 'Non-destructive building investigation through analysis of GPR signal by S-transform'.

Szymczyk, P., Szymczyk, M. Automation in construction, nº 55, 2015

Artículo: ' Improving the interpretability of 3D GPR data using target-specific attributes: application to tomb detection'. Boniger, U., & Tronicke, J. Journal of Archaeological Science, nº 37, 2010

Artículo: ' GPR-History, Trends, and Future Developments'. A. Annan. Subsurface Sensing Technologies and Applications, 2002

Ponencia Congreso: 'Análisis de los elementos constructivos de la iglesia de San Nicolás mediante la técnica del georadar' Ignacio Bosch Roig, Jorge Gosalbez Castillo, M. Pilar Roig Picazo

Ponencia Congreso: 'Utilización de la técnica de georadar sin contacto para el análisis de elementos constructivos de la iglesia de San Nicolás de Valencia'. Jorge Gosalbez Castillo, Ignacio Bosch Roig Congreso Euro-Americano de Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio (Formerly: Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio (REHABEND)), Burgos, 27 Mayo, 2016

Artículo: 'The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy'

L. Binda, L. Zanzi, M. Lualdi, P. Condoleo, Ndt & e International, Elsevier, 2005

Artículo: 'Infrared thermography and georadar techniques applied to the "Sala delle Nicchie"(Niches Hall) of Palazzo Pitti, Florence (Italy)' S. Imposa, Journal of Cultural Heritage, Elsevier, 2010

Artículo: 'Detecting voids in masonry by cooperatively inverting P-wave and georadar traveltimes'

H. Paasche, A. Wendrich, J. Tronicke, Journal of Geophysics, 2008

Artículo: 'Semiautomated georadar data acquisition in three dimensions'

F. Lehmann, AG Green - Geophysics, 1999

Tesis Doctoral: 'Aplicación de la técnica Georadar para la rehabilitación de patrimonio edificado'

Nuno Ricardo Silva Barraca, Universidad de Aveiro, 2013

Tesis Doctoral: 'Evaluación de la técnica no destructiva del georadar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera estructural' Isabel Rodriguez Abad. Universitat Politècnica De València. Departamento De Ingeniería Cartográfica Geodesia Y Fotogrametría - Departament D'Enginyeria Cartogràfica, Geodèsia. Fotogrametría, 2011

Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados Unidos de América'. Berta A. de Miguel Alcalá, ETSAV, UPV, 2017

TFM: ' Evaluación de la idoneidad de la termografía y el georadar para caracterizar materiales de construcción'.

Javier Zahonero Simó, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, U.P.V., 2015

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Amaia Mesanza Moraza, Máster en Geotecnologías y Arquitectura. Escuela Politécnica de Ávila. Septiembre 2011

PFC: 'Georadar aplicado a la arqueología: El Palacio Real de Valencia' Raúl Broseta Gutiérrez. Escola Técnica Superior d'Edificació de Barcelona, Junio 2010

PFC: 'Uso del georadar como herramienta para la ubicación de utilidades y vacíos en zonas urbanas y aplicación de los perfiles de resistividad y polarización inducida en prospección minera' Richard Anselmi Peres Roa. Universidad Simón Bolívar, Ingeniería Geofísica, Febrero 2007

Enlaces web:

Proyecto de I+D+i: 'Diseño y desarrollo de un sistema de representación gráfica 3D de servicios subterráneos,

<http://www.geophysical.com/sir3000.htm>

<http://idsgeoradar.com/products/ground-penetrating-radar/aladdin>

NOMBRE:

ESCANEO LÁSER

T.I.07

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

DIFICULTAD DE APLICACIÓN

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

COSTE DEL INSTRUMENTAL

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS

<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>				

DESCRIPCIÓN:

El escáner láser es un instrumento que realiza mediciones a través de la emisión y recepción de haces de luces hacia los objetos a analizar. El escáner es capaz de enviar un millón de puntos por segundo, lo que hace optimizar la medición y construcción virtual del objeto a través de una nube de puntos digital tridimensional.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Escaner Láser 3D	1	4,2	25	23 x 18,3 x 10,3	25000

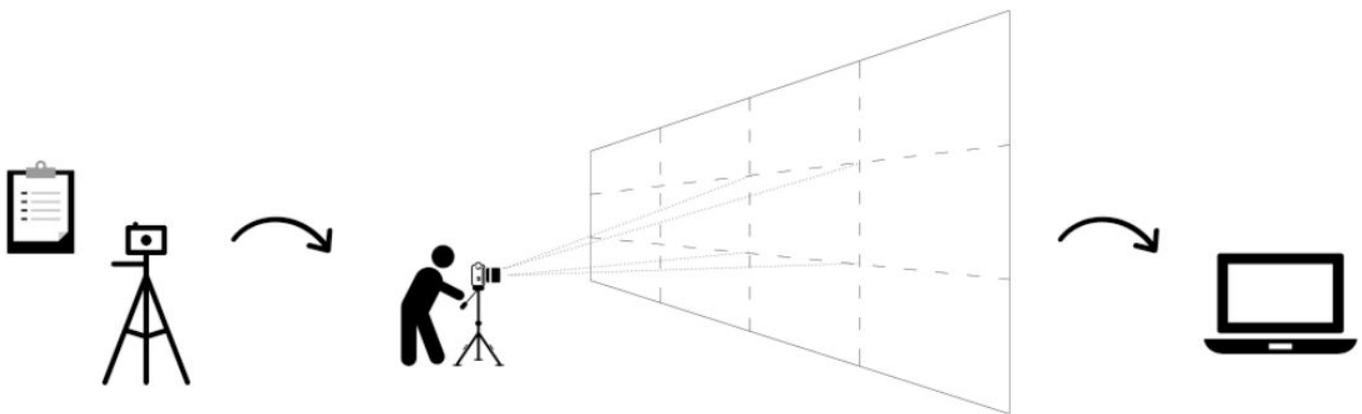
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

Se ubica el escáner en la posición de la toma de datos, y se replantea la fachada a inspeccionar a través de una partición ficticia llevada a cabo apoyado en el uso de pegatinas o esferas que se ubican en la pared para dividirla, una vez escaneado un tramo se repite el proceso en toda la fachada. Generando un nube de puntos que nos permite grafiar un modelo 3D para realizar un modelo BIM.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Previo al escaneado de la superficie a inspeccionar se necesita replantear los puntos donde se ubicará el escaner laser, además de las divisiones de las fachadas mediante pegatinas para el posterior empalme de los distintos escaneos.

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

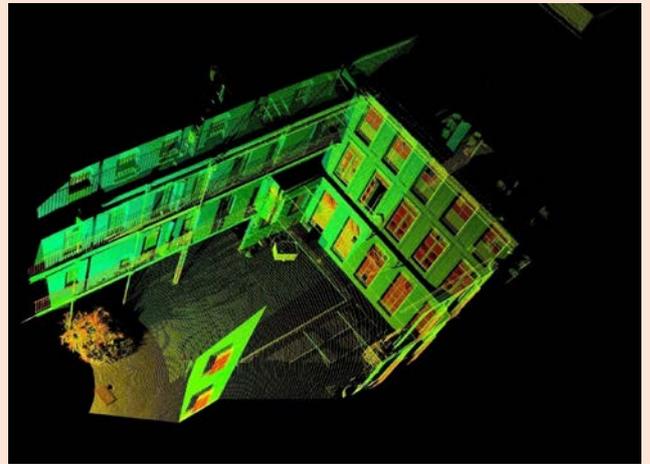
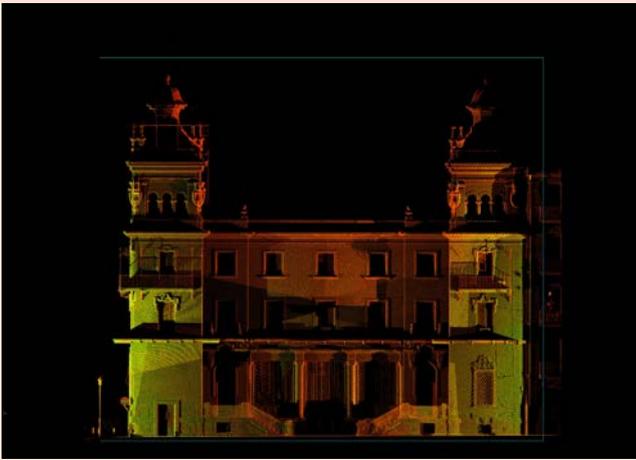
Tipos de inspección	Externa	100 [Sepación de la fachada (cm)]	2-3 m. Tiempo unidad
	Interna	[Profundidad (cm)]	50 Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Casi todos	
	[Incompatibles]	Espejos, elementos casi negros	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN

Grado de estabilidad	→	No admite movimientos y vibraciones	Autonomía	→	3-4 Horas
Nivel de precisión	→	1-6 mm	Transmisión de datos	→	USB 3.0

TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

El escaneado da como resultado un nube de puntos tridimensional que forma la geometría del objeto escaneado.



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

LS.H.1.1	Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
LS.H.1.2	Fisuras en mapa por sulfatos
LS.H.2.1	Desgaste superficial por erosión mecánica
LS.H.3.1	Disgregación por deslavado
LS.H.3.2	Disgregación por ataque ácido
LS.H.3.3	Disgregación por acción del hielo
LS.H.3.4	Disgregación por arecristalización de sales
LS.C.1.1	Fisuras por corrosión de las armaduras
LS.C.2.1	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.L.1.1	Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
LS.L.1.2	Fisuras por retracción térmica por enfriamiento rápido
LS.L.1.3	Fisuras por retracción hidráulica
LS.L.1.4	Fisuras por asentamiento plástico del hormigón
LS.L.2.1	Fisuras y grietas por empujes de tierras
LS.L.2.2	Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
LS.L.3.1	Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
LS.L.4.1	Armaduras vistas o desplazadas respecto de su disposición teórica
LS.F.3.1	Erosión física
LS.M.1.1	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
LS.M.1.2	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
LS.M.1.3	Roturas de los paños de fachada por asientos de la estructura
LS.M.2.1	Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
LS.M.2.2	Roturas múltiples del acabado por retracción higrotérmica
LS.M.2.3	Roturas "en mapa" del acabado por retracción hidráulica
LS.M.3.1	Desprendimiento de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa
LS.M.4.1	Erosión mecánica



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Necesita de un sistema manual que se aplique sobre la fachada para ensamblar los distintos escaneos en el procesado digital.

Las vibraciones pequeñas afectan a la medición

La precisión significa una elevado coste de los materiales

RETOS:

Optimizar el tiempo empleado para los 3 procesos, replanteo y ubicación, escaneado y empalme. Para utilizar los puntos mínimos obteniendo el máximo de información.

Los retos relacionados con evitar la presencia de obstáculos también son pertinentes aquí.

Conseguir la estabilidad necesaria en posiciones sin contacto con el suelo

ANEJO I

FUENTES:

Documentos:

Artículo: 'Aplicaciones de la digitalización tridimensional (escaner laser 3D) en la producción actual de levantamientos arquitectónicos '. I. Boscg Reig, J. Herraez Boquera, P. Navarro Esteve (Grupo IRP. UPV), Arche 2006

Artículo: 'Aplicaciones del Láser Scanner a la ingeniería civil' J. Herraez Boquera, J.L. Denia Ros, E. M. García García, P. Navarro Esteve (Grupo IRP. UPV), 2012

Artículo: 'Time transcendence, metadata and future utilization in 3D models of point clouds for heritage elements'. A. Rodriguez Miranda, A. Lopetegui Galarraga, J.M. Valle Melón, Anonymous, Burdeos, 2008

Ponencia congreso: 'Towards a standard specification for terrestrial lase scanning of cultural heritage'. D. Barber, J. Mills, P. Bryan. 19th Symposium of CIPA, 2003

Ponencia congreso: 'Investigating lase escaner accuracy'. W. Boehler, A. Marbs. 19th Symposium of CIPA, 2003

Ponencia congreso: '3D scanning instruments'. W. Boehler, A. Marbs. CIPA, Heritage Documentation International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, 2002

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Amaia Mesanza Moraza, Máster en Geotecnologías y Arquitectura. Escuela Politécnica de Ávila. Septiembre 2011

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Amaia Mesanza Moraza, Máster en Geotecnologías y Arquitectura. Escuela Politécnica de Ávila. Septiembre 2011

Manual: '3D Laser scannig for Heritage. Advide and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture'. English Heritage, 2007

Aplicaciones del equipo de láser en la generación de cartografía para proyecto de restauración en el instituto de Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia.

Enlaces web:

www.faro.com

www.leica-geosystems.com

ANEJO II

INFORMACIÓN ADICIONAL COMPLEMENTARIA:

La palabra LASER es un acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación) y es un dispositivo que utiliza un efecto que tienen algunos cristales de emisión de luz, para generar un haz de luz coherente . Las propiedades fundamentales para nuestra técnica es que la frecuencia emitida es única (monocromática) y la onda emitida es coherente. Hace ya algunos años que por diversos procedimientos se consiguió modular en amplitud la onda emitida, por lo que la emisión de láser puede transportar otra señal (señal de modulación).La palabra LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging), es una tecnología que permite determinar la distancia a un objeto utilizando un emisor láser. En general, la tecnología LIDAR tiene aplicación siempre que queramos medir una distancia.

Definimos como albedo la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide. Las superficies claras tienen valores de albedo mayores que las oscuras. El albedo medio de la Tierra según la enciclopedia WIKIPEDIA es de 30-32%. El valor del albedo

que permite trabajar a cada instrumento es importante ya que hay instrumentos de láser que permiten trabajar con albedos muy pequeños (albedo del 10% significa objetos muy oscuros-negros y absorbentes de esa energía), y hay otros que solo permiten trabajar con albedos muy altos (albedos cercanos a 100% correspondientes a objetos fundamentalmente blancos).

tendremos que ampliar la clasificación, ya que se diseñan equipos que utilizan en la medición de distancias dos técnicas distintas:

a.- Tiempo de vuelo: Se emite un spot de láser que tras reflejarse en el objeto regresa una porción de la energía emitida al detector. En este se determina con precisión el tiempo transcurrido desde la emisión hasta la recepción. La distancia invertida en el recorrido de ida y vuelta se puede calcular si conocemos la velocidad de la luz en el medio en el que se trasmite: $d=t*c$

Siendo: d distancia recorrida.

t tiempo transcurrido.

c velocidad de la luz en el medio.

La precisión del resultado pues dependerá de la precisión en la medición del tiempo transcurrido, y este dependerá de la electrónica del instrumento y del tamaño del spot. Así pues para tener una precisión en la distancia de 3 mm. es necesario poder medir el tiempo con precisión de 10-11 segundos. En el lateral podemos ver un instrumento (SCANSTATION 2 de LEICA), que utiliza este principio en la medición de distancias.

b.- Diferencia de fase: Transportado con la emisión de Laser se emite una onda sinusoidal continua que tras reflejarse en el objeto regresa hasta el receptor. Tras la recepción de la señal se compara la onda emitida con la recibida, y se obtiene la diferencia de fase entre ambas. Si se conoce la longitud de onda (λ) del láser emitido (en el medio que atraviesa), y se sabe que una onda completa corresponde a una diferencia de fase de 2π radianes, la longitud recorrida en la ida y vuelta podrá obtenerse con la expresión: $d=\lambda*\Delta\phi/2\pi$

Siendo: d distancia recorrida en ida y vuelta.

λ longitud de onda.

$\Delta\Phi$ diferencia de fase.

Este es el método más ampliamente utilizado en los instrumentos topográficos de medición y la precisión del resultado depende de la exactitud obtenida en la determinación de la diferencia de fase. Esta es mucho más sencilla de obtener que el tiempo de vuelo, por lo que el principio usado en estos instrumentos permitiría obtener mayor exactitud en los resultados. Sin embargo para obtener una buena onda reflejada y poder comparar su fase con la onda emitida es necesario que la onda tenga una energía elevada, por lo que es necesaria la emisión de mucha energía y/o que el objeto a medir se encuentre cerca. Los instrumentos de este tipo tienen en general menor alcance y mayor precisión. En el lateral derecho vemos un instrumento (HDS-6000), de la misma firma comercial anterior (LEICA) y que utiliza este procedimiento para la obtención de las distancias. El montaje en general de un instrumento de láser se basa en la medición de la distancia a cualquier punto del espacio sabiendo la dirección en la que se encuentra ese punto, por lo que es necesario montar el emisor-receptor de láser en un sistema cardan en el que podamos controlar en cualquier momento la posición de cualquier eje

NOMBRE:

IMPACTO ECO

T.I.08

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR



DIFICULTAD DE APLICACIÓN



COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS



COSTE DEL INSTRUMENTAL



IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

El impacto eco consiste en la detección localizada de defectos como delaminaciones, juntas, fisuras, grietas, coqueras, concentraciones de burbujas, desuniones en superficies de contacto, etc., accediendo por una sola cara a través de ondas sonoras con mediciones en el material, el cual es golpeado con una determinada fuerza y frecuencia.

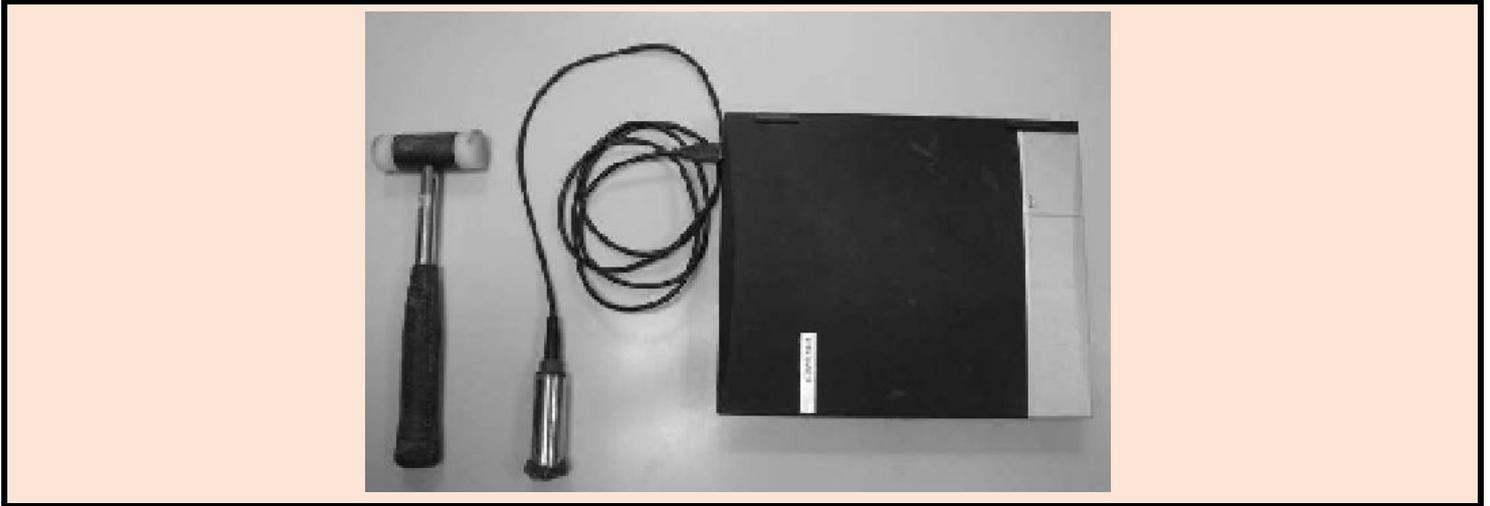
IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Acelerómetros	2	0	-	1,5 x 1,5 x 2	1000-2000
Receptor	1	0,60	-	10 x 12 x 1	1000

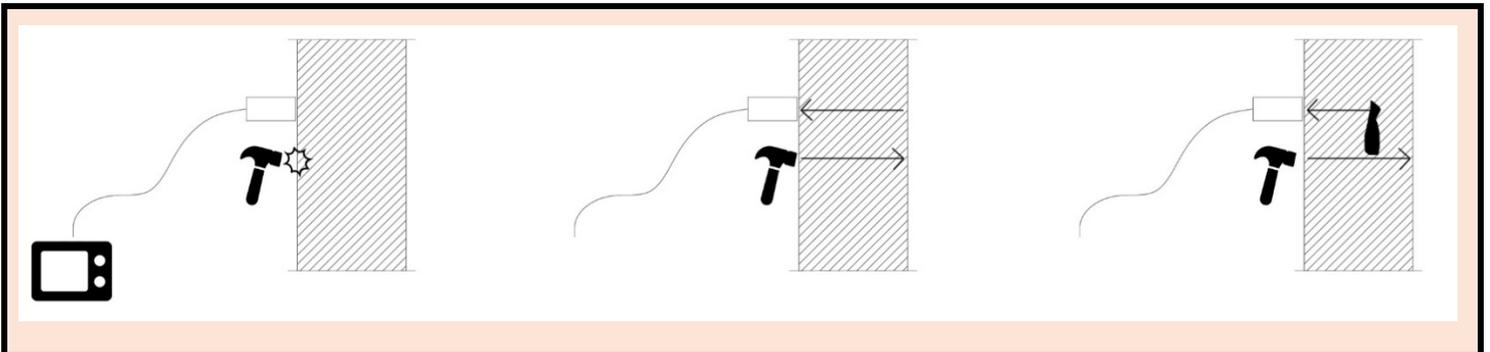
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

El proceso para llevar a cabo el impacto eco es la colocación de distintos acelerómetros en puntos concretos del material a reconocer, después se golpea el material con una fuerza y posición determinada, para seguidamente medir las ondas generadas a través de un receptor.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



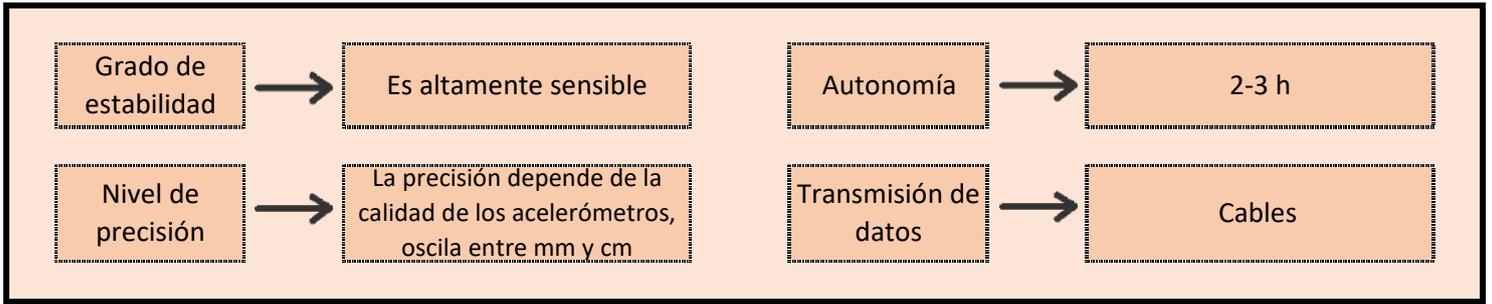
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

No son necesarias

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

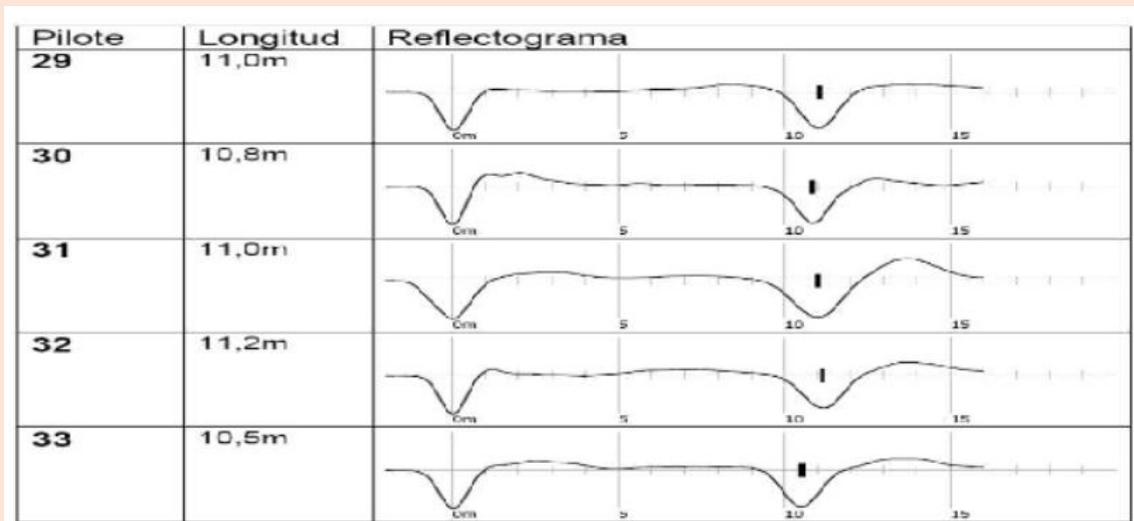
Tipos de inspección	Externa	0 [Sepación de la fachada (cm)]	2 min [Tiempo unidad]
	Interna	[Profundidad (cm)]	Puntual [Sup. unidad(m2)]
Materiales	[Compatibles]	Hormigón, fábrica	
	[Incompatibles]	Plásticos	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Los datos obtenidos son gráficos donde aparecen las longitudes de onda y la distancia.



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

- LS.C.2.1 Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
- LS.L.3.1 Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
- LS.M.1.1 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- LS.M.1.2 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
- LS.M.1.3 Roturas de los paños de fachada por asentos de la estructura
- LS.M.3.1 Desprendimiento de acabados por movimientos diferenciales
- LS.M.3.2 Desprendimientos de acabados por fisura previa

LIMITACIONES:

Proceso de aplicación fundamentalmente manual, que requiere al operario en contacto físico con el punto de inspección

El desgaste de los acelerómetros es grande

Es difícil comprobar la fuerza aplicada al hacerse de forma manual o semimanual

La interpretación de datos exige experiencia y formación elevadas

Su aplicación puntual y muy localizada hace que el rendimiento sea muy bajo para grandes superficies a inspeccionar: lento y laborioso

RETOS:

Proceso de aplicación no dependiente de la pericia del operario

Interpretación de datos simplificada y más directa, con resultados inmediatos para poder tomar decisiones de inspección adicional o no

Mejorar el rendimiento para superficies grandes a inspeccionar

ANEJO I

FUENTES:

Documentos:

Libro: 'Impact-Echo. Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry'.

Artículo: 'Impact Echo Method'. Carino, N., & Sansalone, M. Concrete International, 1998

Artículo: 'The impact-echo method: an overview'.

Artículo: 'Impact-Echo Testing'. C. Henriksen. Concrete International, volumen 17, nº 5, 1995

Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados

Tesis Doctoral: 'Evaluación del coeficiente de seguridad del sostenimiento de galerías y túneles en función de su

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Enlaces web:

www.intemac.es

Instrumentos de Impact Echo: www.impact-echo.com/

ANEJO II

INFORMACIÓN ADICIONAL COMPLEMENTARIA:

El impacto-eco es un método de ensayo no destructivo para el estudio y evaluación de hormigón y mampostería, basado en el uso de ondas de esfuerzo, generadas en un impacto (golpe), que propagan por el interior de una estructura y son reflejadas por defectos o superficies externas. El impacto-eco es un método de ensayo que se aplica para determinar la localización y extensión de defectos tales como fisuras, grietas, coqueas, concentraciones de burbujas y desuniones en superficies de contacto, estructuras de hormigón armado y postesado. Suministra de forma precisa una medida del espesor de losas de hormigón y localiza hurcos en estas y pavimentos. También puede ser utilizado para determinar espesores o localizar fracturas, huecos y otros defectos en estructuras de mampostería donde los ladrillos o bloques están unidos con morteros y cementos.

Un pequeño golpe, o impacto mecánico generado sobre la superficie del hormigón o mampostería por una pequeña bola de acero, produce ondas de esfuerzo de baja frecuencia (1 a 60 KHz) que se propagan en la estructura y son reflejadas por defectos y/o superficies externas. La longitud de onda de estas ondas de esfuerzo varía entre 50 mm y 200 mm, mucho mayores que las heterogeneidades naturales del hormigón, y estas se propagan a través del hormigón como si este fuese un medio elástico homogéneo. La atenuación se debe principalmente a la propagación (crecimiento) del frente de ondas esféricas. Los desplazamientos superficiales causados por la llegada de las ondas reflejadas a la superficie de impacto son captadas por un transductor, localizado adyacente al impacto, que produce una señal proporcional al desplazamiento. La señal resultante voltaje-tiempo es digitalizada y transferida a la memoria de un ordenador, donde es transformada matemáticamente a un espectro de amplitud vs. frecuencia. Ambos, la forma de onda y el espectro, son mostradas en la pantalla del ordenador.

NOMBRE:

ULTRASONIDO

T.I.09

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR

--	--	--	--	--	--

DIFICULTAD DE APLICACIÓN

--	--	--	--	--	--

COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

--	--	--	--	--	--

FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS

--	--	--	--	--	--

COSTE DEL INSTRUMENTAL

--	--	--	--	--	--

IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS

--	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN:

La generación de las ondas ultrasónicas se basa en que una unidad de pulso envía una señal eléctrica al transductor, el cual mediante un cristal piezoeléctrico interno genera una onda de tensión de baja energía y alta frecuencia. A su vez los transductores o palpadores han de ser acoplados a la superficie de la fábrica mediante medios acoplantes para transmitir el máximo de energía posible. La onda viaja entonces a través de la sección, siendo captada por el transductor receptor, que puede situarse en varias posiciones en función del método empleado, el cual a su vez convierte la energía de la onda en energía eléctrica.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Emisor o transductor	1	0,5	-	15 x 15 x 5	3000
Receptor	1	0,5	-	15 x 15 x 5	3000
Polos	2	0,1	-		4000

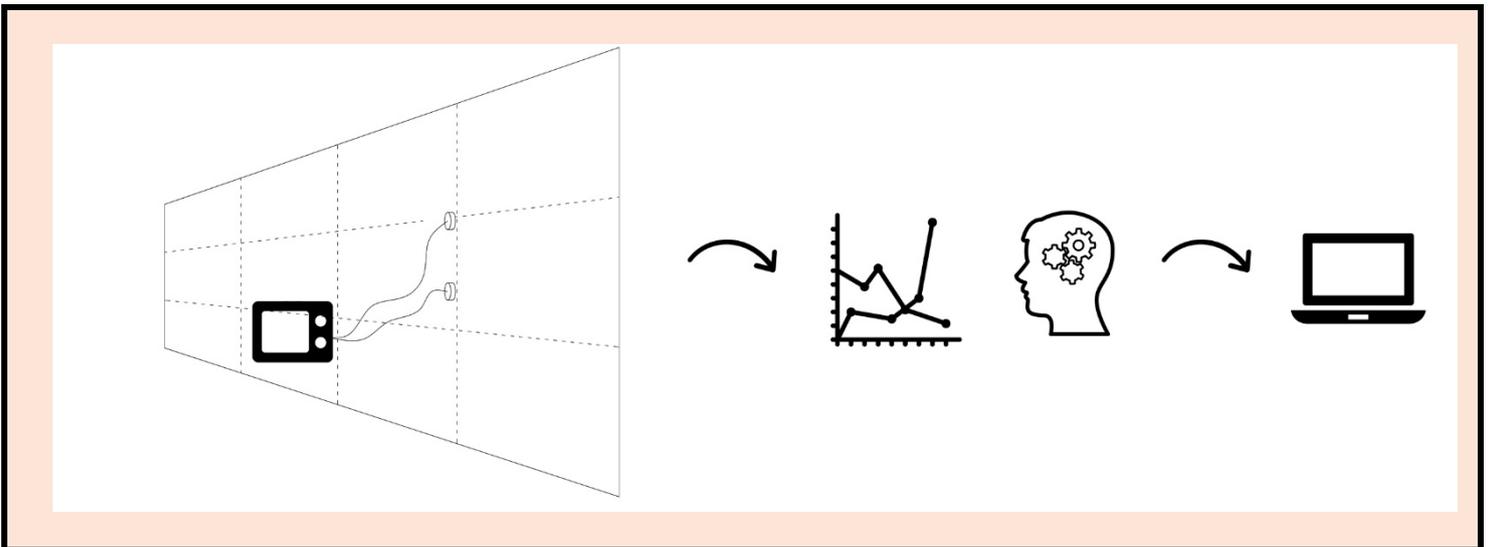
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

Se colocan dos polos, sobre la superficie a inspeccionar, y mediante un transductor se emite una onda con parámetros conocidos. Al pasar por el material, dicha onda modifica su frecuencia y longitud de onda y estos cambios son recibidos por el segundo polo metálico que manda los datos a un receptor.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Para llevar a cabo la tecnica se precisa de un gel que ayuda al uso de los polos.

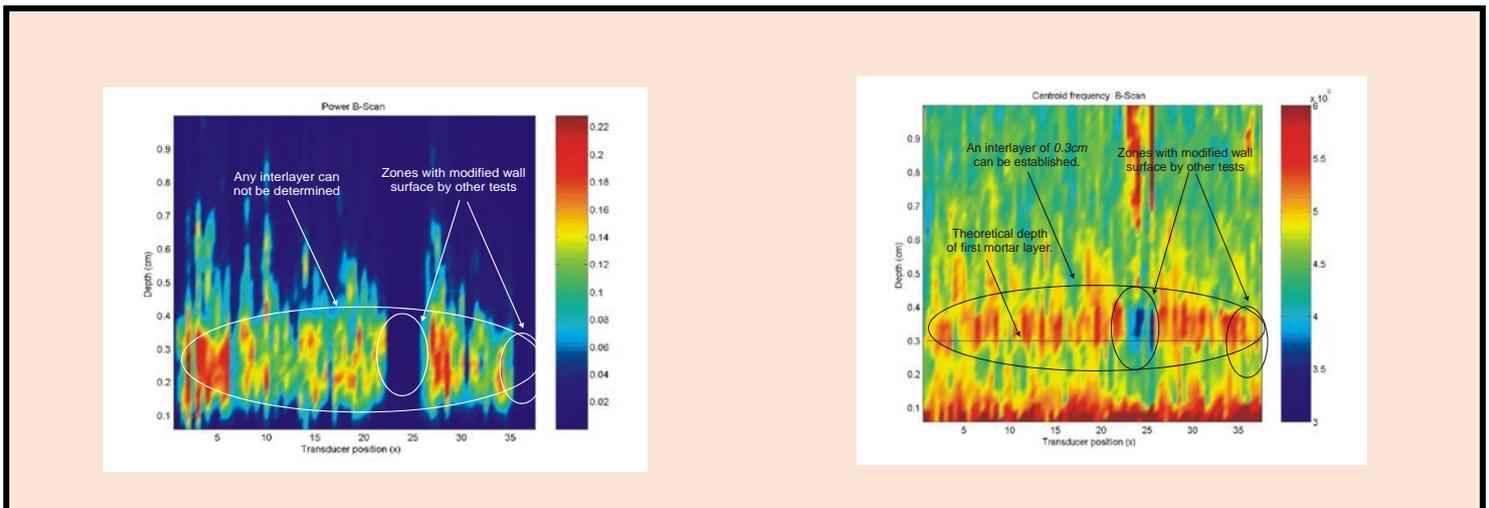
MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	Externa	0 [Sepación de la fachada (cm)]	5 min Tiempo unidad
	Interna	[Profundidad (cm)]	Puntuación Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Todos	
	[Incompatibles]	Aire	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN

Grado de estabilidad	→	Muy sensible	Autonomía	→	2 h
Nivel de precisión	→	milímetros	Transmisión de datos	→	Cable

TIPO DE DATOS RECOGIDOS:



LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO	
LS.C.2.1	Desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras
LS.L.3.1	Reducción sección y coqueas por hormigonado inadecuado
LS.M.1.1	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
LS.M.1.2	Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
LS.M.1.3	Roturas de los paños de fachada por asentos de la estructura
LS.M.3.1	Desprendimiento de acabados por movimientos diferenciales
LS.M.3.2	Desprendimientos de acabados por fisura previa



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Falta de nivel de precisión adecuado en los datos obtenidos

Su aplicación puntual y muy localizada hace que el rendimiento sea muy bajo para grandes superficies a inspeccionar: lento y laborioso

Proceso de aplicación fundamentalmente manual, que requiere al operario en contacto físico con el punto de inspección

RETOS:

Alcanzar mayor precisión

Mejorar el rendimiento a través de la aplicación desatendida

Llegar a zonas de difícil acceso

FUENTES:

Documentos:

Artículo: 'Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos'. V. Pellicer Llopis. ETSAV. UPV. 2012

Artículo: 'Ultrasonic signal modality: A novel approach for concrete damage evaluation'.

A. Carrión García, V. Genovés, J. Gosalbez Castillo, R. Miralles Ricós, J. Payá. Cement and Concret Research, Elsevier, nº 101, 2017

Artículo: 'Ultrasonic and impact spectroscopy monitoring on internal sulphate attack of cement-based materials'.

V. Genovés, F. Vargas, J. Gosalbez, A. Carrión, M.V. Borrachero, J. Payá. Materials & Design, Elsevier, nº 125, 2017

Artículo: 'Ultrasonic broadband signals monitoring of glass-fiber reinforced cement (GRC) bending tests'.

V. Genovés, J. Gosalbez Castillo, A. Carrión García, R. Miralles Ricós, J. Payá. Cement and Concret Research, Elsevier, 2017

Artículo: 'Optimized ultrasonic attenuation measures for non-homogeneous materials'.

V. Genovés, J. Gosalbez Castillo, A. Carrión García, R. Miralles Ricós, J. Payá. Ultrasonics, Elsevier, nº 65, 2016

Artículo: 'Ultrasonic monitoring on glass fiber reinforced cement (GRC) bending test'.

V. Genovés, J. Gosalbez Castillo, R. Miralles Ricós, L. Soriano, J. Payá. Materials Characterisation VII, WIT Press, nº 90, 2015

Artículo: 'Ultrasonic characterization of GRC with high percentage of fly ash substitution'.

V. Genovés, J. Gosalbez Castillo, R. Miralles Ricós, M. Bonilla, J. Payá. Ultrasonics, Elsevier, nº 60, 2015

Artículo: 'Evaluación del estado de la madera en obras de rehabilitación mediante técnicas de ultrasonidos y obtención de parámetros resistentes'. Rodríguez Liñán, C., & de Hita, P. Informes de La Construcción, nº 47, 1995

Artículo: 'Profile tracking with ultrasonic alignment for automatic Non-destructive testing of complex structures'

Artículo: 'Compression and Sonic Tests to Assess Effectiveness of Grout Injection on Three-Leaf Stone Masonry Walls'. B. Silva, M. D. Benetta, F. da Porto, M. Rosa Valluzzi. International Journal of Architectural Heritage, Mayo 2013

Artículo: 'Ultrasonidos phased array: una mirada al interior de una tecnología emergente'.

M. D. Nei. END Asociación Española de Ensayos No Destructivos, nº 43, 2008

Artículo: 'Técnicas de inspección por ultrasonidos para los álabes de la etapa R0 de las turbinas de gas'.

J.M. Berrio, I. Real, J. Murillo, J.C. Casado, S. Perez. END Asociación Española de Ensayos No Destructivos, nº 43, 2008

Artículo: 'Nondestructive Testing Handbook: Ultrasonic Testing'. Birks, A., Green, R., MacIntire, P. American Society for Nondestructive Testing, American Society for Metals, 1991

Ponencia: 'Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por Tesis Doctoral: 'Evaluación no destructiva aplicada a la conservación del patrimonio arquitectónico en los Estados

Tesis Doctoral: 'Estudio de la evolución de la velocidad de ultrasonidos en probetas de hormigón con distintos

grados de humedad'. J. Benitez Herreros. Universidad Politécnica de Madrid, 2011

Tesis Doctoral: 'Estudio y revisión de técnicas no destructivas (termografía, ultrasonidos y resistógrafo) aplicadas

TFM: 'Técnicas no destructivas aplicadas al patrimonio construido'.

Enlaces de interes:

<http://www.geozone.es/tecnicas/ultrasonicas/>

GB Geotechnics Ultrasound. Recuperado el June de 2016, de GB Geotechnics:

National Science Foundation. NDT Resource Center: Ultrasound:

<https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>

Olympus. Obtenido de Ultrasonic Testing:

Schwab, D. Ultrasonic Testing - Ultrasonic Examination [Película]:

NOMBRE:

MUESTRA

E.01

CLASIFICACIÓN:

Ensayo

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR



DIFICULTAD DE APLICACIÓN



COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS



COSTE DEL INSTRUMENTAL



IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

Para analizar las características intrínsecas de un material se obtendrá una muestra, dicha muestra varía dependiendo la cantidad de material necesario para realizar las pruebas. En esta ficha analizaremos la microperforación. Consiste en realizar un taladro de unos 20 mm de diámetro y unos 5-8 cm de profundidad. Se emplea un taladro con una broca hueca con la que sacar la muestra.

IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Taladro	1	0,8-1,5	750	25 x 15 x 8	120
Brocas huecas	1	-	-	Ø 2,2 x 5-8	40

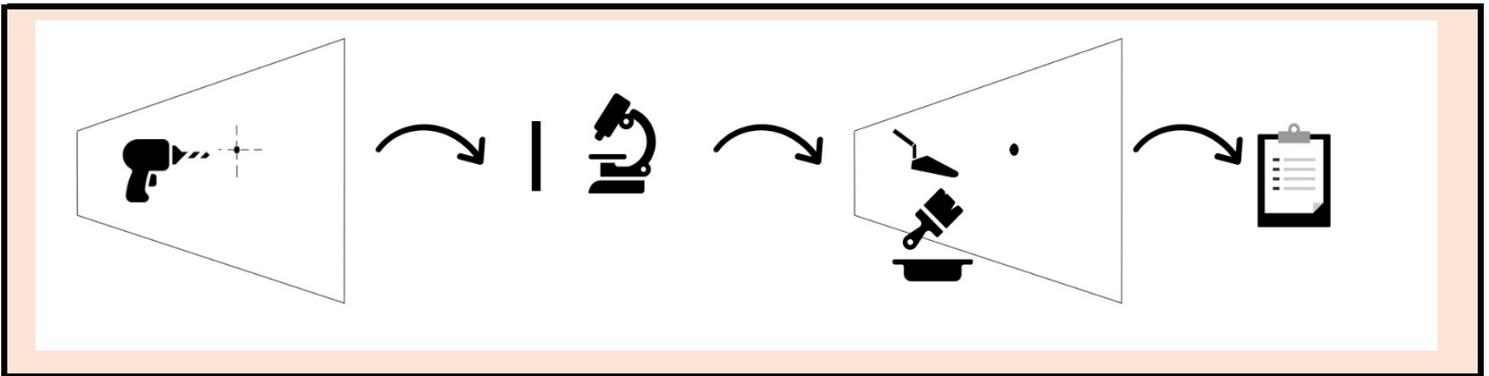
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

Para llevar cabo este ensayo se taladra en el material a inspeccionar y se recoge la muestra catalogando y ubicandola según el material y la loaclización en el edificio

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



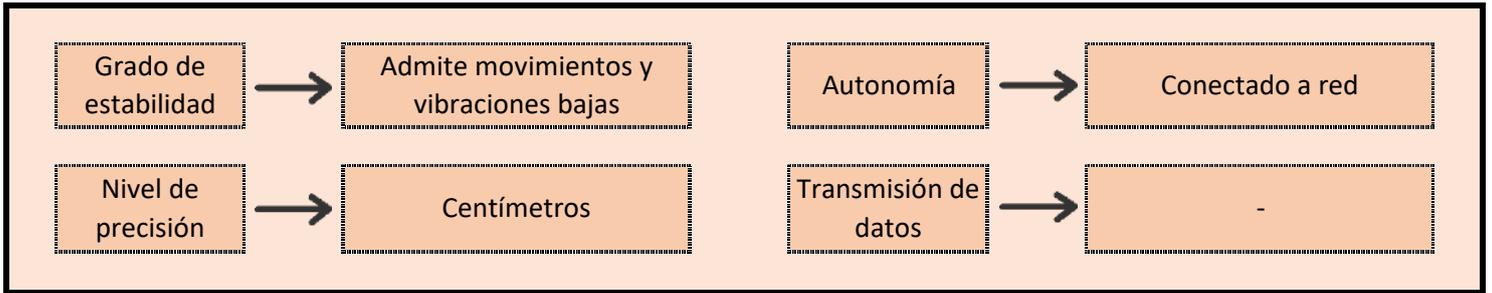
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Se debe enviar la probeta al laboratorio para hacer las pruebas pertinentes

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	<input type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Interna	<input type="text" value=""/> [Sepación de la fachada (cm)] <input type="text" value="8"/> [Profundidad (cm)]	<input type="text" value="2 min"/> Tiempo unidad <input type="text" value=""/> Puntua Sup. unidad(m2)
Materiales	<input type="checkbox"/> [Compatibles] <input type="checkbox"/> [Incompatibles]	<input type="text" value="Todos"/> <input type="text" value="Vidrios"/>	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Los datos recogidos son microprobetas para llevar al laboratorio y obtener diferentes propiedades de la composición del material.

LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

- LS.H.1.1 Fisuras en mapa por reaccion árido-álcali
- LS.H.1.2 Fisuras en mapa por sulfatos
- LS.H.2.1 Desgaste superficial por erosión mecánica
- LS.H.3.1 Disgregación por deslavado
- LS.H.3.2 Disgregación por ataque ácido
- LS.H.3.3 Disgregación por acción del hielo
- LS.H.3.4 Disgregación por recristalización de sales
- LS.L.1.4 Fisuras por asentamiento plástico del hormigón
- LS.L.2.1 Fisuras y grietas por empujes de tierras
- LS.L.2.2 Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
- LS.M.1.1 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- LS.M.1.2 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
- LS.M.1.3 Roturas de los paños de fachada por asientos de la estructura
- LS.M.2.1 Fisuras: Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
- LS.Q.1.1 Eflorescencia
- LS.Q.1.2 Pseudo-Eflorescencia
- LS.Q.1.3 Cripto-Eflorescencia
- LS.Q.3.1 Oxidación
- LS.Q.3.2 Corrosión
- LS.Q.4.1 Erosión química: Decementación
- LS.Q.4.2 Erosión química: Pátina
- LS.Q.4.3 Erosión química: Costra
- LS.Q.4.4 Erosión química: Alveolo



FICHA DE TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

LIMITACIONES:

Es necesario reparar la extracción realizada
Se debe aplicar una fuerza considerable sobre el paramento en el punto de inspección
Solo se obtienen datos de composición de materiales

RETOS:

Conseguir hacer la probeta lo mas pequeña posible.
Emplear técnicas de extracción alternativas al taladro y la abrasión rotativa actual (corte láser)

FUENTES:

Documentos:

Artículo: 'Una metodología para el estudio de los revestimientos continuos tradicionales de las fachadas de los centros históricos'. V. La Spina, Investigación ARQUIDE

Microprobetas de hormigón endurecido ¿son representativas? [Intemac]

Enlaces web:

NOMBRE:

EXTENSOMETRÍA

E.02

CLASIFICACIÓN:

Técnica de Inspección

GRADO DE ESPECIALIZACIÓN DEL OPERADOR



DIFICULTAD DE APLICACIÓN



COMPLEJIDAD DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



FIABILIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS



COSTE DEL INSTRUMENTAL



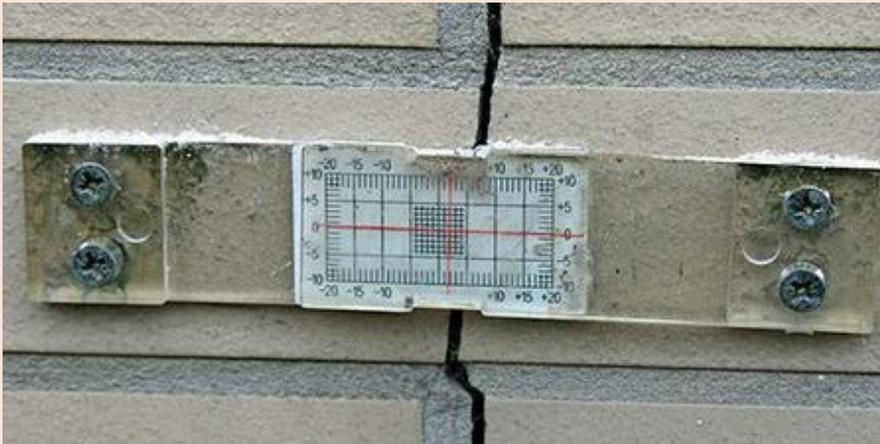
IMPORTANCIA DE LAS LESIONES DETECTADAS



DESCRIPCIÓN:

La extensometría es una técnica que mide las deformaciones de una grieta o fisura, puede ser a través de un extensómetro o mediante galgas extensiométricas. El extensómetro es un instrumento que mide la separación a través del tiempo, y la galga extensométrica consiste en una fina película metálica en forma de hilo plegado depositada sobre una lámina de plástico aislante de algunas micras de espesor y es capaz de transmitir a tiempo real las deformaciones que ocurren.

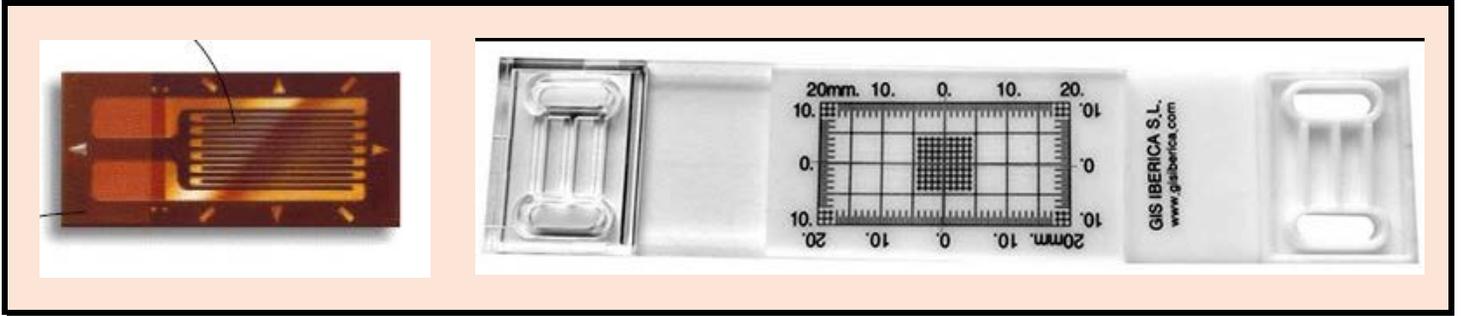
IMAGEN DE LA TÉCNICA/ENSAYO:



EQUIPOS Y MATERIALES AUXILIARES

Nombre:	Uds	Peso (kg)	Potencia (W)	Dimensiones (AxBxH) (cm)	Precio (€)
Gálgas metálicas	-	0	0	1 x 0,5 x 0	alto
Extensómetros	-	0	0	10 x 5 x 0,1	bajo

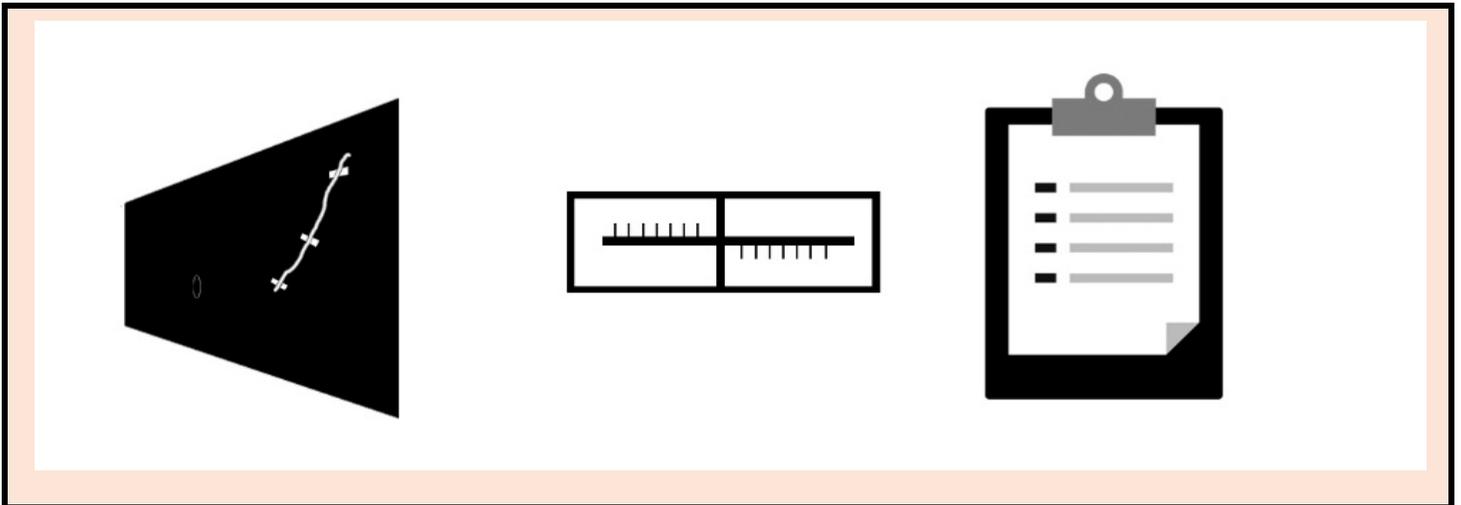
IMAGEN DE LOS COMPONENTES:



PROCESO

El proceso de este ensayo consiste en la colocación de las galgas o extensómetros en los bordes de las fisuras para medir su dimensión a lo largo del tiempo.

ESQUEMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



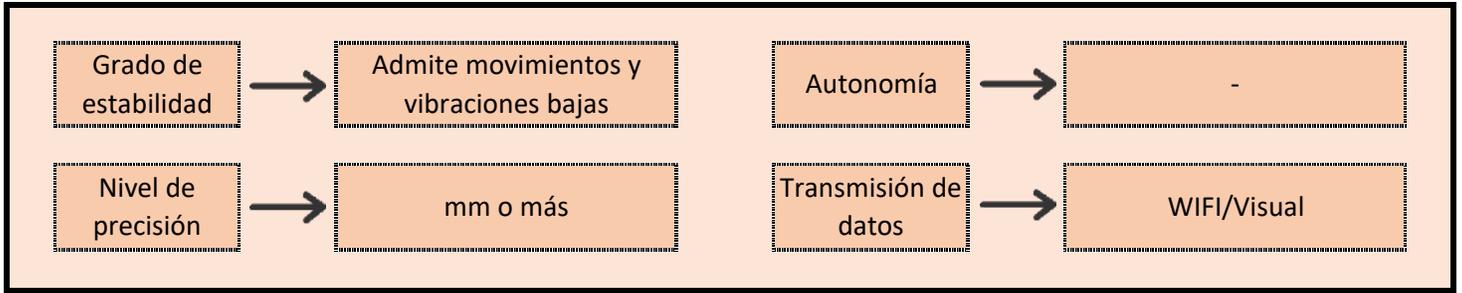
OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

Se debe limpiar o preparar el paramento a estudiar antes de colocar la galga y su posterior limpieza tras la inspección

MATERIALES Y SUPERFICIES DE INSPECCIÓN

Tipos de inspección	Externa	0 [Sepación de la fachada (cm)]	meses Tiempo unidad
	Interna	[Profundidad (cm)]	Sup. unidad(m2)
Materiales	[Compatibles]	Todos	
	[Incompatibles]	Ninguno	

CONDICIONES DE CAPTACIÓN



TIPO DE DATOS RECOGIDOS:

Distancias lineales: movimientos y deformaciones

LESIONES QUE PUEDE RECONOCER:

CÓDIGO

- LS.H.1.1 Fisuras en mapa por reacción árido-álcali
- LS.H.1.2 Fisuras en mapa por sulfatos
- LS.C.1.1 Fisuras por corrosión de las armaduras
- LS.L.1.1 Fisuras por disposición inadecuada o insuficiente de armaduras
- LS.L.2.1 Fisuras y grietas por empujes de tierras
- LS.L.2.2 Fisuras y grietas por asentamientos diferenciales
- LS.M.1.1 Grietas: Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones de la estructura
- LS.M.1.2 Roturas de los paños de fachada por movimientos/deformaciones propios
- LS.M.1.3 Grietas: Roturas de los paños de fachada por asiento de la estructura
- LS.M.2.1 Fisuras: Roturas lineales del acabado por movimientos del soporte
- LS.M.2.2 Fisuras: Roturas múltiples del acabado por retracción higrotérmica
- LS.M.2.3 Fisuras: Roturas "en mapa" del acabado por retracción higrotérmica

LIMITACIONES:

Solo pueden colocarse en donde existan ya las fisuras, por tanto la ubicación no es de libre elección
 Exige un control dilatado en el tiempo, no ofrece resultados inmediatos
 La lectura remota exige comunicaciones inalámbricas o instrumental óptico de precisión para visión a distancia

RETOS:

Obtener lecturas desatendidas de forma remota e integrarlas automáticamente en un modelo BIM
 Colocar las galgas allí donde se necesiten, no solo donde se pueda acceder con medios limitados

ANEJO I

FUENTES:**Documentos:****Enlaces web:**

www.patologiasconstruccion.net