



UNIVERSIDAD DE BURGOS

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DOCTORAL

**USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN PARA LA  
REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO.  
IGLESIA DE LA MERCED**

Doctorando: Raúl del Barrio Tajadura

Directores de la Tesis Doctoral

Dr. J. Manuel Manso Villalaín

Dr. Jesús Mínguez Algarra

Burgos, Mayo de 2017



*A Mer, Lucía, Clara y Mercedes,  
mi familia.*





La presente Tesis conjuga Historia, Arquitectura y Tecnología sobre drones, también conocidos como RPAS (Remotly Pilot Aircarft System). La apuesta por una revolución tecnológica dentro del ámbito universitario hacia el campo donde los drones sean el futuro dentro de la inspección, mantenimiento en la rehabilitación arquitectónica, es la esencia de este estudio.

La industria de los drones está evolucionando de manera imparable, tanto por su prototipado como por su manejo. Esta tecnología podría aplicarse tanto en la Arquitectura como en Ingeniería. La reducción de los costes económicos y el conocimiento real del estado físico de nuestros edificios e infraestructuras observando e investigando el origen inicial de las patologías podría generar nuevas formas de empleo con esta tecnología.

La Tesis se desarrolla en dos grandes bloques, un marco teórico con la legislación, tecnología aplicada e historia del caso práctico de la iglesia de la Merced (Burgos) y posteriormente un marco experimental donde se hace un estudio exhaustivo del procedimiento a seguir para realizar un vuelo con un dron/RPAS con tecnología termográfica y fotogramétrica, conociendo todo su articulado y seguridad. Este estudio puede ser el comienzo de una nueva forma de inspeccionar y mantener nuestros edificios históricos con drones/RPAS dentro del Patrimonio Arquitectónico.

En definitiva con este trabajo esperamos contribuir en primer lugar al uso y aplicación de los drones dentro del Patrimonio Histórico Cultural y en segundo lugar y de manera primordial revolucionar la transformación pedagógica que debe llevarse a cabo en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) donde estos instrumentos pueden servirnos en el conocimiento para crear futuros técnicos dentro del ámbito universitario siendo especialistas en esta materia.



**ÍNDICE:**

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
1.1 Antecedentes. Descripción de motivos	10
1.2 Objetivos	15
1.3 Metodología de trabajo	15
1.3.1 Marco teórico	15
1.3.2 Marco experimental	16
<b>CAPÍTULO 2 REHABILITACIÓN EN EL PATRIMONIO:</b>	<b>19</b>
2.1 Patologías y daños en los edificios	21
2.2 Detección de daños	26
2.2.1 Lesiones Físicas	26
2.2.2 Lesiones Mecánicas	29
2.2.3 Lesiones Químicas	32
2.3 Técnicas de Rehabilitación	36
2.3.1 Análisis y estudio del monumento	37
2.3.1.1 Técnica Termográfica	42
2.3.1.2 Procedimientos con Barreras Físicas	45
2.3.1.3 Procedimientos con Barreras Químicas	47
2.3.1.4 Procedimientos con Barreras Químicas a presión	50
2.3.1.5 Procedimientos con Barreras Eléctricas	52
2.4 Legislación en la Restauración del Patrimonio Histórico	55



<b>CAPÍTULO 3: DRONES O RPAS (REMOTLY PILOT AIRCRAFT SYSTEM)</b>	<b>71</b>
3.1 Descripción general de la tecnología de un dron o RPAS	73
3.2 Tipos de drones	74
3.2.1 Placa identificativa y registro	75
3.3 Mecánica y composición de un dron	75
3.3.1Funcionamiento de un dron	75
3.3.2 Principales elementos que componen un dron	77
3.3.3 Elección de materiales para la mejora de un dron o RPAS	83
3.4 Legislación nacional e internacional ante el manejo de drones	88
3.4.1 Operador o propietario de un dron	92
3.4.2 Pilotos	92
3.4.3 Tipos de vuelos permitidos	92
3.4.4 Forma de Pilotaje	93
3.5 Comunicación a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)	94
3.5.1 Seguridad en el uso de drones civiles	95
3.5.2 Carnet de Piloto de Drones en España	95
3.6 Aplicaciones generales de los drones	95
<b>CAPÍTULO 4:EL USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO</b>	<b>101</b>
4.1 Procedimiento de análisis	103
4.1.1 Observación	104
4.1.2 Toma dedatos	106
4.1.3 Identificación de la lesión	106
4.1.4 Constructivos	107
4.1.5 Ambientales	107
4.1.6 Análisis del proceso. Diagnóstico	108



4.2	Investigación y adaptación del modelo de informe de evaluación para la inspección del Patrimonio	117
4.2.1	Adaptación del Modelo tipo de informe de evaluación	118
4.3	Ventajas que aporta la tecnología de los drones a la rehabilitación	136
4.4	Inspección, montaje y prototipado de drones para la Rehabilitación	137

## **CAPÍTULO 5:**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INSPECCIÓN EN REHABILITACIÓN MEDIANTE DRONES.**

#### **LA IGLESIA DE LA MERCED DE BURGOS.** 152

5.1	Historia del convento de iglesia de la Merced	155
5.2	Procesos de Rehabilitación de la iglesia de la Merced	163
5.2.1	Actuaciones y estudio del Templo	164
5.2.2	Actuaciones de urgencia	166
5.2.3	Reconstrucción de la cubierta	169
5.2.4	Reconstrucción de las bóvedas	172
	PLANO 01 Situación	192.a
	PLANO 02 Recorrido de Dron/RPAS en Nave Central	192.b
	PLANO 03 Recorrido de Dron/RPAS en Ábside - 1	192.c
	PLANO 04 Recorrido de Dron/RPAS en Ábside - 2	192.d
	PLANO 05 Recorrido de Dron/RPAS en Bóveda -1	192.e
	PLANO 06 Recorrido de Dron/RPAS en Bóveda -2	192.f
	PLANO 07 Recorrido de Dron/RPAS en Naves Laterales	192.g
	PLANO 08 Recorrido de Dron/RPAS en Detalles de Arcos-1	192.h
	PLANO 09 Recorrido de Dron/RPAS en Detalles de Arcos-2	192.i
	PLANO 10 Recorrido de Dron/RPAS en Detalles de Arcos-3	192.j





5.3	Inspección con drones de la rehabilitación Termografía – Fotogrametría	192
5.3.1	Aplicaciones de la Termografía	192
5.3.1.1	Materiales y elementos no visibles	192
5.3.1.2	Distinción de materiales empleados en la construcción	193
5.3.1.3	Identificación de Estructuras	193
5.3.1.4	Identificación de grietas	193
5.3.1.5	Identificación de zonas húmedas	194
5.3.1.6	Pérdidas de calor	195
5.3.1.7	Reconocimiento de zonas de acumulación de calor	196
5.3.2	Metodología mediante Fotogrametría	196
5.3.2.1	Toma fotográfica	196
5.3.2.2	Fotogrametría Convergente	198
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</b>		<b>216</b>
6.1	Conclusiones	218
6.2	Limitaciones y Futuras líneas de Investigación	224
<b>ANEXOS</b>		<b>228</b>
<b>CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>252</b>



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

“Ser o no Ser...”

William Shakespeare



En los últimos años el campo de los drones o Remotly Pilot Aircraft System (RPAS), tiene una gran relevancia en la Tecnología Industrial, en la Ingeniería y, sobre todo, en la Arquitectura. En este último tipo de trabajos puede llegar a revolucionar el campo de la inspección mediante la visualización de patologías o deficiencias de difícil acceso. Asimismo, con esta tecnología se puede desarrollar el campo fotogramétrico y termográfico para todo tipo de Rehabilitación, siendo el punto de partida para trabajos llamados Building Information Model (BIM).

En primer lugar, contextualizamos nuestro trabajo repasando las técnicas de rehabilitación que se usan habitualmente en rehabilitación. A continuación, presentaremos, a nivel general, dentro del capítulo segundo, el concepto de proceso patológico, abordando sus lesiones y causas. Asimismo, nos adentraremos en las tecnologías e instrumentos para el diagnóstico y tratamiento en los procesos de rehabilitación, que nos darán la oportunidad de conocer las posibilidades que existen de rehabilitación en el ámbito del mantenimiento e inspección.

El conocimiento de toda la instrumentación nos servirá para saber que el análisis de cada patología es fundamental, si se ha realizado una inspección exhaustiva y desarrollada con todos los medios técnicos posibles.

Por último, dentro de este capítulo, se realizará un elenco de las principales Leyes en materia de Patrimonio, hasta la actualidad. Destacando la legislación específica en materia de rehabilitación, mantenimiento e inspección dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Por otra parte, dentro del capítulo abordaremos, en primer lugar, los tipos de drones o RPAS que existen, así como sus componentes para un manejo idóneo. Posteriormente hablaremos tanto de las aplicaciones que a día de hoy existen y de la legislación vigente nacional e internacional en el campo de los vehículos no tripulados o drones. Posteriormente, nos centraremos en los

componentes y electrónica de los drones, desde una visión global, es decir, explicaremos el desarrollo y los procedimientos de uso de drones (RPAS)

En este marco se adentran los siguientes capítulos: El cuarto de ellos es fundamental dentro del conocimiento de nuestro caso, ya que desarrollamos un procedimiento de análisis, investigación y adaptación para un nuevo modelo de informe de evaluación destinado a la inspección del Patrimonio, disponiendo las ventajas que aporta la tecnología de los drones a la rehabilitación.

En el capítulo quinto nos centraremos en la aplicación de los drones en la inspección de edificios y monumentos dentro del patrimonio. Para ello trabajaremos en a desarrollar tres partes bien diferenciadas. En la primera se realiza una breve y documentada historia sobre la construcción del convento. En el segundo apartado desarrollaremos los procesos, de manera exhaustiva de los trabajos de rehabilitación de la nave central de la iglesia después del incendio de 2001. Por último, nos adentraremos en el prototipado de drones de la rehabilitación realizada. A lo largo de este proceso trabajaremos con un dron concreto, idóneo para la inspección en procesos rehabilitación y daremos las pautas de montaje, así como el trabajo desarrollado, basándonos en la Fotogrametría y Termografía.

El capítulo sexto se dedica a desarrollar las conclusiones y las futuras líneas de investigación. Concluiremos, finalmente, con el último capítulo de referencias bibliográficas, así como las fichas elaboradas a partir de los recorridos con esta tecnología en la Iglesia de la Merced y el anexo a la propuesta de curso de drones homologado por la Agencia Estatal de Servicios Aéreos (AESA).

### **1.1. Antecedentes. Descripción de motivos**

El objeto de este trabajo es mostrar la aplicación de drones/RPAS al campo de la arquitectura y la ingeniería para ejecutar y desarrollar la inspección,

el mantenimiento y la rehabilitación para todo tipo de construcción y, en particular al patrimonio histórico cultural.

El ámbito de los drones nos permite realizar, ampliar y potenciar diferentes facetas que van desde el campo educativo hasta una legislación internacional que no coaccione una nueva industria en auge. La industria de los drones está evolucionando de manera imparable, lo que supone que, en los próximos años, podamos ver nuevos perfiles laborales, lo que puede dar lugar a que pilotos y operadores de vuelo cualificados, tanto en el prototipado como en su manejo y en las aplicaciones prácticas de proyectos específicos, configuren a los drones como un punto de referencia tecnológica importante.

Las comunidades científica y política, a nivel mundial, deben unir sus fuerzas para legislar en beneficio de esta tecnología, que por sí misma puede ser un motor económico, garantizando la seguridad para todos los ciudadanos. La homologación de títulos de pilotos y operadores, a nivel mundial, ha de ser una prioridad y debe regularse en cada país. A nivel internacional se observa una carencia de legislación con respecto al uso y manejo de drones hacia operadores de otros países.

El trabajo que proponemos nos va a permitir repensar otras fórmulas y planteamientos que hagan que la rehabilitación arquitectónica sea un campo donde puedan trabajar equipos multidisciplinares. Es preciso replantearse la construcción arquitectónica mediante propuestas innovadoras y creativas para llevar a cabo procesos de rehabilitación, inspección y mantenimiento del Patrimonio. La inspección, el mantenimiento, la eficiencia energética y la rehabilitación son campos donde cabe una respuesta con drones o RPAS. Nuestros proyectos, informes o trabajos pueden mejorar su calidad implementando la tecnología con drones o RPAS.

Los futuros técnicos en edificación, ingeniería y rehabilitación de nuestro país deben transmitir actitudes y conocimientos académicos actualizados y acordes a los cambios del siglo XXI. El Espacio Europeo de Educación Superior

(EEES) está transformando la Universidad, aportando innovación en recursos materiales y en actividades prácticas desarrolladas en contextos reales. La tecnología de Drones posibilita a la comunidad universitaria la innovación práctica, el acercamiento a la realidad y al manejo de nueva tecnología. Asimismo, permite afianzar los lazos entre la Universidad y la Empresa, dado que los alumnos altamente preparados están formados para trabajar con tecnología puntera y, por lo tanto, permite que los egresados puedan ser grandes emprendedores.

La oportunidad de nuevos puestos de trabajo con las aplicaciones de drones puede hacer crecer, innovar y mejorar el campo de la ingeniería y la arquitectura, en general. La experiencia práctica de muchas empresas de ingeniería y arquitectura, conjuntamente con las aplicaciones actuales de drones puede transformar los modelos actuales de trabajo hacia nuevas líneas de investigación sobre todo en el campo de la tecnología BIM (Building Information Model) donde la tecnología con drones va a transformar la manera de entender los edificios y sobre todo el Patrimonio. El interés por la innovación, investigación e implementación de nuevas tecnologías en el campo de la rehabilitación arquitectónica con RPAS/drones debe ser un referente en la Universidad de Burgos. La investigación es el punto de partida para que personas relacionadas con el prototipado y manejo de drones se adentren en el mantenimiento e inspección dentro de la Rehabilitación Arquitectónica y la Ingeniería.

Este trabajo parte de la detección de los daños y patologías que puede tener un edificio, mostrando las técnicas de rehabilitación y la legislación en rehabilitación del patrimonio. Seguidamente detallaremos los tipos de drones o RPAS (Remotly Pilot Aircraft System), sus componentes y la mecánica de éstos.

Asimismo, desarrollaremos la legislación en el manejo de drones, la comunicación que debe realizarse ante AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) y por último abordaremos las ventajas de la tecnología con drones en la rehabilitación. A continuación, nos centraremos en investigar y adaptar los modelos que se utilizan en la inspección, mantenimiento y rehabilitación de



obras en general desarrollando un análisis de ellos. La elección de los puntos de inspección que se pueden efectuar daría paso a exponer las diferentes fichas que implementan la forma de realizar una inspección en un edificio monumental, para poder tenerlo de base en la explicación sobre su uso y su implementación en los procesos de inspección, mantenimiento y rehabilitación del Patrimonio Histórico. A continuación, se recopilan las fuentes de información sobre la iglesia de la Merced y se desarrollan los procesos de rehabilitación que ha tenido la Iglesia. Al centrarnos en un edificio patrimonial como la Iglesia de la Merced, nos permite exponer un caso real y concreto del uso de drones en la rehabilitación mediante técnicas de fotogrametría y termografía.

#### • **Interés personal**

Mi interés por investigar aspectos relacionados con la tecnología con drones e insertarlos en el Patrimonio proviene de tres motivos muy distintos que se interrelacionan.

El primero, es mi opción por revolucionar de otra forma la arquitectura. Creo firmemente que la crisis económica y laboral que ha sufrido y sufre nuestro país en este ámbito conlleva a repensar en otras fórmulas y planteamientos del buen hacer arquitectónico, es decir, es preciso plantearse no solo la nueva construcción sino realizar propuestas innovadoras para llevar a cabo una nueva forma de rehabilitar, inspeccionar y mantener nuestro Patrimonio. Es de vital importancia que esta tecnología pueda estar al servicio de la arquitectura. La inspección, el mantenimiento, la eficiencia energética y la rehabilitación son campos donde cabe una respuesta con drones o RPAS. Nuestros proyectos, informes o trabajos de cualquier índole podrían mejorar su calidad implementando la tecnología con drones.

El segundo motivo es revolucionar la educación en el ámbito de la arquitectura. Los futuros técnicos en edificación y rehabilitación de nuestro país

deben transmitir actitudes y conocimientos académicos que sirvan para la vida del siglo XXI. La transformación pedagógica que debe llevarse a cabo en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) tiene que ser muy profunda y uno de los instrumentos que pueden servirnos es el conocimiento total y las aplicaciones tecnológicas de los drones.

El tercer y último motivo es el económico. Debemos cambiar nuestra concepción del trabajo, haciéndolo más creativo y cambiante, ajustándola a las necesidades de nuestro entorno. La oportunidad de nuevos puestos de trabajo con las aplicaciones de drones puede hacer crecer, innovar y mejorar el campo de la ingeniería y la arquitectura.

En la medida en que se produzcan ajustes en nuestra sociedad, nuestra motivación ha de tener una expectativa de cambio hacia propuestas innovadoras y flexibles. El proceso de enseñanza aprendizaje a nivel educativo, industrial y económico debe ser vital para transformar una sociedad mediante las nuevas tecnologías. La realidad que debe motivar una transformación en la política universitaria es encuadrar grados y títulos específicos en esta materia. La experiencia práctica de muchas empresas, donde las aplicaciones de drones son un hecho, debe ser el punto de partida para que existan líneas de investigación donde la Universidad sea un referente en estos estudios y donde las expectativas de trabajos de investigación puedan dar sus frutos y atribuciones en este campo de la tecnología con drones o RPAS.

El interés por la innovación, la investigación y la aplicación de nuevas tecnologías al campo de la rehabilitación arquitectónica es un referente dentro de la propia Universidad de Burgos. Por eso la búsqueda, desarrollo e implementación de Centros Tecnológicos relacionados con el campo de la electrónica y robótica, como es el mundo de los drones o RPAS, puede ser un referente nacional e internacional en esta materia, haciendo que la Universidad cambie de mentalidad y sea creativa, reinventado todo su potencial para captar y desarrollar talento.

## **1.2. Objetivos**

En el presente trabajo se plantean, como objeto de investigación y como objetivos específicos los siguientes:

- Recopilar y exponer la legislación vigente en materia de drones.
- Diseñar un Informe de Evaluación de Edificios Monumentales a través de drones o RPAS.
- Exponer las medidas de seguridad en el manejo de drones.
- Analizar la legislación actualizada en rehabilitación.
- Exponer las oportunidades de la implementación de los drones en el campo de la Arquitectura, Rehabilitación e Ingeniería.
- Explicar la implementación de Drones en un estudio de caso de rehabilitación de patrimonio mediante fotogrametría y termografía.

## **1.3. Metodología de Trabajo**

El trabajo que hemos llevado a cabo se desarrolla bajo dos ámbitos uno teórico y otro práctico. Del primero hemos desarrollado la búsqueda de información y la legislación, además de la elaboración de las líneas para contextualizar el Informe de Evaluación mediante la Inspección técnica en edificios de Patrimonio Monumental. El segundo ámbito, el marco experimental, definirá los puntos de aplicación del campo de la tecnología de los drones o RPAS para inspeccionar edificios de patrimonio monumental, poniendo como ejemplo la Iglesia de Nuestra Señora de la Merced.

### **1.3.1. Marco Teórico**

En este apartado trataremos el estado del arte, es decir, tras la búsqueda documental sobre los aspectos relativos a la rehabilitación. Contextualizamos

nuestro trabajo en la legislación a nivel nacional e internacional. A continuación, presentaremos, a nivel general, dentro del capítulo segundo el concepto de proceso patológico, abordando sus lesiones y causas. Asimismo, nos adentraremos en las tecnologías e instrumentos para el diagnóstico y tratamiento en los procesos de rehabilitación, que nos darán la oportunidad de conocer las posibilidades que existen de rehabilitación en el ámbito del mantenimiento e inspección. El conocimiento de toda la instrumentación nos servirá para saber que el análisis de cada patología es fundamental, si se ha realizado una inspección exhaustiva desarrollada con todos los medios técnicos posibles. Por último, dentro de este capítulo, se realizará un elenco de las principales leyes en materia de Patrimonio hasta la actualidad, destacando la legislación específica en materia de rehabilitación, mantenimiento e inspección dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Por otra parte, dentro del capítulo abordaremos, en primer lugar, los tipos de drones o RPAS que existen, así como sus componentes para un manejo idóneo. Posteriormente hablaremos tanto de las aplicaciones que a día de hoy existen y de la legislación vigente nacional e internacional en el campo de los vehículos no tripulados o drones. Posteriormente, nos centraremos en los componentes y electrónica de los drones, desde una visión global, es decir, explicaremos el desarrollo y los Procedimiento de uso de drones (RPAS)

### **1.3.2 Marco Experimental**

En este marco se adentran los siguientes capítulos. El capítulo cuarto es fundamental dentro del conocimiento de nuestro caso ya que desarrollamos un procedimiento de análisis, investigación y adaptación para un nuevo modelo de informe de evaluación para la inspección del Patrimonio, disponiendo las ventajas que aporta la tecnología de los drones a la rehabilitación.

Se inicia desarrollando la investigación y adaptación de los modelos que se utilizan en la inspección, mantenimiento y rehabilitación de obras en general desarrollando un análisis de ellos. La elección de los puntos de inspección que

se pueden efectuar dando paso a la exposición de diferentes fichas que implementan la forma de realizar una inspección en un edificio monumental, para poder tenerlo de base en la explicación sobre su uso y su implementación en los procesos de inspección, mantenimiento y rehabilitación del Patrimonio Histórico. Por otra parte, dentro de este mismo capítulo se recopilan las fuentes de información sobre la iglesia de la Merced y se desarrollan los procesos de rehabilitación que ha tenido la Iglesia. Al centrarnos en un edificio patrimonial, nos permite exponer un caso real y concreto del uso de drones en la rehabilitación.

Siguiendo con el método experimental, en el quinto capítulo nos centraremos en la aplicación de los drones en la inspección de edificios y monumentos dentro del patrimonio. Para ello dividiremos nuestro trabajo en tres partes bien diferenciadas. En la primera se realiza una breve y documentada historia sobre la construcción del convento. En el segundo apartado desarrollaremos los procesos de manera exhaustiva de los trabajos de rehabilitación de la nave central de la iglesia después del incendio de 2001. Por último, abordaremos el prototipado de drones en la rehabilitación realizada. En este proceso trabajaremos con un dron concreto, idóneo para la inspección en procesos rehabilitación y daremos las pautas de montaje, así como cada una de sus fases, para el desarrollo de termografías y fotogrametrías.

En el capítulo seis presentaremos las conclusiones, las limitaciones y las futuras líneas de investigación. Concluiremos finalmente, con el último capítulo de referencias bibliográficas, y dos anejos que hacen referencia a las fichas elaboradas a partir del recorrido con esta tecnología en la Iglesia de Nuestra Señora la Merced de Burgos así como la propuesta para realizar un curso de especialista de manejo de drones o RPAS en la Universidad de Burgos.



## **CAPÍTULO 2: REHABILITACIÓN EN EL PATRIMONIO**

“Nada se Crea ni se Destruye solo se Transforma...”

Antoine-Laurent Lavoisier





En este capítulo nos vamos a centrar en aspectos concretos de la rehabilitación de patrimonio, es decir, abordaremos la conceptualización del término de patología y nos detendremos en los daños, detallando su tipología. Es imprescindible que, una vez tratado el ámbito del diagnóstico de las patologías, debemos detenernos en las técnicas de rehabilitación.

Para finalizar, detallamos la normativa vigente en lo referente a la rehabilitación de patrimonio.

## **2.1.- Patologías y daños en los edificios.**

Según la Real Academia de la Lengua (RAE) una patología es una sintomatología que puede tener cualquier material debido a errores constructivos o inclemencias meteorológicas. Rehabilitar lo construido es la mejor manera de intervenir en un edificio y conservar el amplio patrimonio que tenemos.

Todos los profesionales, antes de desarrollar el análisis teórico de la tecnología y de las técnicas de rehabilitación, debemos conocer exactamente cada uno de los conceptos relacionados con cada uno de los términos de la rehabilitación. Uno de los más importantes es el término denominado como Patología. Coincidimos con Monjo J., gran profesional relacionado con la Rehabilitación, que dictamina dentro de uno de sus textos denominado *Curso de Patología, Conservación y Rehabilitación de edificios* (1999), que la propia "Patología" es el término relacionado con la construcción y la rehabilitación donde se establece una metodología adecuada para estudiar cada caso de manera particular.

El término genérico de la palabra "patología" hace que los profesionales desconozcamos el verdadero concepto de la misma. La mayoría de los técnicos

confundimos conceptos e ideas, por lo que es indispensable un lenguaje técnico que haga comprensible toda la terminología, tal y como recoge [22] Eichler, F. (1977).

La palabra patología, en construcción y rehabilitación, tiene un carácter que hace que su definición tenga un sentido de resolución, según [57] Patología de fachadas urbanas (1987). En definitiva, usaremos la palabra patología, para designar la ciencia que estudia los problemas, su proceso y sus soluciones, y utilizaremos el adjetivo patológico/a para calificar los procesos y estudios. Y, por consiguiente, el término de “Patología Constructiva”, al igual que definen [1] Abasolo, A. (2010) y [51] Monjo (2000), como «la Ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio después de su ejecución». Diferenciaremos las distintas fases: proceso, lesión, causas y reparación que pasamos a comentar.

#### **a) Proceso patológico**

Para abordar un problema constructivo dentro de la rehabilitación, deberemos diagnosticarlo, es decir, conocer su proceso, sus causas, su evolución, su origen y su estado actual. El conjunto de todos estos aspectos es lo que llamamos “proceso patológico”.

La “reparación” y la “prevención” dentro del “estudio patológico” debe ser una prioridad en la rehabilitación de un edificio. Diferenciando las tres partes del “proceso patológico” que son:

El *origen* de la patología, su *evolución* y el *resultado*. Por lo que para conocer el diagnóstico de todo proceso patológico tenemos que desarrollar el recorrido de la patología en sentido inverso, es decir, desde el resultado hacia la patología.

Lo primero que debemos hacer es observar detenidamente el resultado de la lesión, es decir, el síntoma que tenemos en el edificio. Posteriormente seguiremos con la evolución de la misma, hasta llegar al origen de la patología, lo que conocemos como la causa del proceso patológico.

### **b) La Lesión en el proceso patológico**

La lesión es la manifestación última de un problema constructivo. Es el efecto final o síntoma del proceso patológico. Lo fundamental en este proceso es conocer la correcta identificación de la patología, ya que un error en su diagnóstico podría llegar a ser más perjudicial el proceso, por lo que es primordial conocer el tipo de lesiones.

Debemos distinguir dos tipos de lesiones según Eldrige, H.J. (1982) [28], que son, primarias y secundarias. En muchos casos una lesión no aparece sola, sino que se confunde con otras, por lo que se debe distinguir cuál es la que apareció en primer lugar y que consecuencia tienen las demás, por lo que va a ser de vital importancia en cada proceso patológico.

Podemos comentar que la lesión primaria es un proceso patológico concreto, que aparece en primer lugar, mientras que la lesión secundaria es la que surge como consecuencia de una lesión anterior.

### **c) La Causa en el proceso patológico**

Es el elemento, activo o pasivo, que actúa como origen del proceso patológico y que desemboca en una o varias lesiones. En muchas ocasiones, varias causas en el proceso patológico pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión.

La causa dentro del proceso patológico es el objetivo primordial, ya que con el diagnóstico reconocido lo que se persigue es conocer el origen para atacar el mal desde el principio. De hecho, un proceso patológico no está resuelto hasta que el origen de la causa no se haya interrumpido, y éste es uno de los puntos claves en toda actuación de reparación, según [34] Trill, J y Bowyer, J.T (1981). La mayoría de fracasos en actuaciones sobre procesos patológicos se han debido a una falta de ataque a la causa en el origen limitándose a resolver el síntoma o la lesión. En estos casos la causa sigue viva y la lesión acaba apareciendo de nuevo.

Es de vital importancia la identificación de las causas en el proceso patológico. Conviene comentar que las causas tienen una tipología que las subdivide en dos, directas e indirectas:

Las causas directas, constituyen el origen inicial del proceso patológico, tales como agentes atmosféricos, contaminación, esfuerzos mecánicos etc.

Las causas Indirectas o de ejecución, necesitan la conexión de una causa directa para iniciar el proceso patológico, tales como fallos en los detalles constructivos o errores en la elección de materiales, defectos en la fabricación de los mismos o en su aplicación, etc.

En cualquier proceso podemos encontrar los dos tipos de causas y sobre ambas deberemos actuar en la reparación, aunque las causas indirectas son las que más deberemos tener en cuenta, cuando hablemos de prevención.

#### **d) Reparación. Restauración y Rehabilitación**

Si el diagnóstico se ha realizado describiendo el origen, la evolución y el síntoma o lesión, ya podemos hablar de reparación dentro de la Rehabilitación.

El concepto de Rehabilitación lo trataremos para recuperar la funcionalidad de un edificio completo, lo que exigirá una serie de fases que, al menos, incluirán las siguientes:

- Proyecto de Rehabilitación Arquitectónica con nuevos usos.
- Diagnósticos en el Estudio patológico.
- Reparaciones de los detalles constructivos dañados.
- Restauración de distintos elementos y objetos individualizables.

Los procesos patológicos estudiados y sus causas nos hacen desarrollar una serie de medidas preventivas, destinadas a evitar que aparezcan nuevas actuaciones constructivas, que es lo que llamamos Patología Preventiva.

Podríamos definir que la patología constructiva en edificación es una «aproximación» a la patología curativa tal y como recoge [22] Eichler, F. (1977).

Como conclusión se considerará, en primer lugar, el diseño y la ejecución de todo tipo de edificios monumentales, siendo de vital importancia en lo que podríamos llamar la «funcionalidad constructiva» de cada uno de los elementos. Esto implica la consideración de su durabilidad e integridad ante las acciones exteriores del uso que va a recibir el edificio y cada una de sus partes a lo largo de su vida, seleccionando el tipo de material que le posibilite una rehabilitación óptima ante dichas acciones, así como otras medidas de mantenimiento y prevención.

En segundo lugar, no podemos olvidarnos de la investigación para alcanzar el diagnóstico, es decir, se debe desarrollar un análisis previo para conocer el «proceso patológico» completo, antes de tomar ninguna medida curativa propiamente dicha. Sólo entonces se podrá decidir qué tipo de remedio se aplicará para anular la causa y hacer desaparecer el proceso patológico, lo que llevará consigo la eliminación de la lesión. Los planes de reparación de las unidades constructivas dañadas les permitirá su restauración, la cual, unida a la de las demás unidades lesionadas, les posibilitará conseguir la rehabilitación total del edificio.

En el siguiente apartado vamos a tratar la tipología de daños que nos podemos encontrar en los edificios, tomando como referencia diferentes artículos denominados [59] Patrimonio Cultural de España,(2012).

## **2.2. Detección de daños**

Para detectar los diferentes daños podemos establecer una tipología de lesiones que pueden aparecer en nuestros edificios y sus unidades constructivas. Así podríamos llegar a conocer los síntomas de los procesos patológicos, así como de las posibles causas que los originan. Por ello vamos a desarrollar las tipologías de la lesión, diferenciando entre físicas, mecánicas y químicas:

El conjunto de lesiones constructivas que pueden aparecer en un edificio es bastante numeroso, sobre todo si tenemos en cuenta la diversidad de materiales y unidades constructivas que se utilizan.

El tipo de lesiones que pueden existir dentro del proceso constructivo son, físicas, mecánicas y químicas. El conocimiento de cada una de ellas hace que podamos diagnosticar la manera de proceder a su rehabilitación.

### **2.2.1. Lesiones físicas**

En este apartado agruparemos las lesiones relacionadas con condensaciones, heladas o partículas de suciedad, etc. Todas ellas estarán influenciadas por los procesos físicos y su evolución sin ningún tipo de reacción química de los materiales.

Podemos incluir en esta primera parte varios tipos de lesiones, teniendo en cuenta que para cada uno de ellos podemos encontrar variantes en función

del material o del uso del edificio, según los estudios de [58] Patología, Conservación y Restauración de Edificios, (1991). Estos tipos son los siguientes:

- a. **Humedad:** El concepto de humedad se entiende como la aparición incontrolada de un porcentaje de humedad superior al deseado en un material o elemento constructivo, lo que supone una variación de las características físicas del material o elemento en cuestión.

Podemos distinguir cinco tipos de humedad de carácter físico, en función de su causa:

- **Humedad de obra:** Su origen está en el proceso de ejecución, por no haberse dejado secar convenientemente y, haberse aplicado un acabado superficial que, actuando de barrera, dificulta su evaporación.
- **Humedad capilar:** Si el agua proviene del suelo puede llegar ascender por los elementos verticales.
- **Humedad de filtración:** Esta puede llegar desde el exterior y penetrar al interior del edificio a través del cerramiento de fachadas o cubierta, atravesando la masa del mismo, a través de sus poros, o aprovechando las aberturas del cerramiento, tanto de grietas como de fisuras mecánicas como por ejemplo en juntas constructivas, de dilatación, o juntas practicables de ventanas.
- **Humedad de condensación:** Es la producida en los cerramientos, se produce al condensarse el vapor de agua que está en contacto, en su recorrido desde los ambientes con mayor presión de vapor en interiores hacia los de presión de vapor más baja en los exteriores. Podemos a su vez, distinguir dos subtipos, según la situación de la condensación:
  - **Condensación superficial interior**, cuando se produce en la cara interior del cerramiento.

- **Condensación intersticial**, cuando ocurre en el interior de la masa de cerramiento o en sus distintas capas.
  
- **Humedad accidental**: Esta engloba roturas de conducciones que provocan focos puntuales de humedad que aparecen más o menos cerca de su origen.
  
- b. **Erosión**: Es la pérdida o transformación superficial de un material.

La Erosión atmosférica o pérdida de material superficial en un elemento o unidad constructiva provocada por acciones físicas de los agentes atmosféricos. En general se trata de la meteorización, más o menos superficial, de materiales pétreos provocada por la succión de agua de lluvia y su posterior helada, que, al dilatar, va rompiendo las láminas superficiales del material.

- c. **Suciedad**, entendida como depósito de partículas en suspensión en la atmósfera sobre la superficie de las fachadas exteriores e, incluso, penetración de las mismas en los poros superficiales, sin llegar a la reacción química entre ellas y el material constitutivo del cerramiento que constituirá otro tipo de lesión, de otra familia que mencionaremos más adelante. En este caso, se trata de un ennegrecimiento de las fachadas por un proceso puramente físico del que podemos distinguir a su vez dos subtipos:
  - **Ensuciamiento por depósito**, por simple gravedad o por efectos foréticos entre el material del cerramiento y las partículas en suspensión en la atmósfera.
  - **Ensuciamiento por lavado diferencial**, en el que la partícula ensuciante penetra en el poro superficial o es impedida su penetración o, incluso, arrancada del mismo, por la concentración puntual del agua de lluvia, formándose los chorretones, en las fachadas urbanas.



### 2.2.2. Lesiones mecánicas

Son las situaciones patológicas, dentro de la construcción, en las que predomina el factor mecánico, tanto en sus causas, como en su evolución. Consideramos estas lesiones en las que hay movimientos o donde se han producido aberturas o separación entre materiales, elementos, o desgaste basándonos en [1] Addleson, L. (1982).

Las acciones mecánicas podemos considerarlas como una acción física más, pero en construcción y rehabilitación tienen tal importancia que se les puede considerar como un caso aparte.

Podemos diferenciar diferentes tipos de lesiones en muros, aunque cada uno de ellos contiene múltiples variantes en función del material, su construcción y uso:

**Deformaciones**, se definen como el cambio de forma sufrido por alguno de los elementos que confluyen dentro de una unidad constructiva, como consecuencia de algún esfuerzo mecánico, tanto durante la ejecución, como cuando esta entra en carga.

Las diferentes deformaciones se pueden agrupar, a su vez, en tres subtipos:

- **Pandeos:** Se desarrolla como consecuencia de un esfuerzo de compresión sobre un elemento vertical (lineal o superficial) superior a su capacidad de carga.
- **Alabeos:** Deformación que desemboca como consecuencia de una rotación del elemento debida a esfuerzos normalmente horizontales.
- **Desplomes:** Son el resultado por desplazamiento de la cabeza de los elementos verticales, como consecuencia de empujes horizontales sobre la misma. Cualquiera de ellos suele ser, a su vez, origen de lesiones secundarias

tales como fisuras, grietas y desprendimientos, sobre todo cuando se trata de elementos de obra de fábrica.

**Grietas:** Entendemos por tales cualquier abertura longitudinal incontrolada de un elemento constructivo, sea estructural o de simple cerramiento, que afecta a todo su espesor. Se ha intentado dar diversas definiciones de las grietas en función de su espesor de abertura o de su movilidad, y procurando distinguirlas de las fisuras por estas características.

Por el contrario, sí diferenciamos entre las aperturas que afectan a todo el espesor del elemento constructivo (grietas) de aquellas que solo lo hacen en su superficie o al acabado superficial superpuesto (fisuras), se puede llegar a entender la diferencia constructiva, y así la comprensión del proceso patológico, resultando lesiones evidentemente mecánicas, indicativas de procesos patológicos del mismo origen que afectan por igual a elementos estructurales o de cerramiento.

Por ello podemos distinguir dos tipos en función del tipo de esfuerzo que las origina:

- **Por exceso de carga:** Afecta a elementos estructurales que exigen, por lo general, un refuerzo inmediato para mantener la seguridad de la unidad constructiva, pudiendo afectar a elementos de cerramiento que se ven sometidos a cargas para las que no están diseñados.
- **Por dilataciones y contracciones higrotérmicas,** que también pueden afectar a estructuras, aunque lo hacen, sobre todo, a elementos de cerramiento de fachada o cubierta, cuando no han previsto las suficientes juntas de dilatación en los mismos.

**Fisuras.** Son todo tipo de aberturas longitudinales que afectan solo a la cara superficial del elemento constructivo, o a su acabado, sea este continuo o por elementos. Aunque en algunas ocasiones una fisura puede representar

temporalmente una etapa previa a la grieta, sin embargo, en la mayoría de ocasiones, su origen y evolución son completamente distintos, aunque la sintomatología pueda ser parecida. De hecho, también aquí podemos distinguir varios subtipos, en función de la causa del proceso:

- Reflejo **del soporte**, cuando este sufre un movimiento o deformación que el acabado no puede resistir, o, simplemente, cuando existe una discontinuidad constructiva en el soporte por distinto material o elemento, o por junta constructiva en el mismo, o por falta de la suficiente adherencia.

- **Inherente al acabado**, bien por retracción hidráulica, cuando se trate de morteros, bien por movimientos de dilatación-contracción, como es el caso de los chapados y de los alicatados. En cualquier caso, podemos considerar como un elemento aparte al hormigón armado que, debido a su estructura interna, con una armadura capaz de absorber tracciones, puede retener los movimientos deformantes y dejar en fisuras superficiales lo que en una fábrica sería una grieta.

**Desprendimientos.** Implican la separación de un material de acabado, del soporte al que estaba aplicado. Normalmente aparece como consecuencia de lesiones previas (humedades, deformaciones, grietas, etc.) y podría distinguirse una amplia subtipología en función de la causa original, aunque en el fondo, está basada siempre en una falta de adherencia entre soporte y acabado. Afecta tanto a acabados continuos (morteros, pinturas, etc.) como a acabados por elementos (alicatados, chapados, etc.) aunque en estos últimos presenta un mayor peligro para la seguridad del viandante.

**Erosiones mecánicas.** Nos referimos a la pérdida de material superficial debida a esfuerzos mecánicos sobre ellos. Afectan, sobre todo, a pavimentos, por el inevitable roce y punzonamiento que se ejerce sobre estos de un modo continuo. Pero lo podemos ver también en las partes bajas y accesibles de las fachadas, por las mismas razones. Incluso, en casos de situaciones muy expuestas,

podemos encontrarlas en partes altas de fachadas y en cornisas, por efecto del viento y de posibles partículas en él contenidas (playas. desiertos. etc.).

### **2.2.3. Lesiones químicas**

Comprende todas las lesiones constructivas con un proceso patológico de carácter químico, donde el origen suele estar en la presencia de sales ácidos o álcalis que reaccionan químicamente para acabar produciendo algún tipo de descomposición del material lesionado que provoca, a la larga, su pérdida de integridad, afectando, por tanto, a su durabilidad.

Resulta un conjunto de lesiones cuyo proceso es perfectamente diferenciable de las de los grupos anteriores, aunque su sintomatología pueda, en ocasiones, confundirse.

Los tipos más destacados que podemos agrupar aquí son los siguientes:

**Eflorescencias**, como la cristalización en la superficie de un material, de sales solubles contenidas en el mismo, que son arrastradas hacia el exterior por el agua que las disuelve, agua que tiende a ir de dentro hacia afuera, donde acaba evaporándose y permite la mencionada cristalización. Esta suele ser en formas geométricas, según el tipo de cristal, recordando formas de flores de donde le viene el nombre a la lesión.

Además del caso general definido, cabe considerar dos variantes, a saber:

- En casos en que la sal no proviene del material sobre el que cristaliza, sino de otros situados por detrás o adyacentes (caso corriente de eflorescencias sobre mortero de sales provenientes del ladrillo que protegen o que unen; o de otras sobre los bordes del ladrillo, provenientes del mortero de la fábrica).

- Las llamadas «**criptoflorescencias**», en las que la cristalización se produce en oquedades próximas a la superficie, pero antes de llegar a estas (de ahí el nombre, del griego «criptos», cueva), produciendo a la larga, el desprendimiento de la lámina de material que queda por encima y provocando, por tanto, una erosión.

En cualquiera de los casos, se trata de un proceso patológico claramente químico que suele tener como causa directa una lesión previa: la humedad. De hecho, cualquiera de los subtipos de humedades mencionados, unidos a la presencia de sales solubles (materiales eflorescibles) son susceptibles de provocar eflorescencias en las unidades constructivas en las que aparecen.

- **Oxidaciones y Corrosiones:** Entiendo este conjunto como la transformación molecular y la pérdida de material en las superficies de los metales y, sobre todo, del hierro y acero. Objetivamente deberíamos considerarlas como dos lesiones distintas, ya que sus procesos patológicos, aunque normalmente sucesivos, son químicamente diferentes; sin embargo, prefiero agruparlas dentro de un solo tipo ya que su aparición es simultánea y su sintomatología muy parecida. No obstante, a los efectos de su definición y tipología conviene distinguirlas.
- **Oxidación:** Se entiende por tal la transformación en óxido de la superficie de los metales en contacto con el oxígeno. El metal puro, o en aleación, es normalmente inestable químicamente y tiende a convertirse en un óxido más estable, óxido que, en la mayoría de los metales, ayuda a proteger el resto del metal del avance de la transformación química, excepto en el caso del hierro.
- **Corrosión:** Es la pérdida progresiva de partículas de la superficie del metal como consecuencia de la aparición de una pila electroquímica en presencia de un electrolito, en la que el metal en cuestión actúa de ánodo, perdiendo electrones en favor del polo positivo (cátodo). Estos electrones

acaban deshaciendo moléculas, lo que se materializa en la pérdida del metal. Como quiera que el caso más corriente es el del acero, según el tipo de pila que se produzca, podemos distinguir cuatro tipos de procesos corrosivos.

- **Corrosión por inmersión**, cuando el acero está empapado o sumergido bien la capa de óxido férrico se convierte en hidróxido que actúa de cátodo; o bien la ionización del agua facilita la aparición del hidróxido, que acaba actuando de polo positivo.
  
- **Corrosión por aireación diferencial**, cuando la pila se produce entre una superficie seca y otra húmeda de la misma pieza (rincones, gotas de agua, etc.). La húmeda actúa de ánodo.
  
- **Corrosión por par galvánico**, producida entre dos metales, o entre un metal y otro material más electropositivo (álcalis del cemento, maderas ácidas, etc.). Si se trata de dos metales, el ánodo lo constituye el más electronegativo, que, normalmente, suele ser el acero.
  
- **Corrosión intergranular** es la que se produce entre partículas de los diferentes metales de una aleación, como micropares galvánicos, cuando esta no está «Consumada». Es el caso que puede explicar la oxidación del acero inoxidable.
  
- **Organismos**. Englobamos en este tipo todo el conjunto de lesiones donde tiene importancia la presencia de un organismo vivo, sea animal o vegetal, que afecta a la superficie de los materiales, bien por su simple presencia, como por el ataque que el mismo, o los productos químicos que segrega, realizan a la estructura física o química del material sobre el que se apoyan. Consideramos que, en su conjunto, se deben incluir en la familia de las lesiones químicas, pues desde el momento en que la presencia de un organismo vivo es importante, el proceso patológico es

fundamentalmente químico, aunque algunas de las actuaciones de los organismos sean puramente mecánicas o físicas.

En cualquier caso, podemos distinguir, también, varios subtipos, en función del organismo:

- **Animales**, donde podemos, a su vez, distinguir entre los insectos y los que podríamos agrupar bajo la denominación de «animales de peso».
- Los **insectos** pueden habitar dentro de nuestros materiales e incluso, alimentarse de ellos, lo que acaba provocando lesiones importantes. Es el caso claro de los xilófagos, que acaban destruyendo la madera.
- Los «de peso» (aves, mamíferos y carnívoros) tienen una acción básicamente erosiva sobre los cerramientos de cubierta y fachada (nidos de pájaros, roces y mordiscos de animales, etc.).
  
- **Plantas**, que también nos permiten distinguir entre las de porte y las microscópicas.
- Las **plantas de porte** atacan mecánicamente, bien simplemente por su peso (en canalones, por ejemplo), bien por la acción de sus raíces, fisuras de materiales pétreos de cubiertas y jardineras.
- Las **microscópicas** producen ataques químicos más directos, y cabe distinguir entre mohos y hongos.
- Los **mohos** se asientan en materiales porosos, húmedos y poco ventilados, produciendo cambios de coloración y de aspecto, olores y, a veces, desprendiendo sustancias químicas que producen erosiones en los materiales pétreos.
- Los **hongos** atacan a las maderas, produciendo pudriciones que no solo varían el aspecto sino que pueden acabar destruyendo los elementos leñosos.

**Erosión química**, como último de los tipos de erosiones. Encuadrada dentro de esta tercera familia, entendemos por tal todo tipo de transformación molecular de las superficies de los materiales pétreos,

como consecuencia de la reacción química de sus componentes con otras sustancias atacantes, tales como los contaminantes atmosféricos, sales o álcalis disueltos en las aguas de capilaridad, filtración o accidentales, productos aplicados por el hombre, etc. Su resultado final suele ser no solo la transformación molecular del material, con modificación de su estructura pétreo y variación de su aspecto, sino además la evaporación o pérdida del material como consecuencia de la mayor fragilidad o solubilidad de las nuevas estructuras moleculares.

Una vez que hemos detallado las diferentes patologías, coincidiendo con uno de los técnicos de mayor prestigio en el campo de la Rehabilitación, el técnico Monjo J. Detallaremos el análisis y diagnóstico de estas con una serie de procedimientos para que la conservación preventiva dentro del Patrimonio Arquitectónico sea uno de los principales proyectos que se deban consolidar en los próximos años en España, pudiendo ser uno de los ejes motores en la industria de nuestro país. Por ello, en todo plan de actuación deberemos trabajar con equipos multidisciplinares como: historiadores, arqueólogos, geólogos, restauradores, ingenieros, arquitectos y técnicos profesionales que, con experiencias acreditadas, pudiesen revertir sus conocimientos a otros técnicos más jóvenes dentro del mismo equipo de técnicos.

Se propone una línea estratégica para desarrollar la inspección y restauración de las obras de conservación a nivel edificatorio.

### **2.3. Técnicas de rehabilitación**

Sin una buena inspección, no puede haber un diagnóstico real de las causas donde se debe actuar. Cuando se interviene en un monumento debe, también, existir un conjunto de medidas que se establezcan, como mínimo, en 15 o 20 años dentro de la vida del monumento inspeccionado, según el plan de actuación y conservación preventiva que se proponga.



Actualmente, no existe un plan global, a nivel nacional, amparado por todas las Comunidades Autónomas, donde se erijan los puntos o estrategias a desarrollar de manera formal.

En muchas ocasiones, debido a la legislación autonómica y a los criterios técnicos, no se ha dispuesto qué se debe inspeccionar y cómo se debe inspeccionar un edificio histórico.

En lo que todas las Comunidades Autónomas están de acuerdo y especialmente la comunidad de Castilla y León, ya que es una de las que más Patrimonio Arquitectónico posee, es que se necesitan pautas para proteger a nuestro Patrimonio contra su deterioro.

Para ello los equipos que trabajen en este ámbito deben ser multidisciplinares, para evitar los errores que, en alguna ocasión, puedan llegar a ser irreversibles para la edificación y cuyo costo para repararlos sea aún mayor.

### **2.3.1. Análisis y estudio del monumento**

Para conocer el estado actual de todo edificio histórico monumental considerado como Patrimonio, coincidimos con [44] Lozano A.G, (2003), que fueron uno de los primeros equipos en establecer cuál era el deterioro, las causas del envejecimiento, así como la metodología para la rehabilitación en una edificación.

Queremos empezar con los tipos de rehabilitación, realizando un análisis y un estudio que a continuación describimos:

En primer lugar queremos comentar que los edificios y monumentos, a lo largo de los años, se envuelven en diferentes cambios producidos muchas veces por las inclemencias meteorológicas, como consecuencia del clima y de las alteraciones químicas que se derivan de estas.

Para diagnosticar un edificio histórico es prioritario conocer diferentes indicadores que nos facilitarán el análisis previo al diagnóstico. Destacamos los siguientes:

- a) **La contaminación ambiental:** La presencia en el aire de concentraciones o combinaciones de agentes biológicos, físicos o químicos pueden hacer que la degradación de los edificios se desarrolle más rápido por la concentración de cuerpos de sustancias sólidas líquidas o gaseosas y que su mezcla altere las condiciones de salubridad del edificio.
  
- b) **Los factores geológicos:** Si el conjunto de elementos, tales como formaciones, paisajes, y otras manifestaciones geológicas, de significativo valor para el reconocimiento e interpretación de la historia de un determinado ámbito o situación de un edificio histórico se alteran, puede que su análisis nos sirva para diagnosticar mejor la manera de rehabilitar el conjunto edificatorio en un futuro.
  
- c) **Los factores antrópicos:** Estos son los relativos a la actividad humana, es decir, la intervención causada por el hombre atendiendo a cómo y de qué manera utiliza el edificio según el uso que se le dé. También hay que tener en cuenta que, si las intervenciones realizadas por el hombre, en este caso especialista en la materia de la rehabilitación arquitectónica, a lo largo de la vida del edificio no es la adecuada, podrían también repercutir en el análisis y posterior diagnóstico del edificio histórico.

Estos factores conjuntamente con el análisis histórico de la edificación, las características de la construcción y su estado van a ser los que marquen el inicio para empezar a trabajar ante un mantenimiento e inspección preventiva del conjunto edificatorio.

Respecto a la humedad, que ya hemos analizado en apartados anteriores, es el problema más grave que todo edificio monumental puede llegar a tener,

siendo una de las más importantes alteraciones, de no existir un plan de seguimiento y un mantenimiento. Esta patología se desarrolla, en la mayoría de los casos, sobre los muros y cubiertas.

La más problemática es la producida en los muros, ya que es desarrollada por el agua proveniente del terreno que asciende desde los cimientos hasta llegar a una determinada altura por capilaridad.

Esta propiedad que tiene el agua puede alcanzar alturas diferentes cuando se sitúa en el interior de pequeños diámetros capilares. El origen es debido en muchas ocasiones a la tensión superficial existente entre el líquido y las paredes del muro que la contienen. Su manifestación es de manchas húmedas que se reflejan en los muros, y pueden llegar a contener sales.

En definitiva los **tipos de humedad por capilaridad** pueden desarrollarse y aparecer por diferentes motivos que son los siguientes:

- a) **Niveles freáticos a la altura de los cimientos**, debiendo equilibrarse los niveles de agua, realizando pozos que puedan conducir el agua al exterior del edificio.
- b) **Niveles freáticos bajos, ascendiendo por capilaridad**, debido a problemas con el subsuelo por la porosidad de la tierra, al tener un grano muy fino que absorbe con más nitidez el agua.
- c) **Gases húmedos del subsuelo**, debido a embalsamientos de agua que debemos de retirar de nuestro edificio.
- d) **Muros con cámara bufa**. Se debe canalizar el agua hacia el exterior mediante la ejecución de un buen drenaje.
- e) **Humedad accidental por rotura de conducciones** cuya consecuencia es el aumento del volumen del agua, que puede hacer que, puntualmente, aparezcan humedades hasta alturas determinadas.

Este tipo de humedades que se observan “in situ” son producidas por las sales que ascienden y se combinan con las sales de los propios materiales,

desplazándose hacia el exterior en el proceso de evaporación. La instrumentación para el diagnóstico del tipo de humedad y contenido en sales debe ser esencial, siendo prioritario el uso del humidímetro, el galvanómetro y la termografía.



Figura 2.1: Determinación de humedad en un paramento [76]

La determinación de los tipos de humedad se lleva a cabo por las dos caras del muro, realizándose taladros en ambas que estén separados sobre la horizontal, 5 cm.; y sobre la vertical, 33 cm. La sonda del humidímetro hace que sepamos el contenido en el interior y en el muro.

- Cuando este dato es constante y decrece en su proporción en altura podemos establecer que la **humedad es por capilaridad**.
- Por el contrario, si decrece desde el exterior al interior, es decir, viniendo el agua del exterior, **la humedad es de Filtración**.
- No obstante, si disminuye del interior hacia fuera, la humedad se produce dentro, teniendo una **humedad por condensación**.
- Si se disminuye la altura de la humedad por el contenido de agua, y esta solo afecta al revestimiento, podemos tener el último tipo, denominada **humedad por capilaridad a través del enlucido**.

En este tipo de humedad, si los muros superan un grosor de 50 cm., se incrementa ligeramente hacia su mitad por la mayor evaporación superficial. Asimismo, si el muro es ciego y no tiene ningún tipo de abertura, la humedad es constante en la parte central, mientras que es mucho menor en la proximidad de las esquinas.

Antes de desecar cualquier muro con humedades de un edificio histórico, se debe conocer la distribución del contenido de agua por humedad de capilaridad, ya que así se podría tratar su desecación en la proporción adecuada. Lo más idóneo es trazar líneas a cada metro, para disponer los electrodos del humidímetro, consiguiendo así averiguar, mediante las curvas que se dispongan, el grado de humedad.

Por otra parte, el contenido de sales de un muro se determina mediante un galvanómetro. El contenido se detecta al adosar contra el electrodo cuatro sondas del propio galvanómetro y un papel absorbente humedecido en agua limpia y debiendo presionarlo en la pared o muro que vamos a estudiar.

La presencia de sales se calcula mediante la diferencia de las mediciones realizadas del papel humedecido en agua, tras mantenerlo 30 segundos exactos contra el cerramiento a comprobar. Si esta diferencia es menor que 10 no hay contenidos que sean importantes, en cambio sí es mayor de 15 existirán contenido de sales importantes.

El tipo de sales que pueden establecerse como patologías en un muro es debido al contenido de agua y a la reacción de los componentes del muro, produciéndose sulfataciones y carbonataciones, que se estiman basándose en la coloración de los reactivos químicos suministrados con el galvanómetro, añadiéndoles una muestra de la superficie que se estudie.

### **2.3.1.1.-Técnica Termográfica:**

La termografía es una técnica que no necesita contacto físico con el paramento a estudiar. Permite calcular temperaturas a distancia con exactitud. Este tipo de instrumentación permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas de precisión o de termovisión.

Conociendo los datos de las condiciones del entorno (humedad y temperatura del aire, distancia al objeto termografiado, temperatura reflejada, radiación incidente...) y de las características de las superficies que queremos investigar, la emisividad puede convertir la energía radiada detectada por la cámara termográfica en valores de temperaturas. En la termografía cada pixel se corresponde con un valor de medición de la radiación; en definitiva con un color y con un valor de temperatura.

Hemos escogido una de los estudios más representativos [72] Varas-M.J, Martínez-Garrido M.I, Fort, R. (2014), que ha sido desarrollado por el Instituto de Geociencias (UCM-CSIC) y publicado en la revista *Energy and Buildings* y *Building and Environment*, centrándose en una iglesia parroquial modelo: San Juan Bautista en Talamanca del Jarama (Madrid), que está declarada monumento histórico-artístico e integra diversos estilos arquitectónicos, entre otros el románico.

[72] Varas-M.J, Martínez-Garrido M.I, Fort, R. (2014) comentan que se ha comprobado que el uso habitual de la calefacción continuado desestabiliza el clima interior de estos edificios, afectando negativamente a la conservación de su patrimonio.

Una muestra de ello lo podemos ver la figura 2.2 de la iglesia parroquial de San Juan Bautista en Talamanca del Jarama, en la que se aprecia la termografía y, por tanto, las diferencias en temperatura.

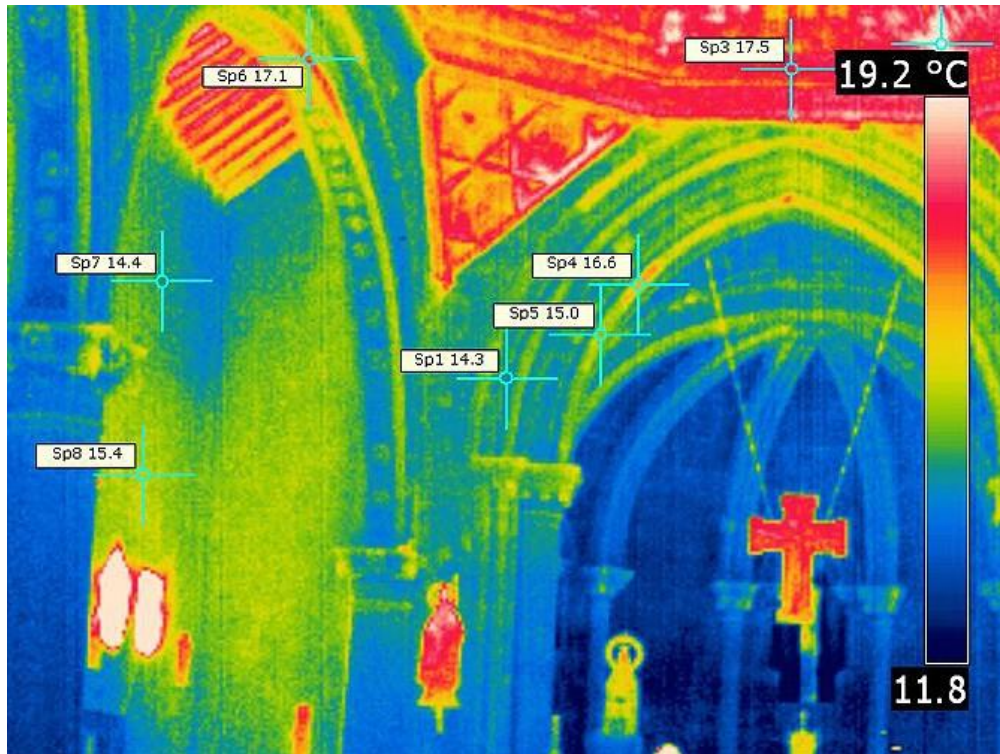


Figura 2.2: Termografía iglesia parroquial de San Juan Bautista. Talamanca del Jarama (Madrid). [75]

La intervención en los muros con humedad puede tratarse de dos formas distintas:

- a) Las humedades por capilaridad se solucionan fácilmente, ya que solo necesitan soluciones sencillas de construcción.
- b) La intervención en los muros para su desecación son más complejas de tratar.

Si las humedades de capilaridad que se han creado son accidentales, lo que se necesita es secar puntualmente el origen de la humedad, es decir, realizar una intervención en las conducciones anejas, en el posible saneamiento roto. Las humedades originadas por terraplenes y las aguas provenientes de laderas han de ser canalizarlas para que no afecten a los muros. Podemos encontrarnos impermeabilizaciones de muros a través de una canalización subterránea que se ventila. Por otra parte, es muy típico, también, encontrarnos

cámaras bufas en zonas subterráneas que actúen como dobles paredes para que discurra el agua proveniente de aguas subálveas.

La solución más sencilla es ejecutar una zanja y disponer medios tubos de distintos materiales para canalizar el agua y disponer ventilación a lo largo del perímetro que se quiere tratar. No obstante, actualmente, la eficacia y el costo han hecho que la solución más viable sea el uso de napas filtrantes que impermeabilizan y además ventilan el sistema.

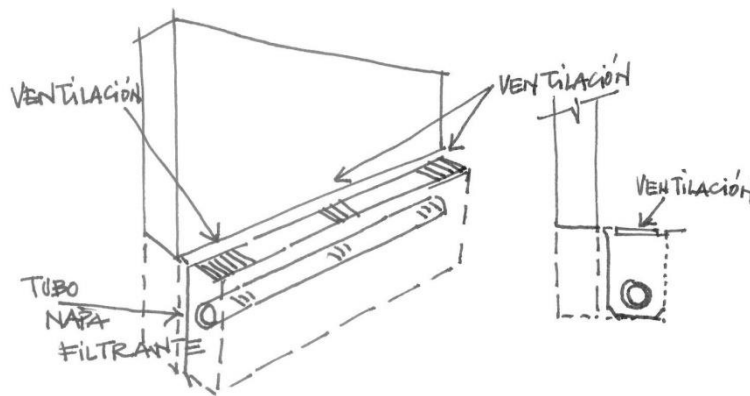


Figura 2.3: Esquema de Napas filtrantes.  
Fuente: elaboración propia

A lo largo de la Historia se han conocido diferentes sistemas de desecación que tienen su origen en la ciudad de Venecia, ya que se necesitaba una salubridad de las edificaciones, por estar anejas a los canales. La solución consistía en realizar grandes aljibes para desecar las filtraciones del agua que se producían a través de las cimentaciones.

El problema de todo sistema de desecación es el nivel freático. Su conocimiento, a través de las humedades de los muros, hace que existan diferentes sistemas de desecado.

En la actualidad los procedimientos que existen para evitar las humedades consisten en barreras químicas, físicas y eléctricas, siempre con la



ayuda de higróconectores que desvían hacia el exterior las humedades y evitan su ascenso.

### 2.3.1.2.- Procedimientos con barreras físicas

Este tipo de sistemas se utilizan en muros de sillería y fábricas de ladrillo y se pueden realizar tres tipos de sistemas: Sistema Veneciano, Sistema Masari, Sistema Comer.

#### a) Sistema Veneciano:

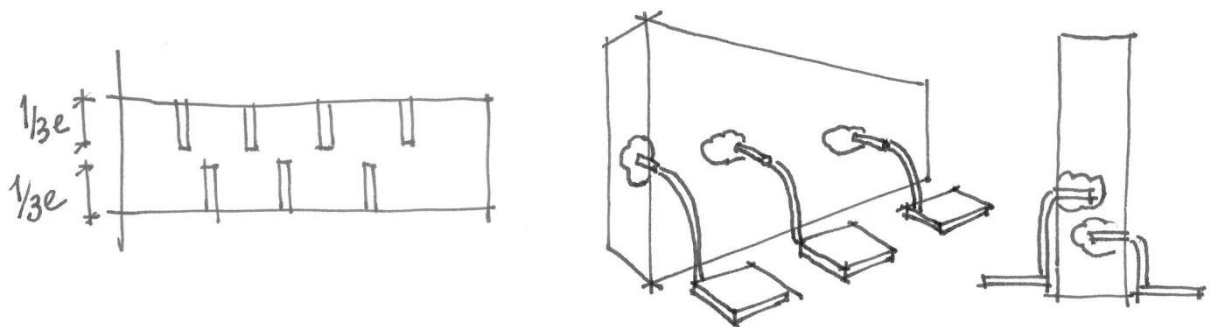


Figura 2.4: Esquema Sistema Veneciano.  
Fuente: elaboración propia

La ejecución del sistema de Venecia, de donde viene su nombre, trata de extraer la base del muro y disponer, después de abierta su base, la ejecución de una lámina o relleno de plomo. De este modo la humedad no sube por capilaridad en el muro.

## b) Sistema Masari:

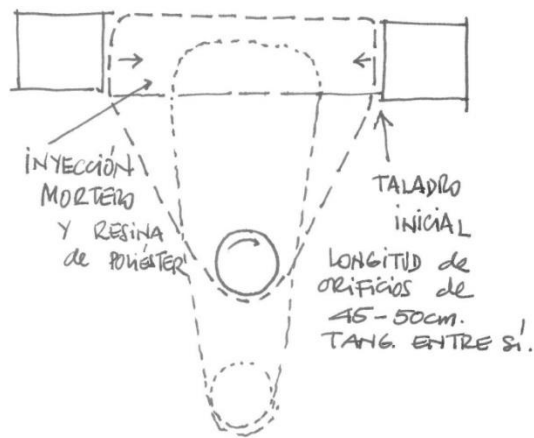


Figura 2.5: Esquema Sistema Masari.  
Fuente: elaboración propia

Este sistema debe utilizar una taladradora terminada en corona de diamante de 30 a 35 mm. de diámetro. Las fases para ejecutar el sistema son las siguientes:

- Desarrollo de taladros tangentes con una longitud entre ellos de 45 y 50 cm.
- Se realizan unos segundos taladros con centro en las tangencias de los anteriores.
- Se inyecta mortero y resina de poliéster con anterior limpieza en seco por aire comprimido.
- Después de que fragüe y endurezca la mezcla, se realiza el tramo anejo y así sucesivamente.

### c) Sistema Comer:

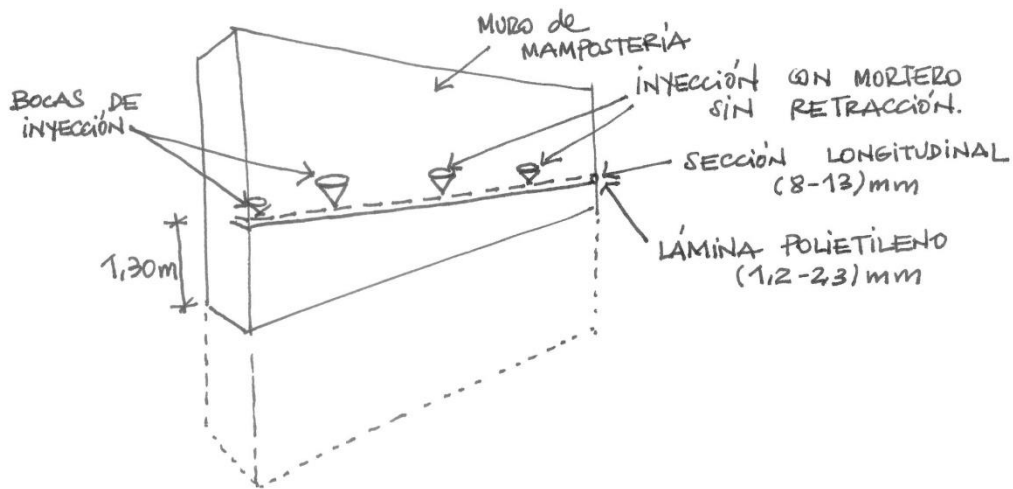


Figura 2.6: Esquema Sistemas Comer.  
Fuente: elaboración propia

El proceso para este sistema se puede realizar en cuatro etapas:

- Se realiza una sección longitudinal del muro de 8 a 13 mm. con una profundidad límite de 1,30 m.
- Se limpia y se inserta una lámina de polietileno, que también puede ser una resina de 1,2 a 2,3 mm. de espesor saliente, para afectar también al enlucido exterior. Asimismo se puede sustituir por un catalizador de secado rápido.
- Colocación de inyecciones con bocas cada 60 cm. Que se sellan a ambos lados del corte. Esta inyección debe ser a baja presión con mortero sin retracción.

#### 2.3.1.3.- Procedimiento con barreras químicas

Este tipo de sistemas se desarrolla para tratar a los muros con una mezcla repelente al agua, aunque deja pasar el vapor, por lo que son transpirables. Este

tipo de tratamiento se puede realizar basándose en dos sistemas: Sistema mediante difusión y Sistema mediante baja o alta presión.

**a) Sistema mediante difusión.**

Dentro del sistema mediante difusión podemos desarrollar diferentes subsistemas, todos ellos basándose en disponer depósitos de conexión con los difusores.

El **sistema Peter Cox** es un sistema de rehabilitación para muros, que genera un sistema de antihumedad desarrollado a través una barrera química que consiste en la ejecución de una serie de taladros a una cota de 20 cm. del suelo con un diámetro de 2,7 cm., a una distancia entre ellos de 15 cm. Se introducen los difusores y posteriormente se conectan a los tubos de conducción y estos a los depósitos. Posteriormente se cargan los depósitos con una disolución de metilsilicona disuelta en agua y se deja durante 10h a 15h.



Figura 2.7: Depósitos Peter Cox [78]

La reacción con el anhídrido carbónico de la disolución puede darse en pocas horas o por el contrario durar días, hasta 60, en función del espesor, la humedad y la propia ventilación que exista.

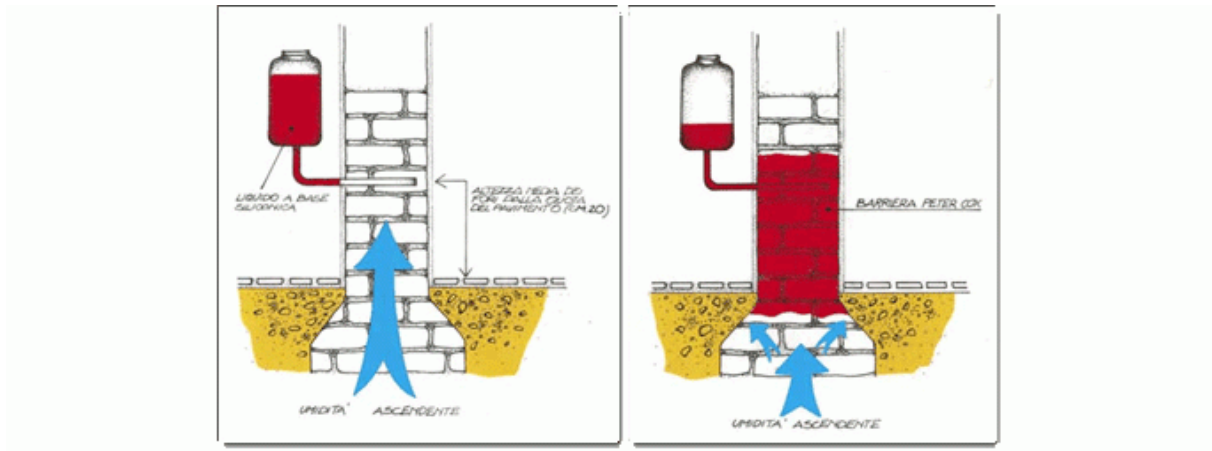


Figura 2.8: Proceso de Rehabilitación "Peter Cox" [80]

Por otra parte, existen otros dos subsistemas que son:

- **Freeztecq** en el que los orificios o perforaciones se realizan con cartuchos congelados, es decir, es un sistema antihumedad. Este sistema se basa en soluciones de siliconado, que se insertan en los agujeros perforados en la línea de mortero de la pared, para ser tratado en forma de sección circular, de pre-congelados "palos de hielo.
- Y otro, que facilita que la disolución se deseeque por un **procedimiento de microondas** y posteriormente se deje dentro de las perforaciones.

#### b) Sistema mediante baja o alta presión.

Este tratamiento debe realizarse en la época de verano, ya que las perforaciones que se realizan deben quedar abiertas para facilitar la evaporación.

La presión de este sistema se desarrolla a partir de disponer el depósito a una altura de 60 cm. Se realizan los taladros a tresbolillo con un diámetro de 10 a 15 mm., a cotas de entre 15 a 25 cm. La inclinación debe ser de entre 15° a

20° y la profundidad de los mismos debe penetrar las dos terceras partes del espesor del muro.

Se colocan los tubos para las inyecciones previa limpieza con aire comprimido, relleniéndose con silicatos y, posteriormente, se sella la boca de entrada. Queda finalizada la operación cuando aparecen las manchas en la pared opuesta, ya que posteriormente se desecará.

Para elegir uno u otro sistema se plantea el tipo, espesor, consistencia del muro, componentes, presencia de sales y distribución de la humedad. Los componentes idóneos para estos sistemas son los compuestos con silicona disueltos en agua con o sin adición de alcohol isopropílico, para que la evaporación del agua, o con otros disolventes, sea fácil de realizar.

#### **2.3.1.4- Procedimientos de barreras químicas a presión**

En este tipo de tratamiento la presión juega un papel importantísimo, ya que la inyección, al realizarse a presión, expulsa toda el agua a lo largo del interior del muro. No obstante, existe un problema en cuanto a las oquedades o poros dentro del muro. Por eso, se realiza en muros de ladrillo macizo o de mampostería compacta no absorbente. Y no se debe realizar en muros de ladrillo perforado o fábricas de doble hoja, aunque a veces se realiza, si ha consolidado con lechadas de mortero inyectadas. El procedimiento habitual para las fábricas de mampostería poco absorbente está formado por los siguientes pasos:

1. Se realizan perforaciones a unos 15 cm. del suelo con un diámetro de 10 mm. y distancias de 20 cm., seguidas de otras por encima a 10 o 20 cm. Posteriormente se inyecta a 2 atm. la disolución.
2. Se profundiza de 20 en 20 cm., inyectándose de nuevo hasta la mitad del muro.
3. Se repite el desarrollo por la otra cara del muro.

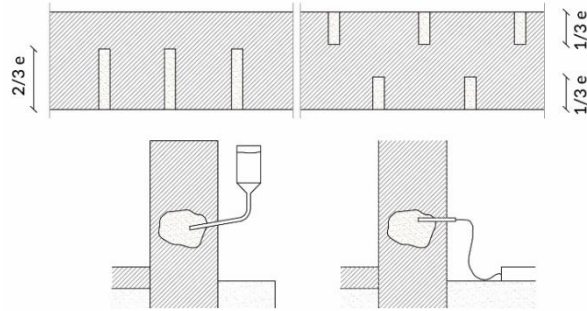


Figura 2.9: Sección y perfil del procedimiento de barrera química [81]

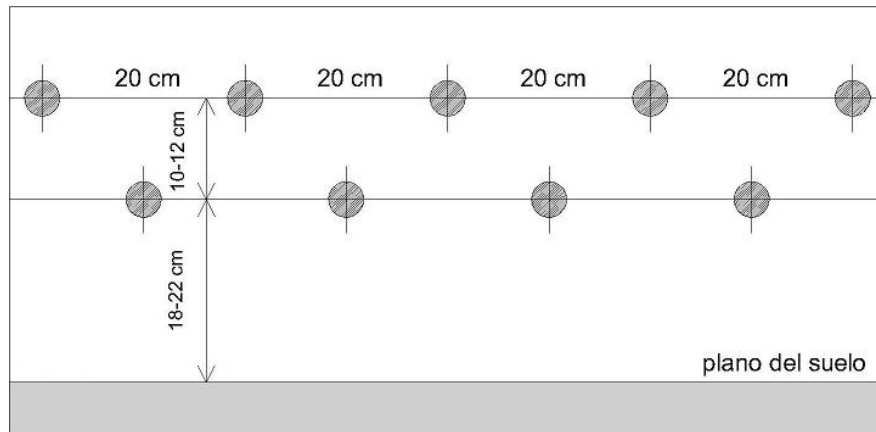


Figura 2.10: Realización de perforaciones de barreras químicas a presión. [81]

Otro procedimiento, que se basa en introducir una serie de tubos porosos transversalmente, es el de **Higroconvectores de Knapen**. Este sistema fue descubierto por el profesor Knapen para rehabilitar los muros del Palacio Real de Laeken, denominándose este sistema de higroconvectores o sifones de Knapen. Debido a sus características permite la captación de la condensación interna a través de ósmosis, siempre bajo una profundidad de 25 cm. A través de este procedimiento se expulsan los gases por descompresión.



Figura 2.11: Palacio Real de Laeken – Bruselas-Bélgica [82]

El funcionamiento del sistema consiste en que el aire como entra en contacto con un espacio húmedo del tubo, pierde calor evaporándose, por lo que se enfría y la densidad aumenta. Por este motivo las gotas de agua acumulada se deslizan a través de las paredes inclinadas y caen. El aire seco entra por la parte superior a través del vacío.

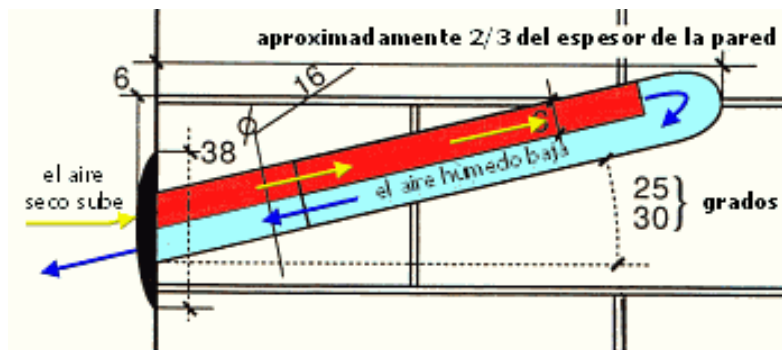


Figura 2.12: Sección hidroconvector de knapen [77]

En la colocación del convector se ha de tener en cuenta tener mucho cuidado con la perforación. Ya que se distribuyen de acuerdo con la naturaleza y densidad de los componentes de los muros, del espesor, de la orientación y del nivel y grado de humedad del edificio. Los inconvenientes pueden ser la cristalización, y por otro lado, la estética. También dentro de este sistema se debe tener un pleno control de la ejecución en cuanto a la inclinación y pendiente de las perforaciones y la porosidad de los morteros.

### 2.3.1.5.- Barreras Eléctricas

La corriente eléctrica puede generar la ascensión de agua a través de la diferencia de potencial entre el propio suelo y el muro que se da entre 0,5 y 0,8 v. Este sistema se produce basándose en un circuito electro-galvánico que se compone de electrodos potenciales diferentes como el cobre y el hierro. Por lo que se invierte el sentido del flujo y así el arrastre de la humedad del muro al



terreno. Esta técnica se basa en los procedimientos de electro-ósmosis, electro-fóresis.

### a) Sistema de Barrera por Electro-Ósmosis.

La electro-ósmosis es el sistema por el cual se realiza el paso de un líquido, en este caso agua, por una pared porosa por medio de un campo eléctrico.

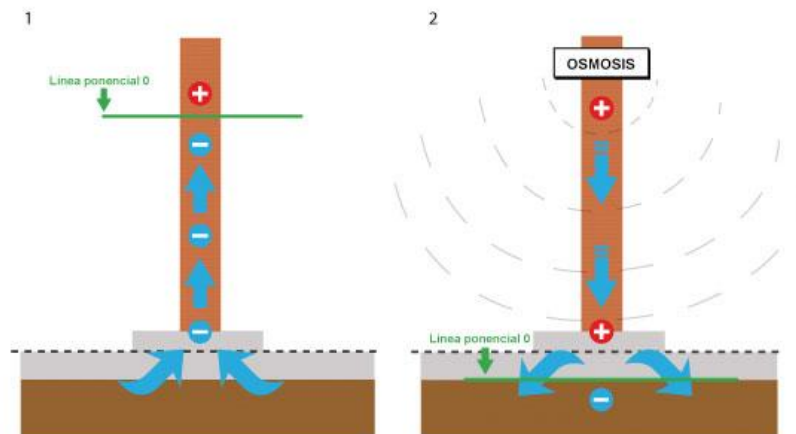


Figura 2.13: Procedimiento de electro-ósmosis [84]

La pared porosa, en la mayoría de las ocasiones, son los componentes de una pared o fábrica, insertándose electrodos de cobre que se implementan como cátodo; el agua cargada de sales y el electrolito de la pila, como ánodo que se realiza como toma de tierra de acero galvanizado clavado al terreno.

Los procedimientos a seguir para complementar el procedimiento son:

- Se realiza a una altura de unos 50 cm. del suelo y a distancias comprendidas entre 60 y 90 cm. clavándose los distintos electrodos catódicos cuyo conductor de cobre se dispone en el muro de longitud, disponiéndose en la mitad del espesor del muro más 5 cm.
- El ánodo está constituido por un tubo de acero de 30 a 35 cm. de longitud perforado en el suelo 100 cm de profundidad.
- El circuito tiene un conductor de cobre que lo protege.

La puesta a punto de los electrodos se dispone a cotas de 30 cm. y 90 cm con una colocación a tresbolillo, por lo que se reduce la zona de influencia.

#### **b) Procedimientos con Barreras por Electrofóresis:**

La electrofóresis es el estudio que se realiza a través de una partícula sólida mediante su movimiento con un campo eléctrico. Por lo que, siguiendo con el sistema anterior, se pueden rellenar los orificios con foresita, que es una arcilla coloidal.

Con el campo eléctrico estos coloides se desplazan hacia abajo por los poros donde se quedan atrapados. Cuando se deseca el muro, la foresita obstruye los conductos capilares y forma una barrera.

El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- a) Quitar la parte de revoco de la zona afectada, abriendo rozas de 8 mm. horizontalmente.
- b) Se realizan perforaciones para introducir foresita mediante tubos de arcilla porosa.
- c) Se realizan tomas de tierra situándose los electrodos y conectándose entre sí.
- d) El proceso finaliza conectando la instalación de electrodos – sonda para controlar la desecación; posteriormente se rellena la roza y se realiza el revoco con mortero muy poroso.

#### **c) Procedimiento con conductos de Electro-ósmosis:**

Este sistema se realiza por medio de tubos de arcilla muy permeable con una tapa de ventilación en un extremo. Y en el otro se dispone de un soporte que hace las veces de electrodo. Por otra parte, se entrelazan entre sí mediante dos hilos conductores de cobre.

Los tubos se colocan en los taladros realizados en el muro, disponiéndose con mortero bastardo muy poroso.

La descompresión capilar se realiza porque el agua del muro accede a los conductos saliendo hacia el exterior. En primer lugar, por gravedad; lógicamente por electroósmosis y también por evaporación.

Para finalizar, quisiéramos comentar que, también, los cambios térmicos, heladas, variaciones de tensión de vapor y puntos de rocío de condensaciones deben tenerse en cuenta en las alteraciones del edificio.

Después de investigar con las premisas de los mejores técnicos en rehabilitación del equipo Lozano, así como con los procedimientos y tecnologías existentes para el diagnóstico y tratamiento de los procesos de rehabilitación. Pasamos, en el siguiente capítulo, a estudiar la evolución histórica de la legislación en materia de rehabilitación del patrimonio histórico.

## **2.4.- Legislación en la restauración del patrimonio histórico**

En este último apartado vamos a tratar la legislación de Patrimonio Arquitectónico en España desde el inicio hasta nuestros días. La importancia de las leyes y el significado que tiene su articulado, según [46] Llull, J. (2005), hace esencial su conocimiento, para mejorar las pautas de trabajo en el ámbito de la Conservación y Rehabilitación Arquitectónica.

Los diferentes apartados son una explicación específica de cada una de ellas. Se abordan las cuestiones que han sido más importantes y esenciales para la comprensión de las distintas Leyes redactadas en España [40] Ley 16/1985 y posteriormente en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, [39] Ley 12/2002 y [18] Estatuto de Autonomía (2007).

## **Legislación en el Siglo XIX**

En el último tercio del siglo XVIII, por Orden de 3 de Octubre de 1777 se crea la Real Academia de la Historia y la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, [53] Orden de 3 de Octubre de 1777, que tenía competencias en el asesoramiento de proyectos de obras públicas. Posteriormente, en 1803, se fija la primera definición de lo que era un Monumento, “lugar arquitectónico de la antigüedad...eje sobre el que asienta el concepto mismo...” y la distinción de intervenciones según la titularidad pública o privada.

En la Real Cédula del 6 de junio de 1803, legislada por Carlos IV, se desarrolla el concepto de Monumento. Muchos autores, como Roca E. y Barrero C, definen, a partir de esta Ley, los bienes que integran el Patrimonio, considerándolos mediante su enumeración, “Monumentos Antiguos”. A partir de esta fecha se van incorporando a diferentes normas y leyes el concepto de **Protección del Patrimonio**.

Se obligaba a consultar a la Academia de San Fernando en todas las obras de escultura, arquitectura o pintura costeadas con fondos municipales o provinciales que se pretendieran realizar en templos, plazas o parajes públicos, según la Real Orden de 11 de Enero de 1808.

A partir de la 2ª mitad de este siglo .XIX encontramos diferente normativa, si bien incluyen distintas tipologías de protecciones.

- Real Orden de 13 de Junio de 1844, que desarrolla las Comisiones de Monumentos Históricos y Artísticos.
- Ley de Instrucción Pública de 9 de septiembre de 1857, conocida como Ley Moyano, en la que proponía que la Real Academia de Bellas Artes velase por los “Monumentos Artísticos del Reino”.
- Decreto de 16 de Diciembre de 1873, que responsabiliza a las Diputaciones y a los Ayuntamientos, evitando la destrucción de un edificio

público que por su mérito artístico o por su valor histórico deba considerarse como monumento digno de ser conservado.

Otras dos leyes tuvieron la capacidad de intervenir por parte de la Administración todas las obras de arte incluso las de los particulares. La primera es la Real Orden de 1 de Octubre de 1850, que interviene en las obras realizadas en fachadas, capillas y demás parajes abiertos al público, en los cuales los abusos contra las reglas del buen gusto redundan más que en perjuicio de sus autores en descrédito de la nación que los consiente. Se observa el buen gusto y no otros aspectos relativos a la protección.

La segunda ley, la Real Orden de 23 de Junio de 1851, reduce la acción de la Real Academia de San Fernando, exigiendo a los edificios de propiedad particular que estén abiertos al público.

Es a partir de principios del siglo XIX cuando encontramos las primeras normas que recogen aspectos relativos a monumentos, siendo una característica común, la poca concreción. Es importante y destacable la conservación.

### **La Legislación de 1915.**

En la segunda década del siglo XX se encuentran evidencias de la importancia que se da al Patrimonio, ya que se formula el 4 de Marzo de 1915 la Ley que hace referencia a los Monumentos Nacionales Arquitectónicos-Artísticos, si bien se siguen primando los criterios liberales, es decir, la propiedad privada sobre el interés público y los valores del bien a proteger. En esta Ley se introducen técnicas nuevas y criterios de tutela muy significativos y de honda repercusión en el futuro, aunque la principal novedad es la “necesidad de proteger monumentos mediante una declaración formal”. Este procedimiento para que un Bien sea Protegido se realiza basándose además de diferentes valores protegidos por la norma, también otros que requería el procedimiento contemplado en la Ley. Esta fue una de las más innovadoras, aunque surgen problemas puesto que Ayuntamientos y Diputaciones han de incrementar hasta

el 25% de su presupuesto en obras de conservación, restauración y conservación de monumentos.

### **Las Leyes en el periodo de 1920-1930.**

El nuevo Real Decreto de 9 de agosto de 1926 aprobó la Ley sobre la Conservación del Tesoro Artístico. Se creó, al mismo tiempo, la Junta del Tesoro artístico, formada por personas del mundo académico y universitario, a la que se encomendó las funciones de inventariado, protección y conservación.

Fueron años de una renovación de las normas anteriores y, sobre todo la incorporación de principios de protección para la tutela de **Bienes Culturales**, definiendo como tales los siguientes aspectos dentro del artículo 1 de la Ley: “Constituyen el tesoro artístico nacional el conjunto de bienes muebles e inmuebles dignos de ser conservados para la Nación por razones de Arte y Cultura”.

Los nuevos conceptos de **Interés Cultural** e **Interés Artístico**, hacen que la protección se enmarque de manera general, promulgando que el concepto de **inmueble** tenga un carácter de materia inamovible del suelo, ya que anteriormente era muy permisiva la relación de este término en otras leyes.

En resumen, se puede valorar este período como fructífero en el ámbito legislativo del Patrimonio, si valoramos los avances de estas leyes, en concreto el Real Decreto de 9 de agosto de 1926, que estuvo vigente durante los siguientes 7 años, y que con modificaciones ha estado vigente más de 50 años.

En 1929 un Decreto legislativo dividió el territorio nacional en zonas, a cuyo frente se nombraron arquitectos con la misión de conservar el patrimonio. Los elegidos fueron Alejandro Ferrant (1897-1976), Teodoro Ríos (1887-1969), Jerónimo Martorell (1876-1951), Emilio Moya (1894-1943), Pablo Gutiérrez (1876-1959) y Leopoldo Torres Balbás (1888-1960). Todos ellos defendieron unánimemente la filosofía y la práctica de las tareas que se pretendían abordar,

y todos ellos dieron un giro a la dinámica de restauración arrastrada desde el siglo anterior.

Los modelos, tanto teóricos como prácticos, de una moderna conservación se pusieron en práctica, dando forma a lo que no había sido más que un deseo de cambio. La sociedad era quien, a través de sus órganos políticos, administrativos y de sus organizaciones sociales o ciudadanas, debía responsabilizarse de la conservación patrimonial. La arquitectura y los arquitectos, habituados a este tipo de relaciones, fueron los mentores realizando un trabajo transcendental, mientras que la Universidad y el mundo científico ocuparían un papel de soporte y crítico de no menor trascendencia.

### **Legislación del Patrimonio de 1931 a 1939.**

En este período, se ha de tener presente la visión de la protección de Patrimonio, donde las ideas de diferentes ideologías no coinciden con la realidad dentro de la Protección del Patrimonio, por lo que no se pueden menospreciar actuaciones que inculcaron una nueva tendencia en la Educación de la Prevención y la Protección de nuestros Monumentos en toda España, sabiendo que la crueldad de la Guerra pasó factura al Patrimonio Histórico por las dos partes implicadas en el conflicto.

La Constitución Española de 1931, de 9 de diciembre, en su artículo 45 sanciona por primera vez la dejadez en cuanto a la Protección del Patrimonio Histórico.

La Ley de 10 de Diciembre de 1931 sobre enajenación de Inmuebles y objetos artísticos de más de 100 años de antigüedad y la Ley de 13 de Mayo de 1933 sobre Defensa, Conservación y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional, se regularon para aplicar el reglamento de la Ley de Tesoro Artístico Nacional de 1926, en la que se declararon la protección de 897 edificios, cuando hasta el momento tan solo lo estaban 370.

[38] La Ley del Tesoro artístico, Defensa, Conservación y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional, comúnmente llamada Ley de Tesoro artístico, de 1933, y su reglamento de 1936, estuvieron vigentes hasta 1985, lo que nos constata su importancia.

### **Conservación del Patrimonio de 1931-1939**

La conservación del patrimonio arquitectónico en España durante los años que van de 1931 a 1939 adquirió una intensidad sin precedentes.

Las actuaciones, tras la Revolución de Octubre de 1934, causaron importantes daños al patrimonio, siendo uno de los más importantes en la región de Asturias.

El plan de choque en la restauración de 1936, consistió en la ejecución de un plan de obras, abordándose intervenciones en 31 monumentos. Las acciones protectoras durante la Guerra Civil fueron un cúmulo de propósitos que confirmaban que el Patrimonio Arquitectónico era esencial para el país pese a las carencias debidas a la crisis económica de 1929 y a la dureza en la vida social y política durante esa época.

Varias fueron las medidas relativas a la conservación del patrimonio que el gobierno provisional adoptó en su breve existencia: la Ley 13 de mayo de 1933 sobre Conservación y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional, medidas urgentes sobre el Tesoro Artístico Nacional y el Reglamento de 16 de abril de 1936 para la conservación de obras de arte en peligro; se realizaron declaraciones masivas de monumentos en todo el ámbito del territorio nacional, y se desarrolló la creación de la figura del conservador general del Tesoro Artístico Nacional. Hay que destacar el comienzo de una política que suponía la aceptación institucional de administrar los bienes culturales, prosiguiendo con normalidad el funcionamiento tanto de la Junta Superior del Tesoro Artístico como de los arquitectos conservadores de zona. Se creó, además un órgano superior consultivo denominado Consejo Nacional de Cultura.



La gran aportación fue la aprobación de la Ley sobre Protección del Tesoro Artístico Nacional del 16 de abril de 1936, que proporcionó el marco idóneo para la futura conservación. Se destacó el incremento de los presupuestos destinados a obras de restauración, creando el Patronato de Conservación y Protección de Jardines Artísticos de España, y, a otras obras con carácter local, poniéndose en marcha la Junta de Protección al Madrid Artístico, Histórico y Monumental, y del Patronato para la reconstrucción de la Catedral de Oviedo. No obstante, con el afán de controlar el presupuesto de la nación debido a la crisis económica imperante, fue suprimida la Dirección General de Bellas Artes.

Los pocos meses de ejercicio del poder en condiciones de normalidad permitieron la aprobación de la Ley relativa al Patrimonio Artístico nacional de 13 de mayo de 1933, que dedicará su artículo 3 a un ambicioso plan de choque para obras de restauración. A partir de febrero de 1936, se restableció la Dirección General de Bellas Artes. Todo ello pudo llevarse a cabo por el trabajo de la Junta del Tesoro Artístico y el de los arquitectos conservadores. De la Junta cabe destacar al historiador Gómez-Moreno M, y al colectivo de arquitectos conservadores que trabajaron entre 1929 y 1936, no pudiéndose hablar de un grupo homogéneo de pensamiento o de acción, pero sí de la conciencia de su compromiso con la cultura y con la voluntad de plasmar toda una nueva manera de abordar la conservación monumental, rigurosa, científica, validando documentalmente sus intervenciones, y destilando en su trabajo el fruto de décadas de avance en la historia de la arquitectura, llevada a cabo por personas e instituciones que asumieron la responsabilidad de la conservación de los bienes culturales en España. Fue intenso el trabajo de estos arquitectos en la búsqueda y conocimiento del patrimonio, al llevar adelante estrictas operaciones de consolidación y conservación de manera tan radical.

Fue, pues, durante los años de 1931 a 1936 cuando se desarrolló una febril actividad y se llegaron a alcanzar quinientas intervenciones en estos seis años.

Pero todo el innovador proyecto que suponía el trabajo de los arquitectos conservadores, llevado a cabo bajo las directrices científicas de la Junta del Tesoro Artístico, quedaría interrumpido con la sublevación militar de 1936 que, también, afectó a su trayectoria. A partir de julio de 1936 todo quedó abandonado, para llevar adelante una política extraordinaria de protección en un territorio dividido y sometido a las desastrosas consecuencias, personales y materiales, de la guerra.

El período de la Guerra debe considerarse, a todos los efectos, el de una situación extraordinaria: de un lado, las destrucciones habidas durante los primeros meses en las zonas bajo control de la República. El asalto a iglesias, conventos y palacios, provocó innumerables pérdidas. De otro lado, las acciones bélicas, sumadas a los ataques aéreos, realizadas por los militares sublevados (Madrid, Barcelona, Guernica, etc.), completan un panorama desolador.

Ya no se trataba de llevar a cabo acciones y proyectos de conservación, sino de protección y recuperación de un patrimonio en un serio peligro, algo que adquiere relevancia visto lo ocurrido en otros países, al estallar las diferentes Guerras Mundiales.

Cuando el gobierno republicano logró controlar la situación política, creó, en abril de 1937, la Junta Central del Tesoro Artístico y la Junta Delegada del Tesoro Artístico, donde se integraron aquellos que habían tenido responsabilidades en la conservación del patrimonio en años anteriores, como los arquitectos que, en el momento del golpe militar, se encontraban en zona republicana.

## **Periodo de 1939 a 1975**

En este periodo se entremezclan muchos ámbitos y se militariza todo tipo de protección del Patrimonio. Los proyectos de Patrimonio Arquitectónico nuevos y de rehabilitación son creados basándose en el auge de los principios instaurados en la época posterior a la guerra civil. Es a finales de 1975 cuando se erigen los principios para la creación del Ministerio de Cultura.

## **La legislación del Patrimonio de 1975 a 1985.**

A finales de 1975, ante el comienzo de la democracia, se renuevan muchos aspectos de diferentes legislaciones, una de ellas fue la del Patrimonio Histórico.

En 1977 se crea el Ministerio de Cultura. Se realizan grandes progresos sobre la protección del Patrimonio ante la necesidad del cambio político.

Se reforma la legislación del Patrimonio, que llegó con la aprobación el 25 de Junio de la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español. Este nuevo orden jurídico plasma dos ideas fundamentales:

La primera es la renovación de los objetivos, misión e instrumentos de la tutela que se experimenta a partir de la Segunda Guerra Mundial. Los organismos como International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) el Consejo de Europa, y la UNESCO, se institucionalizan y difunden los principios de la protección del Patrimonio.

La segunda idea es que el concepto de Patrimonio Histórico, Cultural y Artístico, se instaura con la Constitución Española de 1978. Asimismo se dictamina que sean transferidas las competencias en la materia del Patrimonio a las Comunidades Autónomas.

Nuestra Constitución Española, enmarca el concepto de Patrimonio Histórico, Cultural y Artístico a través de la concepción moderna de la cultura,

basándose en la Teoría de los Bienes Culturales de Italia, más conocida como la Comisión Franceschini (1946 -1966) definiendo los **bienes culturales** en el artículo 46 como “Todos los Bienes que tienen relación con la historia de la civilización”.

Por ello el concepto de **Patrimonio** en nuestra Constitución, en su artículo 46, se integró de la siguiente manera: “Los poderes públicos garantizarán la conservación y promoverán el enriquecimiento del Patrimonio histórico, cultural y artístico de los pueblos de España y de los bienes que lo integran, cualquiera que sea su régimen jurídico y su titularidad”. El concepto de monumento se engloba directamente dentro del citado término de Patrimonio Histórico, Cultural y Artístico. Además del concepto de Patrimonio Histórico, Cultural y Artístico se incorpora el concepto de **propiedad dividida**.

Asimismo la Constitución, en su artículo 132, describe **los niveles de protección** de los Bienes del Patrimonio Histórico, estableciéndose de la siguiente manera:

- **Bien de Interés Cultural:** Suponen el mayor valor patrimonial de Inmuebles y muebles. Son el máximo reconocimiento del valor patrimonial y están íntimamente relacionado con la mayor tutela de la administración. Asimismo los Bienes de Interés Cultural deben incluirse en un Registro General.
- **Inventario:** Solo afecta a los bienes muebles. Persiguen, además de ser reconocidos como Patrimonio Histórico, que la Administración sigan sus movimientos así como los cambios de propiedad.
- **Patrimonios Especiales:** son el Patrimonio Arqueológico, Etnográfico, Documental y Bibliográfico. En cuanto a los BIC, Bienes de Interés Cultural se desarrolla su reglamentación mediante las figuras zonales y las no zonales.
- **Figuras zonales:** Son grandes áreas que afectan a un gran número de personas. Muchas veces se encaminan hacia el planeamiento urbanístico. Son, por ejemplo, los Conjuntos Históricos, Sitios Históricos y Zonas Arqueológicas.

- **Figuras no zonales:** Normalmente afectan solo a un inmueble. Estas figuras son Monumento y Jardín Histórico. Las actuaciones que se realicen siempre tienen que tener autorización expresa de la Administración Cultural.

La Ley 16/85, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español estuvo totalmente vinculada al Urbanismo, pero durante su redacción no se vinculó al planeamiento.

### **La legislación del Patrimonio Histórico. Castilla y León.**

Ante la transferencia de las competencias en materia del Patrimonio a las Comunidades Autónomas, se empezaron a redactar las primeras leyes autonómicas, como la Ley 7/1990 del Patrimonio Cultural Vasco, la Ley 4/1990, de 25 de mayo, del Patrimonio Histórico de Castilla La Mancha y la Ley 1/1991 de Patrimonio Histórico de Andalucía.

En la Comunidad de Castilla y León las competencias sobre el patrimonio histórico, artístico, monumental y arqueológico en el ámbito de su territorio, se desarrollaron según el artículo 32 de su Estatuto de Autonomía. BOCyL núm. 234, de 3 de Diciembre de 2007 y BOE núm. 288 de 1 de Diciembre de 2007.

El Decreto 176/1996, de 4 julio, BOCyL núm. 131, de 4 de Julio de 1996 aprobó el [14] Decreto 176/1996, denominado Plan de Intervención en el Patrimonio Histórico de Castilla y León para el período 1996-2002, tenía como objetivos básicos el cumplimiento de la misión que el ordenamiento jurídico, atribuyendo a la Administración el Patrimonio Histórico y la contribución a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, mediante la promoción de la cultura y del desarrollo económico. Podemos destacar:

- Diagnóstico actualizado del estado de conservación de todos los inmuebles de nuestra Comunidad Autónoma declarados Bien de Interés Cultural, o con expediente incoado a tal fin.
- Redacción de Planes Directores de actuación, referentes a la restauración, propuestas de uso, estudios, gestión y difusión, en los monumentos más significativos de la Comunidad.
- Conocimiento científico de los elementos desde el punto de vista histórico, artístico y constructivo.
- Seguimiento del estado real de cada elemento que permita conocer sus necesidades objetivas.
- Investigación de los materiales y técnicas constructivas tradicionales, su evolución en el tiempo, patologías y utilización actual de dichas técnicas.
- Investigación y estudio de nuevas tecnologías y materiales aplicables al ámbito de la restauración y conservación del patrimonio histórico.

Para ello, el Plan de Intervención se desarrolló y articuló sobre áreas concretas que son las áreas de Plan de información y diagnóstico, Plan de protección, Plan de fomento y de gestión, Plan de formación, Plan de difusión, fijando objetivos generales, así como la inversión y el período previsto para su ejecución.

Concluida la vigencia del Plan aprobado por el Decreto 176/1996, la evaluación de su ejecución y resultados ha permitido un análisis actualizado de las previsiones en él formuladas.

La experiencia del Plan de Intervención aprobado para el período comprendido entre 1996-2002 demostró la utilidad de un instrumento de estas características para desarrollar nuestro Patrimonio, implicando para su protección y transmisión a las generaciones futuras.

Este Plan, contenía los objetivos y directrices que debía orientar la política que la Administración de la Comunidad Autónoma iba a desarrollar en el ejercicio de sus competencias en esta materia, durante su período de vigencia.

Asimismo contenía un conjunto de líneas estratégicas con el que se pretendía proporcionar, a la Administración de la Comunidad y a las restantes entidades responsables de la atención al patrimonio histórico y cultural en sus distintos aspectos, un instrumento de gestión que sirva para encuadrar las futuras actuaciones, con el fin de mejorar la atención a los bienes integrantes de nuestro patrimonio cultural y de garantizar su utilidad para los ciudadanos.

En cuanto a la conservación del Patrimonio Cultural de Castilla y León y la promoción de su investigación y enriquecimiento se desarrolló la Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León.

Dicha Ley, y su correspondiente desarrollo reglamentario, configuraron el marco en el que se situaron las actuaciones que la Junta de Castilla y León desplegó en materia de promoción y protección del Patrimonio. A partir de estos años de 2002 al 2004 se redacta un Plan, aplicando la Ley 12/2002 de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León. Este Plan de rehabilitación del Patrimonio abarca los años de 2004-2012 proponiendo alcanzar los siguientes objetivos:

- Racionalizar los recursos existentes y desarrollar las actuaciones de acuerdo a criterios objetivos de conservación y de promoción de desarrollo social y cultural.
- Promover e impulsar la participación de todos los agentes posibles en la conservación y gestión de los bienes patrimoniales.
- Propiciar programas de mantenimiento y de gestión del patrimonio histórico.
- Fomentar el conocimiento, conservación y valoración del patrimonio en los ciudadanos, de cara al refuerzo de su identidad cultural y territorial, y a su mayor cohesión social.
- Promover programas para apreciar la conservación del patrimonio histórico de la Comunidad, especialmente tipos de bienes patrimoniales que son menos considerados, así como un uso y disfrute respetuoso del mismo de cara a conseguir una mayor conciencia y corresponsabilidad social.

- Promover la formación de técnicos y especialistas en todos los ámbitos relacionados con salvaguardar el patrimonio.
- Propiciar un equilibrio sostenible capaz de satisfacer las demandas de las generaciones presentes sin comprometer a las generaciones futuras para apreciar los valores de originalidad y autenticidad en los bienes patrimoniales conservados.
- Obtener del patrimonio rentabilidad social y cultural sin detrimento de su integridad.
- Evitar los peligros de asignar los recursos procedentes de la explotación del patrimonio a su mejora y enriquecimiento, como garantía de su conservación.
- Lograr un equilibrio entre patrimonio y actividad turística y de ocio, evitando la sobrecarga y estableciendo pautas para el uso de los bienes integrantes del Patrimonio Histórico.

Por otra parte, durante 2006 se aprobó una Ley 11/2006 de 26 de octubre, del Patrimonio Natural haciendo eco de su protección. Durante todo el período de 2004 a 2011 se realizó un ingente trabajo sobre actuaciones en todo el Patrimonio, lo que ha fomentado toda una nueva sensibilización hacia todo tipo de Arquitectura e Ingeniería que ha hecho fomentar el turismo en toda la Comunidad Autónoma.

### **Plan Nacional de Conservación Preventiva para el Patrimonio Arquitectónico 2012-2015.**

Desde 2012 hasta 2015, el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, con acuerdo de todas las Comunidades Autónomas ha formado las bases para el desarrollo del [61] Plan Estratégico Nacional de Conservación Preventiva para el Patrimonio Arquitectónico de toda España aprobado en julio de 2012 por la Secretaría de Estado de Cultura. Un proyecto para mejorar todo nuestro Patrimonio y ser guía para Inspecciones y Mantenimiento de todos los Bienes Culturales de nuestro país. Las premisas de este Plan Marco sobre Conservación Preventiva se realizaron basándose en el estudio de necesidades



formativas en la Conservación Preventiva, según las premisas de la reunión internacional en Vaanta (2000), siendo esas ideas un referente en la Rehabilitación.

En las conclusiones de la [65] Reunión Internacional de Vaanta (2000) se dictaminó que se debía trabajar en las siguientes propuestas e iniciativas:

- Establecer y desarrollar el contenido de los conocimientos fundamentales relacionados con la conservación preventiva.
- Introducir el concepto de conservación preventiva, en los niveles apropiados, en todos los programas de estudio relacionados con el patrimonio cultural.
- Establecer un plan curricular de conservación preventiva para instituciones de formación en conservación-restauración.
- Crear posibilidades de especialización en conservación preventiva (como cursos de posgrado y doctorados).
- Estimular la investigación en conservación preventiva.
- Desarrollar programas de formación del profesorado para conservación preventiva.

Podemos destacar, en la primera etapa del análisis de Plan Nacional de Conservación, seis puntos claves:

- a) **Identificar y presentar los instrumentos de gestión de la prevención**, que han sido publicados en el extranjero, aplicados a un edificio, etc. Y la realización de una evaluación crítica en vista de una aplicación al contexto español.
- b) **Identificar y presentar las iniciativas de sensibilización de la sociedad civil en lo referente a la fragilidad del patrimonio.** Comparar los medios, los «públicos» y las estrategias que podrían ser útiles para sensibilizar en la conservación del patrimonio, como se ha sensibilizado en el objetivo de la protección del medio.

- c) **Identificar** en los **ciclos formativos universitarios y otras formaciones superiores regladas y no regladas, los ECTS** correspondientes a materias que ofrecen conocimientos en conservación preventiva.
- d) **Comparar la formación en conservación y restauración en España con la formación en el extranjero**, con especial atención a la prevención.
- e) **Identificar a nivel nacional y autonómico las instituciones** que, de cerca o de lejos, tienen un **impacto sobre la protección del patrimonio**.
- f) **Estudiar los modelos de gestión** que se proponen y ofrecer estrategias en sinergia con otros sectores junto con el del patrimonio: urbanismo, medio ambiente...

A lo largo del capítulo hemos realizado un recorrido, desde la patología, pasando por la diagnosis y la rehabilitación de cada una de las patologías que existen en Rehabilitación. Y finalizamos el capítulo haciendo una exposición, a nivel legislativo, del patrimonio y su conservación, a lo largo de los dos últimos siglos en España, teniendo en cuenta que los primeros indicios normativos surgen a principios del S. XIX.

Hemos destacado leyes que exponen acciones relacionadas con la inspección, mantenimiento, conservación, etc., que son punto de partida y fundamento del presente trabajo.

En el siguiente capítulo nos adentraremos en la tecnología existente relacionada con los drones conociendo sus elementos y reglamentación.





## **CAPÍTULO 3: DRONES O RPAS (REMOTLY PILOT AIRCRAFT SYSTEM)**

“Los Drones han venido para quedarse e  
integrarse en nuestra sociedad...”



Dentro de este capítulo abordaremos, en primer lugar, la tipología de drones que existen, así como los componentes para su prototipado y manejo. Posteriormente hablaremos tanto de las aplicaciones que a día de hoy existen y de la legislación vigente, nacional e internacional, en el campo de los vehículos no tripulados o drones.

Posteriormente, nos centraremos en los componentes y electrónica de los drones, desde una visión global, es decir, explicaremos el desarrollo y los procedimientos de uso de drones (RPAS) que pueden dar lugar a un instrumento indispensable en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la rehabilitación.

### **3.1.- Descripción general de la tecnología de un dron o RPAS.**

Un Dron es un aparato pilotado por control remoto que puede volar por medio de un controlador de vuelo, según los diferentes informes de las ponencias sobre [12] drones y sus aplicaciones a la Ingeniería civil. (2016).

También es conocido a nivel profesional por el nombre de RPAS, cuyas siglas en inglés Remotly Pilot Aircarf System, tienen como traducción el nombre de Sistema de Pilotaje de Aeronaves por Control Remoto. Por otra parte, se puede definir como un cuadricóptero con diferentes motores que por medio de propulsión e impulsión se mueve y vuela. Para que el aparato se mantenga estable respecto al eje, la mitad de sus hélices giran en un sentido y la otra mitad giran en sentido contrario.

Desarrollando un poco la historia de los RPAS o drones a lo largo de los años, debemos conocer que estos aparatos, en cierta, medida llevan con nosotros casi cien años, evolucionando de muy diferente forma. El primer cuadricóptero que se hizo volar fue en el año 1922, por George de Bothezat, pero no lo consiguió levantar más de cinco metros del suelo. En 1923 Étienne

Oehmichen consiguió hacer volar un cuadricóptero cinco minutos, en 1923; y en 1924, lo elevó 10 metros del suelo en un vuelo de siete minutos.

La palabra *dron* o en plural “drones” se registra en la 23ª edición del Diccionario Académico, como adaptación al español del sustantivo inglés *drone* (literalmente ‘zángano’), para referirse a una ‘aeronave o vehículo no tripulado.

En una primera etapa, este término aludía a aparatos básicamente de uso militar y con aspecto similar al de un avión de ala fija, por lo que se extendió como alternativa al término procedente del inglés la expresión avión no tripulado, que puede considerarse adecuada en muchos casos.

No obstante, en los últimos tiempos han surgido otros vehículos que no guardan apenas semejanza con los aviones. Para ellos pueden emplearse expresiones más genéricas como **vehículos aéreos no tripulados, robots voladores.**

### 3.2.- Tipos de drones.

La clasificación que se puede realizar de los drones o RPAS, se establecen en 3 categorías, que pueden clasificarse según su peso, y las publicaciones de [15] Chen, H. Wang, X. Li, Y.(2009) [13] y Dougherty, J. (2015):

- a) hasta 2 kg.
- b) menos de 25kg
- c) más de 25 kg.

Drones con peso inferior a 2Kg, drones con peso entre los 2Kg. y 25Kg., y drones con peso superior a 25 kg. Para estos dos últimos drones, tipo b) y c) es imprescindible disponer de un carnet de piloto de drones para poder operar en España.



Debe incluirse obligatoriamente una placa identificativa con el nombre del fabricante del aparato, así como los datos fiscales de la empresa que lleve a cabo dichas operaciones. Los drones de peso inferior a 2kg, no será necesario que estén inscritos en el registro de aeronaves, ni disponer de un certificado de aeronavegabilidad, según, [8] Bellver, S. (2015).

### **3.2.1.- Placa identificativa y registro.**

Todos los drones o RPAS (tipo b y c), aeronaves pilotadas por control remoto deberán incorporar una placa identificativa, donde conste su número de serie, nombre de la empresa operadora y los datos de contacto. Esta placa deberá disponerse en un lugar visible, anclada o soldada a la estructura portante del dron. Los drones cuyo peso exceda de 25 kg, deberán, además, estar obligatoriamente inscritos en un Registro de matrícula de aeronaves y disponer de un certificado de aeronavegabilidad. Estarán exentos de este requisito los drones cuyo peso no alcance dicho límite.

### **3.3.- Mecánica y composición de un dron**

La composición y forma de funcionamiento que debe tener todo dron o RPAS requiere una elección específica del tipo de materiales para su montaje y prototipado.

#### **3.3.1.- Funcionamiento de un Dron.**

Para su correcto funcionamiento, lo más habitual es que use cuatro hélices, o más: dos giran en un sentido y dos sentido contrario; y trabajan al mismo tiempo para elevarlo en el aire. Si variamos el empuje ejercido en cada hélice podemos conseguir una completa estabilidad del Dron.

El Dron tiene cuatro tipos de movimiento:

- Yaw: (Guiñada o Rotación) Es el movimiento hacia la derecha o izquierda del eje vertical.
- Roll: (Alabeo o Inclinación). Es el que desarrolla un movimiento hacia la derecha o izquierda del eje longitudinal.
- Picth: (Cabeceo) Este movimiento se desarrolla a partir de la rotación hacia delante o hacia atrás con respecto al eje transversal o lateral del dron
- Altitud: Es el movimiento de elevación en vertical.

Todos estos movimientos están controlados por la variación o el ajuste en la propulsión de cada hélice.

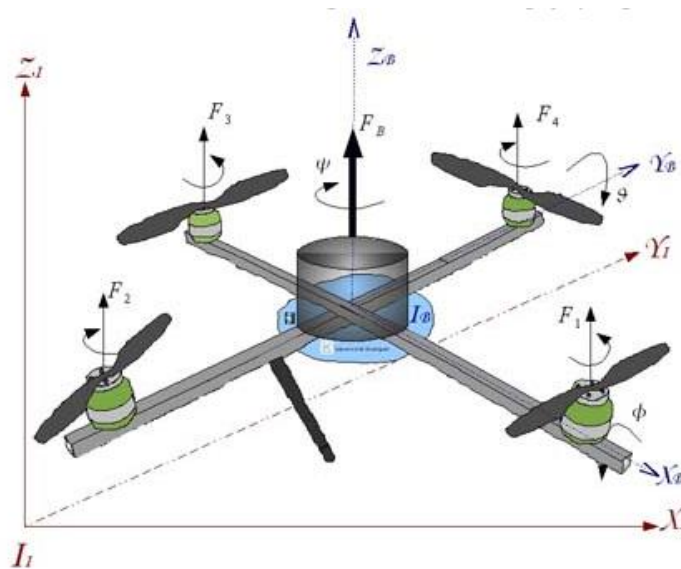


Figura 3.1: Movimiento de motores en un dron [85]

Para inclinar el dron hacia adelante deberemos incrementar la potencia de propulsión de una hélice y reducir la de la hélice opuesta. Se debe realizar la operación de forma simultánea, lo que provocará que la fuerza del vector se divida en dos componentes, la horizontal y la vertical, lo cual tendrá dos consecuencias.

- a) El Dron empezará a volar en sentido contrario al horizontal.
- b) El componente vertical será más pequeño, provocado por la disminución de la fuerza del vector.

Esto puede ocasionar el descenso vertical del dron. Para evitarlo será necesario incrementar la propulsión de las cuatro hélices.

### **3.3.2.- Principales elementos que componen un dron.**

Son muchos los tipos de drones que existen. Varían en función de sus componentes, es decir, del número de brazos, de la colocación de los motores. Así que son multitud de variables las que hay que tener en cuenta.

#### **a) Número de brazos.**

Un dron puede contar con tres, cuatro, seis y, hasta ocho brazos. De este número dependerá la estabilidad y la capacidad de movimiento de cada aparato. Los drones que existen en función de los brazos pueden denominarse tricóptero, cuadricóptero, hexacóptero u octocóptero, en función del número de hélices con el que se haya diseñado. También podemos observar que en algunos drones dos de sus brazos son de diferente color para conocer dónde está.

### b) Marco o frame:

Es el esqueleto del dron. Es la estructura que le da la forma y en donde todas las otras partes se instalan y aseguran. Como se observa existen diferentes diseños y materiales.



Figura 3.2: Cuerpos de un dron [86]

### c) Los motores, hélices y ESC's:

Los motores son los componentes fundamentales para mantener al RPAS/dron en el aire. En función de dónde estén colocados, los motores pueden ser normales o coaxiales. El dron normal es el que tiene los motores arriba, y el coaxial es que los tiene arriba y abajo. Los Electronic Speed Control (ESC) o Controladores de Velocidad Electrónicos regulan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia.

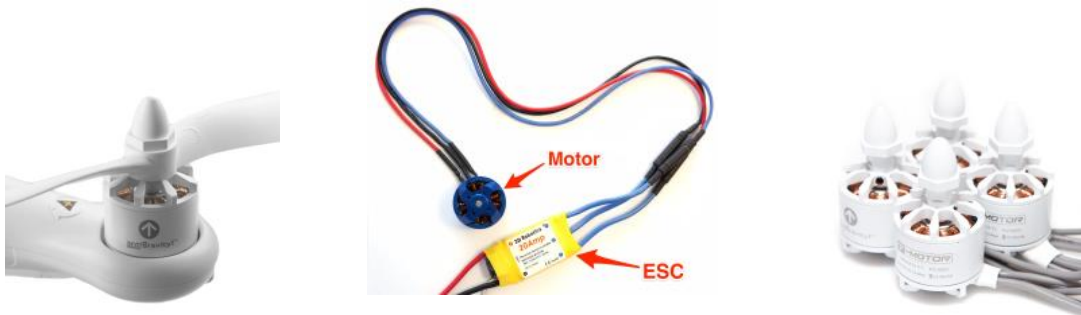


Figura 3.3: Motores, hélices y ESC de un dron [86]

Este giro está conectado a las hélices cuya rotación a alta velocidad genera la sustentación del RPAS o dron.

#### d) Las baterías.

Proporcionan la energía necesaria para hacer funcionar el equipo. Son componentes muy pesados por lo que es esencial que sean capaces de tener una buena relación peso/capacidad para maximizar la autonomía de vuelo del RPAS/dron. Las más utilizadas son las baterías Li-Po (polímero de litio) debido a su densidad de energía, su bajo peso y su alta tasa de descarga, que es ideal para maniobras ágiles, como las de un dron. Una autonomía de 10 minutos se considera lo normal y más de 20 minutos se considera excepcional. Son muy sensibles y los modelos más pequeños tienen una vida útil de 100 ciclos. En el caso de que esté hinchada, debemos deshacernos de ella sin intentar recargarla.



Figura 3.4: Baterías de polímero de litio para un dron [86]

Encontramos baterías de 1S y 2S en drones pequeños, 3S en formatos medios y 4S en los modelos de drones o RPAS profesionales. Los modelos de 1S y 2S suelen recargarse por USB. Para las baterías 3S se necesita un cargador especial que equilibra las células de carga para optimizar la descarga. Esta recarga se realiza automáticamente con un cargador que proporciona el fabricante, tardando entre 30 minutos a 2 horas en recargar, según [23] Freund, S. Xu, Sun, J. (2003).

### e) El gimbal.

El dispositivo denominado gimbal o sistema de sujeción de la cámara es el componente más importante para las grabaciones aéreas con dron. El gimbal es la parte que proporciona estabilidad a la hora de hacer la grabación en movimiento. De ello depende obtener unas imágenes de vídeo de calidad, lo más estables y limpias posibles, según [31] Hsia, K.-H Lien, S.-F. Su, J.-P (2010).

Se recomienda que el mejor gimbal debe tener motores como servos y debe ser ligero y resistente, preferiblemente de fibra de carbono. Los gimbales pueden ser de dos o de tres ejes.



Figura 3.5: Gimbal para drones [86]

### f) Controlador de Vuelo.

Este componente es el cerebro de la máquina. Controla todo lo que sucede con el dron o RPAS, y en él se conectan todos los componentes electrónicos.

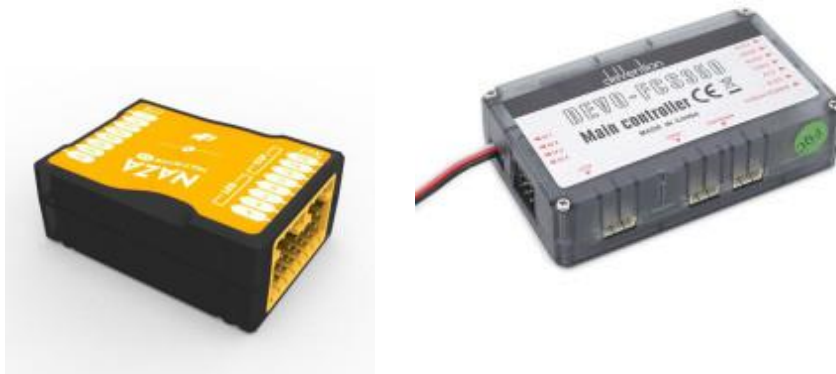


Figura 3.6: Baterías de polímero de litio para un dron. [86]

### g) Radio Receptor- Emisora:

Es el responsable de recibir la señal de radio enviada desde el Control Remoto, el cual ha interpretado el movimiento realizado por el usuario y lo ha transformado en onda radial. La señal de radio es recibida por el Receptor del dron o RPAS. Es transformada en datos que se envían al Controlador de Vuelo para que ejecute la instrucción, normalmente con cambios coordinados en la velocidad de los motores, si se trata de una instrucción de movimiento.



Figura 3.7: Emisora e instrumentación para el manejo de un dron. [86]

Estos son los elementos básicos que constituyen un dron. Con esto ya es posible volar, pero existen componentes adicionales para darle mayor estabilidad, seguridad y utilidad al equipo. A continuación, exponemos algunos ejemplos:

### h) G.P.S.

Este componente conectado al Controlador de Vuelo le permite conocer la ubicación, altitud y velocidad exactas del dron. A partir de esto, y dependiendo del programa que tenga el controlador, se podría automatizar el comportamiento del dron para mantenerse estático en un mismo punto, volar en cierta dirección o velocidad relativa o volar hacia puntos predefinidos.



Figura 3.8: Instrumentación para la conexión del GPS. [86]

### i) First Person View (FPV). Vuelo en primera persona

Consiste en un sistema de transmisión y recepción del video capturado por la cámara, en tiempo real. De esta manera el usuario u otro interesado pueden mirar lo que el dron está “viendo”. Comúnmente consiste en conectar la cámara a un transmisor de video pequeño montado en el dron y un receptor con una pequeña pantalla, para que el usuario la pueda cargar y ver mientras acciona el control remoto. Es de mucha utilidad para lograr vuelos de gran altura o distancia de forma segura, y para capturar la mejor toma durante un vuelo.



Figura 3.9: Instrumentación para el manejo de un dron mediante FPV [86]



### 3.3.3.- Elección de materiales para la mejora de un dron o RPAS.

Coincidiendo con las premisas de la empresa Erle Robotics, una de las mejores de España, y de autores como [35] Kubota, Y. Iwatani, Y. (2011), la elección del motor adecuado es importante para un buen rendimiento en cualquier dron. Con la gama de diferentes tamaños, velocidades y especificaciones para cada motor, la elección de motores adecuados puede ser una tarea que pueda llegar a tener alguna dificultad.

#### a) Motores.

Para comenzar el proceso de selección básico, necesitamos calcular cuánto empuje será necesario para mantener la nave en el aire. La regla básica con multi-rotors es que sus motores deben ser capaces de producir dos veces el peso total de vuelo de la nave en el empuje. Este "margen de seguridad" asegura que los motores sean capaces de responder rápidamente a sus entradas de control, o detener un descenso vertical rápido, incluso cuando el voltaje de la batería se reduce con el tiempo. Por lo tanto, la ecuación es:

$$\text{Empuje requerido por motor} = (\text{peso de la aeronave} \times 2) / 4 \text{ motores.}$$

Así que para una embarcación de 4 motores (QuadCopter), cada motor debe ser capaz de producir un medio de peso de la aeronave en el empuje.

No hay duda de que ya se está viendo el problema con esta ecuación, que en realidad no sabe lo que su dron pesará todavía. A los efectos de la estimación, podemos suponer que cada motor y su hélice pesa 100 gramos, por lo tanto, un total de 400 gramos por 4 motores. A esto hay que añadir el peso de la trama, que es probable que sea alrededor de 450 - 500 gramos, otros 300 gramos de la batería, y otros 100 gramos para 4 de "controladores de velocidad," (ESC) y sus cables y enchufes, el receptor de radio, tablero de control y cableado, que probablemente pesará como máximo 50 gramos. Si llevamos una carga útil, como por ejemplo una cámara u otro equipo especial, tendrá que añadir dicho peso.

Para un dron, el peso de vuelo total es probable que sea alrededor de 1,3 kg. Usando la ecuación anterior, estamos en busca de un empuje, total de 2,6 kg, o 650 g por cada motor.

Ahora sabemos que estamos buscando motores de hasta 1000 gramos de empuje, lo que puede generar al menos 650 gramos de empuje, utilizando una batería de 3 celdas y un propulsor de 8 a 12 pulgadas de diámetro.

Para las aeronaves de acrobacia aérea se debe buscar en los motores de alrededor de 1000-1400kv y relativamente pequeñas hélices. Estos harán que el dron sea más sensible y permita saltos y otras maniobras acrobáticas, a expensas de ser un poco más difícil de controlar.

En grandes multi-rotors o aeronaves que lleven cargas útiles las grandes hélices y los motores de baja Kv trabajan mejor. Estos tienen más impulso de rotación, y mantendrán más fácilmente la estabilidad del dron. Lo que buscamos son motores de 700-900kv capaces de hacer el empuje que necesita. Los drones básicos comúnmente utilizan hélices tipo slow-fly 2 palas, 8.12 pulgadas de diámetro y con un paso de 4 a 6 pulgadas; sin embargo, la selección de la hélice es muy importante y puede ser un poco complicados. Solo tiene que utilizar los tamaños anteriores.

Es importante trata de comprobar los siguientes elementos en cada motor:

- Peso: 100 gramos o menos.
- Voltaje: 3 celdas (11.1V) generalmente lo que se está buscando.
- Velocidad de Motor (kV): de acuerdo a sus necesidades. Mientras más lento, más estable.
- Datos Thrust: Capacidad de empuje de acuerdo a la fórmula expuesta.
- Tamaño: Los motores más comunes van desde 21 a 30mm.

## b) Controlador de velocidad o ESC

Una vez que hayamos elegido el motor, también es necesario seleccionar el controlador de velocidad o "Electronic Speed Control" (ESC), afortunadamente, esta tarea es mucho más simple que la selección del motor.



Figura 3.10: Controladores de Velocidad (ESC) [86]

Los ESC se clasifican principalmente para la cantidad de corriente que puede suministrar constantemente al motor. Algunos también pueden tener una calificación de "Burst Current", pero esto debe ser ignorado por el momento. Para obtener el ESC correcto, primero se determina el consumo de corriente máximo de las especificaciones del motor elegido, añadir un margen de seguridad del 10%, y buscar los ESC clasificados por lo menos con esta cantidad de corriente. También tendremos que comprobar que nuestro ESC elegido está clasificado para el número correcto de células de la batería (generalmente 3 células o 11.V) y, asegurarse, de que no es demasiado pesado.

Casi cualquier ESC trabajará en nuestro dron, pero algunos funcionan mejor que otros. Algunos de los ESC de mayor calidad son de una "frecuencia de actualización" más rápida. El número de veces por segundo a la que se comprueban nuevas instrucciones de la tarjeta de control y ajustar la velocidad del motor en consecuencia.

Se considera que se necesitan 4 ESC idénticos para un dron. Es posible volar un dron con 4 ESC diferentes, pero será más problemático y mucho más difícil de controlar. También puede considerar la posibilidad de comprar una

tarjeta de programación para sus ESC. Esta herramienta pequeña, de bajo costo permitirá de forma rápida y fácil reprogramar los ESC que se comporten de manera incorrecta. No es obligatorio, puesto que se puede programar manualmente los ESC, pero la tarjeta de programación hace las cosas más fáciles.

### **c) Baterías.**

Al elegir una batería, lo principal que hay que tener en cuenta son la capacidad y peso. A primera vista, parece sencillo, una batería con mayor capacidad mantendrá el dron en el aire por más tiempo. Sin embargo, las baterías con mayor capacidad son, también, más pesadas. Lo que significa que sus motores tienen que trabajar más duro para mantener el dron en el aire. Siempre existe el riesgo de obtener capacidad de vuelo muy limitada por adquirir baterías demasiadas pesadas.

El método que utilizaremos para decidir qué batería utilizar es relativamente simple, recordemos que la regla de oro para elegir los motores es tener el doble de empuje que el peso del dron.

Como la batería es el último componente que se escoge, tendremos en cuenta el peso del dron, y restamos el empuje total de los 4 motores menos el peso del dron (incluyendo cargas útiles adicionales), la diferencia debe alcanzar para las baterías de 3 celdas.

Hay que tener en cuenta que 4 motores que funcionan al mismo tiempo pueden consumir una gran cantidad de corriente. Hay que asegurar que la calificación de la batería C sea suficiente para soportar 4 por la corriente máxima del ESC elegido. No hay manera de saber exactamente el tiempo de cada vuelo de tu dron o la vida útil de la batería. El peso, las condiciones de vuelo, el tipo de motor, el tamaño de la hélice y el estilo de pilotaje de cada piloto, son todos factores importantes para determinar estas variables.

Como punto de partida para escoger la batería, se puede decir que, la batería 3S con una capacidad de alrededor de 2700-3000 mAh sea la mejor elección. Quizá haya que ajustar estos valores para adaptarlos al peso y al empuje del dron. La recomendación del uso de baterías tiene que venir por tener una buena calificación C y una relación idónea entre el peso y la capacidad.

#### d) Hélices.

Seleccionar las hélices es, en teoría, un trabajo bastante simple. Las especificaciones para el motor deben indicar el tamaño aproximado que necesita, para crear el empuje que se está buscando. Sin embargo, hay algunas complicaciones.

El problema principal es encontrar las hélices que están disponibles en ambos sentidos de giro, los drones, como hemos comentado, tienen la mitad de los motores que giran en sentido de las agujas del reloj (CW), y la otra mitad que giran en sentido anti-horario (CCW), esto se hace para lograr un equilibrio estable.

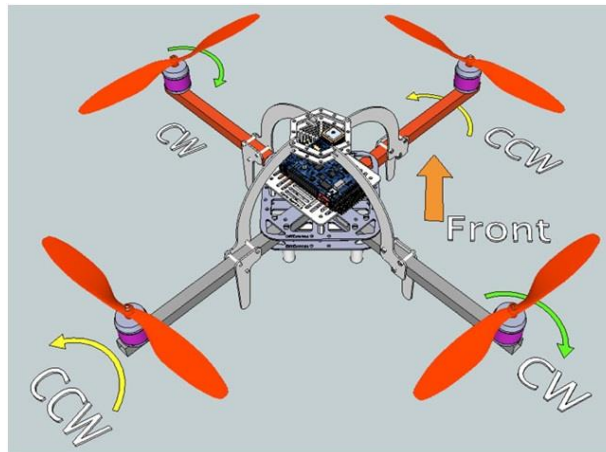


Figura 3.11: Controladores de Velocidad (ESC). [87]

Lo mejor es comenzar con una hélice de tamaño recomendado en las especificaciones del motor, pero no hay que dudar en experimentar con diferentes hélices, se puede notar cómo afecta el rendimiento del dron.

Podremos encontrar que la vida de la batería se puede ampliar hasta en un 15% simplemente por la búsqueda de la perfecta combinación de diámetro y paso de una hélice.

Si decidimos experimentar, hay que tener cuidado de no quemar motores, batería y ESC, la temperatura de estos puede subir peligrosamente por sobrecargar de trabajo al usar hélices demasiado grandes.

Cada una de las nuevas hélices tiene que estar equilibradas antes de que sean utilizadas en el dron. Defectos leves en el proceso de fabricación pueden causar que una hoja de la hélice sea un poco más pesada que la otra, creando una vibración cuando la hélice está girando rápidamente. Para equilibrar, simplemente hay que añadir o eliminar peso de modo que ambas cuchillas sean del mismo peso. Esta tarea sólo tarda un minuto o dos con el equipo adecuado, y puede mejorar la estabilidad del dron al reducir las vibraciones que produce malestar en los sensores del controlador central. También, hay que tener en cuenta que algunas marcas de hélices multi-rotor más populares están disponibles en múltiples colores. La idea o sugerencia es que los 2 motores delanteros estén equipados con hélices rojas, y los motores traseros estén equipados con un color diferente.

Esto ayuda al piloto a la orientación al saber qué camino está apuntando el dron, y en qué dirección es "hacia adelante". Es posible que se desee hacer esto; pero se deben tener suficientes repuestos, disponer una dirección correcta (CW o CCW), además de un color adecuado. Hay otras formas, tales como diferentes colores o marcas en los "brazos" del marco, o el uso de LEDs, que pueden lograr un resultado similar.

### **3.4.- Legislación Nacional e Internacional ante el manejo de drones.**

A lo largo de estos años la legislación estadounidense es la que ha marcado a nivel mundial toda la jurisprudencia sobre drones o aviones no tripulados RPAS, [36] Lemieux, J. (2016). Los últimos acontecimientos y noticias desarrollados por los drones en el último año hicieron saltar todas las alarmas en

el ámbito legislativo. Por lo que el Departamento de Transportes y la Agencia Federal de Aviación Americano (FAA), a nivel nacional, en el mes de febrero de 2015, redactó un articulado sobre el uso y manejo de RPAS o drones en E.E.U.U. y que muchos países han acogido como propio. Esta legislación ha hecho que muchos otros países empiecen a regular el marco legislativo sobre RPAS/drones, Bellver, S. (2015), [7]

El vacío legislativo que durante años existía en E.E.U.U responde a esta proposición. La FAA y el Departamento de Transportes dictaminaron la siguiente regulación:

- Para los drones de menos de 25 Kg. Los pilotos deberán tener una licencia de vuelo.
- Los motores podrán volar hasta una velocidad de 160 Km/h. La altitud máxima de vuelo de 152 m. evitando así colisiones con aviones.

Los responsables de FAA comentaron que las recomendaciones que se han desarrollado para todo E.E.U.U son flexibles, queriendo mantener el nivel de seguridad del espacio aéreo sin someter al sector emergente a reglas excesivas. La industria sobre drones o RPAS, siendo su referente 3D Robotics, ha pronosticado a nivel mundial, que en los próximos cinco años habrá unos 7,5 millones de pequeños drones civiles. Se prevé que existan unos 100.000 empleos y una facturación de unos 82 mil millones de dólares de ingresos durante los próximos 10 años.

Los pilotos de drones o RPAS deberán cumplir los siguientes requisitos:

- a) Tener la edad mínima de 18 años.
- b) Realizar una prueba de vuelo teórico-práctica cada 10 años.
- c) Obtener la autorización de vuelo de FAA. Los pilotos autorizados de estos equipos no podrán ser tripulados por personas que no tengan títulos específicos de operador de vuelo ni por pilotos de aeropuertos.

- d) La velocidad máxima del aparato será de 160 Km/h. Y podrá volar hasta una altura máxima de vuelo de 152 m.
- e) Se prohíben los vuelos nocturnos.
- f) El operador tiene que estar visible en las operaciones del aparato.

Por otra parte, hemos observado también que uno de los temas que más preocupa a la ciudadanía es la privacidad y la protección de la vida privada, siendo uno de los objetivos que tiene la reglamentación del uso civil de drones. Asimismo se ha establecido que la reglamentación de drones deberá ser revisada cada tres años, garantizando así que la legislación evolucione al mismo ritmo que los avances tecnológicos.

La nueva normativa, también, propone limitaciones operativas diseñadas para reducir al mínimo los riesgos para otras aeronaves y personas:

- Un operador de RPAS o dron comercial siempre debe ver y evitar los aviones tripulados. Si hay un riesgo de colisión, el operador debe ser el primero que maniobre según la distancia.
- El operador debe interrumpir el vuelo si al continuar pudiera plantear un peligro para otras aeronaves, personas o propiedades.
- Un operador de vuelo debe evaluar las condiciones meteorológicas, las restricciones del espacio aéreo y la ubicación de las personas para disminuir los riesgos si él o ella pierde el control del aparato.
- Un pequeño RPAS no puede volar sobre las personas, excepto los directamente involucrados con el vuelo.
- Los operadores deben mantenerse al margen de las rutas de vuelo de los aeropuertos y áreas de espacio aéreo restringido, y obedecer las restricciones temporales de vuelo. Los operadores serán responsables de que una aeronave sea segura antes de volar, aunque las autoridades no está proponiendo que los pequeños RPAS o drones comerciales cumplan con los estándares de aeronavegabilidad de la agencia actuales o certificación de la aeronave. Por ejemplo, un operador tendría que realizar una inspección de comprobación que incluye la comprobación del enlace de comunicaciones entre la estación de control y el aparato. El dron o



RPAS según los componentes certificados también podrían estar sujetos a las directivas de aeronavegabilidad.

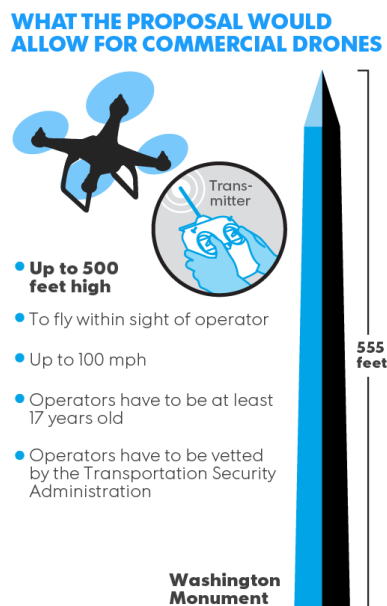


Figura 3.12: Resumen de operaciones con drones en E.E.U.U. [88]

### **Legislación Nacional en España ante el manejo de drones.**

El 4 de julio de 2014, el Consejo de Ministros dio luz verde a la ley temporal que regula el uso de drones para toda España según el RD 8/2014. Esta normativa trata de controlar el uso de las operaciones de carácter comercial y civil con aeronaves pilotadas por control remoto, popularmente conocidos como drones (RPAS), cuyo peso no supere los 150 kg.

Las condiciones han quedado reflejadas en el documento oficial del Estado en las que se puede realizar trabajos técnicos, de investigación y científicos, tales como grabación aérea, reportajes aéreos, fotografía aérea, estudios de fotogrametría, vigilancia, monitoreo y revisión de infraestructuras, entre otros.

Lo que el ejecutivo pretende con esta pionera regulación es establecer un régimen jurídico que, en primer lugar, garantice la seguridad y que, más

adelante, permita el desarrollo de este sector tecnológico a través del futuro reglamento específico.

### **3.4.1.- El operador o propietario de un dron.**

El operador o propietario de un dron deberá tener en cuenta los diferentes puntos para poder ejercer los vuelos con las máximas garantías posibles:

- Disponer de la documentación relativa a su caracterización (configuración, características y prestaciones).
- Disponer de un manual de operaciones que establezca los procedimientos de la operación.
- Haber desarrollado un estudio aeronáutico de seguridad que constate que el vuelo puede realizarse con seguridad.
- Haber realizado satisfactoriamente vuelos de prueba que demuestren que el vuelo puede realizarse de forma segura.
- Tener suscrita una póliza de seguro que cubra la responsabilidad civil.

### **3.4.2.- Pilotos.**

Los pilotos deberán:

- Acreditar que están en posesión de cualquier licencia de piloto de RPAS/drones.
- Disponer de los conocimientos técnicos necesarios para la obtención de cualquier licencia de piloto.
- Obtener un certificado que ratifique sus conocimientos.

### **3.4.3.- Tipos de vuelos permitidos.**

Solamente se autorizan únicamente los vuelos de investigación y experimentales, de prueba, demostraciones y, en general, todos aquellos de I+D para el futuro desarrollo de operaciones habituales por particulares o empresas.

Estos vuelos se podrán realizar únicamente en zonas apartadas de aglomeraciones de edificios, ciudades, pueblos. Tampoco se podrán realizar vuelos a una distancia inferior a 8 km de un aeropuerto.

#### **3.4.4.- Forma de Pilotaje.**

El primer método es la herramienta heredada del radio modelismo clásico. El mando a distancia se ejecuta, por lo general, a 2,4 GHz con una tecnología que evita interferencias y hace que nos olvidemos del uso de canales de radio.

Para los drones pequeños suele tener un alcance de 20 metros y para drones grandes pueden llegar a los 500 metros. Existen algunos mandos que utilizan la frecuencia de 5,8 GHz para evitar posibles interferencias con los transmisores de cámaras WiFi que ocupan la frecuencia de 2,4GHz.

El segundo método es el control mediante smartphone, a través de wifi. La empresa Parrot ha sido el precursor de este tipo de control. Su ventaja es que muchas personas ya tienen un smartphone y sabe cómo utilizarlo. El problema es la conexión wifi que es óptima hasta los 70 metros. Algunos fabricantes son muy optimistas e indican en la ficha técnica distancias de más de 70 metros, pero rebasar esta distancia supone un riesgo notable para el vuelo ya que cualquier imprevisto puede suponer perder la conexión.

Para ello, los modelos más avanzados tienen una función llamada "return to home" (RTH), que permite al dron volver a la posición de origen en el momento se pierde la conexión. Otros menos avanzados tienen la función "Failsafe" que apaga los motores cuando se pierde la conexión.

Otra opción es el autopilotaje "follow me". El dispositivo está programado para seguirnos. El usuario llevará un pequeño aparato inalámbrico que enviará la posición GPS en tiempo real para comunicarse con el dron. Las desventajas de este método son las colisiones, en el caso de que el dron no tenga detector de colisiones con el entorno.

El último método de manejo y el más novedoso es la “programación del vuelo” mediante software, estableciendo previamente que ruta va a seguir el dron. Por GPS, nuestro aparato sabrá en todo momento que dirección debe tomar.

En este apartado hemos abordado todo lo referente al uso, manejo y prototipado de los drones o RPAS, dada la importancia que tiene el conocimiento específico para desarrollo del presente trabajo de investigación. A continuación, pasamos a comentar los aspectos de comunicación, seguridad y aplicaciones de drones.

### **3.5.- Comunicación a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)**

El espacio aéreo pertenece a AESA, y como tal, para poder realizar cualquier tipo de actividad comercial o civil con un dron/RPAS, se deberá obtener un permiso oficial, como mínimo 5 días antes de llevar a cabo cualquier operación en el aire.

Esta legislación sigue manteniendo la prohibición de sobrevolar núcleos urbanos o espacios con una alta masificación de gente sin el consentimiento especial por parte de la Agencia Española de Seguridad Aérea.

Las posibilidades de crecimiento de éste sector tecnológico son altísimas, tanto que la Comisión Europea ha previsto que en los próximos 10 años esta industria acapare más del 10% de este mercado. No obstante en esta documentación no queda reflejada si se puede realizar una labor de investigación e inspección en edificios donde existen núcleos urbanos.

Consideramos que con la ley definitiva que se estima que salga para el año 2017 o principios del 2018 se pueda establecer esta posibilidad.

### **3.5.1.- Seguridad en el uso de drones civiles.**

El pilar fundamental en el que se ha basado el Ministerio para la realización de la normativa de uso de drones civiles en España es la seguridad. Por ello cada empresa deberá disponer de un manual de operaciones cumplimentado siguiendo el estándar proporcionado por el Ministerio, así como un estudio de seguridad de cada una de las operaciones a realizar.

Los vuelos de drones al margen de la ley, ya sea con un peso inferior a 2kg, o entre 2kg y 25kg, se exponen a sanciones o multas que oscilan entre 3.000€ a los 225.000€.

### **3.5.2.- Carnet de Piloto de Drones en España.**

Para que las empresas puedan operar legalmente, los pilotos designados deberán disponer de un carnet oficial para el manejo de drones.

Esta normativa temporal sobre drones en España considera los diferentes marcos en los que se podrán realizar los distintos trabajos aéreos y en función del peso de la aeronave. Además, el texto aprobado se completa con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y no sólo marca las pautas de operación con este tipo de aeronaves, sino, también, otro tipo de obligaciones de mantenimiento del RPAS/dron.

### **3.6.- Aplicaciones generales de los drones.**

Desde hace más de un año estamos viendo diferentes ejemplos de aplicaciones reales en distintas actividades. Pero, además de los distintos campos donde pueden realizar una labor acorde con los tiempos que corren, es en el campo de la arquitectura, ingeniería y la conservación del patrimonio donde, también, se puede cambiar la forma de trabajar diagnosticando evidencias de patologías que organolépticamente no se visualizan. Los drones cada día que pasa, tienen mayor potencial en diferentes áreas. Las aplicaciones

y usos que se les están dando cada vez son mayores. Muchas veces son debido a la velocidad de reacción para desplazarse sobre un terreno irregular o accidentado superando cualquier tipo de obstáculo, ofreciendo imágenes con diferentes puntos de vista a través de cámaras, sensores en un tiempo record. Las aplicaciones y algunos de los usos que se les están dando son:

#### **a) Búsqueda de personas desaparecidas.**

Los drones debido a su reducido tamaño y siendo su navegación por transmisión remota, pueden reducir el tiempo de búsqueda en cualquier rescate siempre que estén disponibles en estaciones de alta montaña. La búsqueda de personas desaparecidas en lugares de difícil acceso o en zonas montañosas o nevadas a través de personal de protección civil o de emergencias siempre es una tarea difícil. Los drones serían idóneos para la búsqueda de supervivientes ante catástrofes naturales.

En definitiva, una tecnología que pueda llegar a salvar vidas en tiempo record. Asimismo, lo económico del proceso de vuelo con RPAS o drones frente al coste de un helicóptero puede llegar a suponer una reducción de hasta 30 a 60 veces el coste de la búsqueda debido al alto consumo de combustible sin comentar el alto grado de riesgo de vidas de los equipos de rescate.

#### **b) Fotografía, video y cartografía aérea.**

Actualmente una de las profesiones que más demanda este tipo de aparatos los RPAS/drones son los topógrafos. El trabajo que deben realizar puede reducir considerablemente su trabajo, teniendo una precisión aún mayor frente a las estaciones totales, según [45] Lowe, D. (2003). El amplio mercado que existe para estas aplicaciones como la realización de videos publicitarios de carácter comercial, infografías, videos de inmuebles, publicidad de campos de golf y hoteles, cartografía, medición y valoración de fincas, recuento de árboles de fincas para subvenciones.

Puede llegar a tener:

- Reducción de precio frente a presupuestos con pilotos.
- Mayor estabilidad y mejora de las prestaciones para realizar fotografías y videos debido a la posibilidad de reducir la velocidad y desarrollar trabajos cerca del suelo incluso con obstáculos.
- Proceso simplificado y reducción del trabajo.
- Automatización cuando se quiere trabajar en áreas grandes.
- Obtención de mapas 3D de un terreno.
- Reducción de efectivos humanos, una sola persona podría realizar todo el proceso.

### **c) Prevención y Control de Incendios.**

Una de las aplicaciones con más rigor y en la que en los próximos años veremos multitud de proyectos es la de la Prevención y Control de Incendios. Los drones o RPAS pueden permitir la supervisión constante en el campo forestal, en busca de puntos activos o conatos de incendio.

Estos vehículos pueden supervisar una amplia zona boscosa sin riesgo de vidas. La reducción de los costes económicos para buscar el inicio de incendios hace que los drones sean idóneos para este tipo de tareas. Las técnicas de cooperación también conocidas como “swarm intelligence” son idóneas para que varios drones puedan trabajar con sistemas inteligentes para la coordinación de retenes en caso de incendios, detectando focos activos y estudiando la evolución del fuego.

### **d) Seguridad y vigilancia.**

Este tipo de aparatos pueden ser muy útiles para aplicaciones de reconocimiento de terreno, tareas de escolta, vigilancias de fronteras, zonas de acceso restringido y realización de detecciones automáticas de situaciones de riesgo con disparo de alarmas de supervisión manual.

#### **e) Medio Ambiente.**

Desarrollo de los parámetros e índices de contaminación energética para elaborar mapas de la polución lumínica. Control de accidentes industriales con vertidos tóxicos en medios acuáticos y terrestres, control de áreas de almacenaje y depósitos, residuos industriales y tratamientos de los mismos. Asimismo, pueden elaborar tareas sobre eficiencia energética.

#### **f) Agricultura.**

Las aplicaciones en el sector agrícola se enmarcan en el control y monitorización del estado de cultivos mediante fotogrametrías e imágenes multiespectrales. Asimismo, se pueden desarrollar trabajos en el control de la eficiencia de regadíos, la contabilización y supervisión de producción agrícola subvencionada o el recuento de árboles.

#### **g) Geología.**

Se pueden desarrollar trabajos como la determinación y control a escala centimétrica de las áreas con riesgos geológicos asociados o la caracterización de zonas con riesgo de aludes utilizando imágenes multiespectrales para determinar la humedad de la nieve. Asimismo, se pueden aplicar cámaras térmicas para determinar su temperatura y técnicas estereoscópicas para determinar grosores y desarrollar mapas sedimentológicos, mineralógicos y geofísicos, además de controles y monitorización de explotaciones mineras y su impacto ambiental: movimientos de tierras, producción de áridos, residuos metálicos, balsas de decantación, etc.

#### **h) Otras aplicaciones.**

Por otra parte, también, se está investigando en otros usos como en la vigilancia, movilidad y tráfico mediante la grabación y monitorización de la situación, exploración de lugares de difícil acceso, en la medicina para el transporte de desfibriladores o extracciones de sangre, en la logística mediante



el transporte de paquetes y programas médicos para además de evaluar las situaciones de emergencia.

En resumen, una lista innumerable de aplicaciones que, también, pueden hacer un hueco al campo de la arquitectura desarrollándose en los siguientes ámbitos: termografía, fotografías de edificios, inspecciones industriales y de cualquier objeto con poco riesgo para las personas, inspección de patrimonio y rehabilitación arquitectónica e inspección de construcciones civiles y constructivas, además del modelado “as built” de lo construido en formato 3D. En el caso de trabajos del Patrimonio es una actividad de alto interés social ya que los proyectos de mantenimiento e inspección pueden hacer que podamos prevenir futuras patologías ya que se puede paliar intervenciones con ayuda termográfica, mediante drones. Asimismo, usando la tecnología BIM- Building Information Model, se pueden realizar levantamientos 3D de edificios con láser fotogramétrico. Esta metodología mediante drones tiene una gran resolución, sin olvidándonos de las zonas de sombra de donde es imposible hacer un levantamiento, donde el dron llegaría con sus vuelos. Con la combinación de ambos métodos se puede llegar a obtener un resultado óptimo mediante este tipo de aplicación.

Con este capítulo hemos querido formular la importancia que tienen los componentes, su mecánica, así como la actual legislación, seguridad y aplicaciones de los drones.



## **CAPÍTULO 4: EL USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO.**

“El Pensamiento Científico es el Patrimonio de la Humanidad”

Abdus Salam



El presente capítulo se centra en el uso de Drones para la inspección y rehabilitación de edificios patrimoniales, por lo que veremos los procedimientos de análisis para la detección de las patologías.

Es preciso destacar la adaptación que se propone basada en el modelo de informe de evaluación para la inspección del patrimonio, en concreto en lo relacionado a monumentos históricos.

No podíamos terminar el capítulo sin abordar las ventajas que aporta la tecnología de los drones en la rehabilitación en general y en particular para edificios históricos patrimoniales.

#### **4.1.- Procedimiento de análisis.**

El análisis de los procesos patológicos en el mundo de la Rehabilitación tiene como objetivo su solución a través de las técnicas y procedimientos idóneos para cada caso. Ésta solución según los textos de [58] Patología, Conservación y Restauración de Edificios, (1991), implica la reparación de la unidad constructiva dañada para devolverle su misión inicial.

Para ello ya veíamos en el capítulo 2 del presente trabajo que, al igual que en otros campos, requieren un diagnóstico exhaustivo, con el objeto de no

equivocarse en la solución constructiva, con los procesos constructivos existe la necesidad de realizar un estudio patológico previo a cualquier actuación, estudio que podríamos definir como el análisis exhaustivo del proceso patológico, con el objeto de alcanzar las conclusiones que nos permitan proceder a la reparación consiguiente.

Este análisis tiene que seguir, la línea inversa al proceso, es decir ir del efecto a la causa, pasando por los tres estadios que ya mencionamos, como son: de síntoma o efecto, evolución y origen o causa, debiendo ser el análisis metódico y exhaustivo, por lo que es preciso:

- Adoptar un método sistemático de observación y toma de datos.
- Rigurosidad en la investigación limitando la intuición profesional.

#### **4.1.1.- Observación**

De la lesión, o lesiones, que se manifiestan como síntoma de un proceso patológico y a partir de las cuales podemos conocerlo. Podemos desarrollar los siguientes puntos:

- **Detectar la lesión.** Suele iniciar el estudio porque se ha detectado alguna lesión.
- **Identificar la lesión** de que se trate, para poder dar los pasos adecuados, de entre el gran número de tipos posibles, de los cuales hemos visto los más importantes.
- **Independizar** lesiones y procesos patológicos distintos, con objeto de seguirlos adecuadamente, sobre todo teniendo en cuenta su posible imbricación.

Para esta primera fase del estudio queremos disponer una ficha de toma de datos que, aunque básica, nos puede hacer ver organolépticamente donde debemos incidir en los vuelos desarrollados con la tecnología basada en drones o RPAS.

FICHA DE TOMA DE DATOS	PLAN DE VUELO RPAS/DRON	
<b>A) IDENTIFICACIÓN</b>		
<b>LESIÓN</b>	<b>Grieta</b> <input type="checkbox"/>	<b>Fisura</b> <input type="checkbox"/> <b>Humedad</b> <input type="checkbox"/> <b>Desprendimiento</b> <input type="checkbox"/> <b>Erosión</b> <input type="checkbox"/> <b>Eflorescencia</b> <input type="checkbox"/> <b>Deformación</b> <input type="checkbox"/> <b>Oxidación/Corrosión</b> <input type="checkbox"/> <b>Suciedad</b> <input type="checkbox"/> <b>Eflorescencia</b> <input type="checkbox"/>
<b>Fecha de aparición:</b>	<b>Periodicidad:</b>	
<b>EDIFICIO:</b>	<b>Fecha:</b> <b>Uso:</b> <b>Construcción:</b> <b>Restauraciones:</b>	
<b>DOCUMENTACION EXISTENTE</b>		
<b>MATERIALES AFECTADOS</b>		
<b>PATOLOGÍA AFECTADA ELEMENTOS</b>		
<b>DETALLES GRÁFICOS TERMOGRÁFICOS</b>		
<b>DETALLES FOTOGRAMÉTRICOS</b>		
<b>LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN</b>	<b>HORIZONTAL:</b> <b>VERTICAL:</b>	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN</b>	<b>(h = Altura de la lesión a la calle)</b>	<b>(d = distancia con respecto a fachadas)</b>
<b>FOTOGRAFÍAS DE DETLLE:</b>		

Ficha de toma de datos de inspección con drones

#### **4.1.2. Toma de datos**

Una vez identificada e independizada la lesión, se inicia la toma de datos, donde tenemos que aplicar la máxima rigurosidad para desarrollar este trabajo, lo que implicará, en ocasiones, un mínimo repetido de visitas, en otros casos la aplicación y seguimiento de una serie de instrumentos de análisis y evolución de la lesión, el uso de drones para el visionado tanto con fotografías como con vídeos, nos permitan plasmar gráficamente la lesión en un momento determinado, tanto para poder seguir su evolución, como para poder continuar el análisis a lo largo del tiempo.

De este modo, podemos obtener una serie de datos físicos, que serán elementales para el análisis posterior. Pero no podemos quedarnos ahí ya que siempre que sea posible, debemos tratar de conseguir todo tipo de documentación gráfica o escrita sobre la unidad constructiva en cuestión, que nos facilite la comprensión del proceso.

#### **4.1.3.- Identificación de la lesión**

Tras una fase de observación, hemos de seguir con el proceso, lo que conlleva a considerar la identificación de la lesión o patología, por lo que hay que tener en cuenta:

- Tipo de lesión.
- Fecha de aparición, periodicidad.
- Existencia de humedad.

En capítulos anteriores ya se ha comentado cada uno de los aspectos, si bien tenerlos presentes e identificarlos, así como concretarlos es imprescindible para realizar un buen diagnóstico.



#### **4.1.4.- Constructivos**

Relativos al material o elemento afectados por la lesión, debemos indicar la existencia de documentos gráficos o escritos fiables sobre la construcción dañada, siendo:

- Material o materiales afectados.
- Elemento constructivo dañado.
- Sistema y detalles constructivos, si cabe.
- Toma de muestras para ensayo, si es posible.

#### **4.1.5.- Ambientales**

Según la situación del edificio y la localización de la lesión podemos investigar:

- La localización de la lesión en el edificio, con indicación del sistema constructivo afectado y dimensiones de la lesión.
- Orientación de la fachada donde se detecte la lesión.
- Nivel de exposición del punto de aparición del síntoma con respecto al nivel de calle y la proximidad de otros edificios.
- Nivel de contaminación del entorno del edificio en función de una apreciación.
- Realizar una personal comparativa.

Todo lo anterior viene recogido en la propuesta de ficha de toma de datos, que es orientativa, puesto que cada profesional puede tener su particular modo de tomar los datos, siendo lo importante que se tomen y que éstos sean suficientes.

En cualquier caso, la propuesta incluye la toma de fotografías o datos gráficos en general mediante diferentes vuelos generales con RPAS o drones que completan la información y ayudan a su estudio y posible revisión posterior.

#### **4.1.6.- Análisis del proceso. Diagnóstico**

Una vez terminada la toma de datos directa, y estando en posesión de los resultados, podemos iniciar la «reconstrucción de los hechos», es decir, tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál su evolución y cuál es su estado actual. En definitiva, debemos iniciar lo que podemos llamar el análisis del proceso patológico con el objeto de alcanzar un diagnóstico definitivo y, por tanto, unas conclusiones para la posterior actuación profesional que implique la reparación de la, o las, unidades afectadas. Este análisis debe contemplar, pues, los siguientes aspectos del diagnóstico:

##### **4.1.6.1.- Causas**

Referimos a lo que ha originado el proceso de inspección se pueden distinguir dos tipos de causas: las directas y las indirectas. Cada una de ellas las abordaremos según el siguiente criterio:

##### **4.1.6.2.- Evolución**

Es importante indicar la periodicidad, la transformación o ramificación de nuevos procesos patológicos siempre en función del tiempo, conociendo e intentando identificar el inicio del mismo.

##### **4.1.6.3.- Estado actual**

Dentro de la toma de datos se debe recoger la situación del proceso, su posible vigencia o su desaparición y, sobre todo, la o las lesiones a que ha dado lugar y que constituyen los síntomas perceptibles del proceso.

Utilizaremos la clasificación tipológica de lesiones, así como las casillas correspondientes para determinar la urgencia del proceso, siempre observando

el grado de gravedad del proceso. Sugerimos seguir la clasificación, anteriormente señalada y utilizar el siguiente documento.

<b>Cuadro de ANÁLISIS DEL PROCESO PATOLÓGICO CONSTRUCTIVO</b>	
<b>Causas</b>	
<b>DIRECTAS</b>	<b>INDIRECTAS</b>
<b>Mecánicas</b> <b>Físicas</b> <b>Químicas</b>	<b>De proyecto</b> <b>De ejecución</b> <b>De material</b>
<b>PERIORIZIDAD</b>	
<b>PROCESOS PREVIOS</b>	
<b>PROCESOS CONSECUENTES</b>	
<b>ORBSERVACIONES</b>	
<b>LESIONES RESULTANTES</b>	
<b>OBSERVACIONES</b>	

#### **4.1.6.4.- Propuestas de actuación**

El diagnóstico que se realiza, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, permitiéndonos llegar a propuestas de actuación que tendrán como misión devolver a la unidad su función constructiva. Dichas propuestas habrá que contemplarlas en dos ámbitos, reparación y mantenimiento.

#### **4.1.6.5- Propuesta de reparación**

Ha de referirse tanto a la causa como al efecto, recordando la preferencia de aquella sobre éste, ya que, de lo contrario, puede llegar a «ser peor el remedio que la enfermedad», es decir, no es la primera vez que contemplamos continuamente grietas en paredes que se intentan tapar con pinturas o morteros

superficiales y que vuelven a aparecer periódicamente, con más expresividad, si cabe, o manchas de humedad que se cubren de sucesivas capas de pintura que se desprenden periódicamente por no haber eliminado primero la causa.

#### **4.1.6.6.- De las causas**

Sobre las **causas indirectas** se analizan los distintos casos tipo, siendo los siguientes:

Si se trata de material defectuoso, bien por error en su selección, bien por defecto de fabricación, debemos analizar si es posible su sustitución o por el contrario, resulta más adecuado su tratamiento químico o físico para darle las propiedades que requiere. Será, pues, un problema constructivo, por un lado, y económico, por otro, cuyos condicionantes habrá que estudiar. No es lo mismo cambiar un material de acabado por insuficiente resistencia a la intemperie, constitutivo de una fachada, por excesivo contenido en sales, o unos pilares de hormigón armado, por baja de resistencia a compresión.

En este caso resulta relativamente sencilla la sustitución, mientras que en los otros dos parece más razonable la aplicación de productos protectores de la humedad. Si se trata de un problema de disposición constructiva, bien por defecto de diseño de detalle, bien por error en la ejecución, podremos estudiar la posibilidad de un cambio de dicha disposición o por el contrario, la adición de nuevos elementos constructivos que corrijan el defecto.

Por último, respecto a los problemas de mantenimiento, será cuestión de estudiar las correcciones oportunas, aplicando las protecciones más adecuadas. Es el caso claro de muchas corrosiones de elementos metálicos por falta de protección anticorrosiva periódica, sobre todo en zonas de humedad relativa elevada.

En definitiva, las causas indirectas son, casi siempre, susceptibles de corrección, bien por sustitución, bien por nueva disposición, bien por aplicación de nuevos materiales o nuevos elementos constructivos.

Las **causas directas**, sin embargo, suelen ser más difíciles de eliminar o actuar sobre ellas, sobre todo cuando se trata de agentes atmosféricos o contaminantes, por lo que su corrección se complica algo.

Si hablamos de causas mecánicas, podremos actuar en los esfuerzos o cargas que sean previsibles, tratando de eliminarlos o, por lo menos, limitarlos. Las causas físicas son prácticamente imposibles de anular (lluvia, viento, temperaturas, etc.) y debemos recurrir a la protección física o química de los elementos, lo que implica, en realidad, una actuación sobre la causa indirecta (tipo de material).

Por último, las **causas químicas**, son también poco susceptibles de actuación directa, sobre todo cuando se trata de agentes contaminantes de la atmósfera. También en estos casos habrá que recurrir a la protección del material y elemento como actuación sobre causa indirecta.

Si el problema es de **interacciones entre materiales**, podremos resolverlo con la interposición de barreras entre ellos. Lo mismo ocurrirá cuando el origen del producto químico sean los animales o las plantas. Entonces, además, la actuación deberá recaer sobre el mantenimiento.

En general, la mayoría de causas directas sólo se podrán resolver, bien a base de protecciones que eviten que los agentes directos (físicos, mecánicos o químicos), alcancen al material o elemento susceptible de ser lesionado, bien mediante productos y aditivos aplicados al mismo material, bien a base de cambios del uso que puedan alejar o disminuir la acción de dichos agentes.

Finalmente, si la causa es una lesión previa, la reparación se dirigirá claramente a anularla siguiendo todo el proceso que estamos analizando.

#### 4.1.6.7.- De los efectos

Una vez corregida o anulada la causa, y sólo después de ello, se deberá proceder a la reparación del efecto, lo que tendrá por objeto devolver al elemento o unidad constructivos su aspecto y su funcionalidad original.

Las posibilidades de actuación son, lógicamente, muy variadas, como lo son los tipos de materiales y elementos que pueden verse afectados, y los tipos de lesiones que les pueden afectar. No obstante, aunque sólo sea con carácter orientativo y general, veamos las posibles reparaciones según los tipos de lesiones descritos.

Las **humedades**, una vez secas, suelen dejar mancha o aureola, que bastará con eliminar por simple limpieza o tapar con capa de pintura, según los casos.

La **erosión física** (atmosférica) tendrá tratamiento diferente según lo avanzada que se encuentre y, por tanto, el nivel de erosión que haya sufrido el material.

En función de ello, podemos proceder a:

- Sustitución del elemento por otro.
- Saneado y endurecedor.
- Tapado y protección con nuevos acabados.

La **suciedad** se reparará, normalmente, con una simple limpieza; natural, química o mecánica.

Las **deformaciones**, suelen ser las más complicadas de reparación y, por lo general, una vez anulada la causa, se dejan con el defecto permanente. Sólo en casos extraordinarios se puede proceder a corregirlas mediante esfuerzos mecánicos contrarios a los que las han originado, con el consiguiente peligro de

nuevas lesiones, por lo que estos procedimientos suelen necesitar del complemento de nuevos elementos de refuerzo.

En los casos en que su eliminación sea imprescindible, se puede optar también por la demolición y sustitución del elemento.

Las **grietas** son uno de los casos en los que la corrección de la lesión sólo es posible mediante la demolición y reposición del elemento. En efecto, un elemento agrietado se ha convertido en dos elementos que, de algún modo, actúan independientemente ante nuevas acciones físicas o mecánicas, por lo que su unión hasta conseguir que vuelvan a ser un solo elemento es prácticamente imposible o muy difícil. En cualquier caso, lo que nunca podría suponer una unión definitiva sería el atado parcial de las dos mitades mediante «grapasp» o la unión superficial mediante «vendasp». El resultado negativo de estos intentos lo sufrimos continuamente.

En el caso de obras de fábrica se puede pensar en una sustitución de los elementos rotos por otros nuevos y en un rejuntado profundo de todos los elementos afectados por la grieta. Naturalmente, una vez estabilizada la deformación de origen.

Las **fisuras** presentan diversas variantes que exigen su estudio antes de la reparación. Así, las de acabados por elementos obligan a la demolición y sustitución de todos los afectados. Sin embargo, la de los acabados continuos, en algunos casos, pueden taparse mediante nuevos acabados superficiales, aunque lo más corriente es también su demolición y refacción.

Los **desprendimientos** obligan siempre a la demolición y recolocación de las unidades afectadas o a la demolición total y sustitución por un acabado diferente en función de la intensidad y extensión de la lesión.

La **erosión mecánica** seguirá el mismo proceso de reparación indicado para la física.

Las **eflorescencias** son, quizás, las de reparación más simple de su efecto y pasan por una limpieza similar a la indicada para las suciedades (natural o física, mecánica o química).

La **oxidación** es de reparación también sencilla, que consistirá en cepillado y nueva protección.

Lo mismo ocurrirá con la **corrosión**, siempre que su efecto sea escaso y no afecte a la integridad de la pieza. En caso contrario, habrá que sustituirla.

Los **organismos** pasan siempre por su eliminación y aplicación de productos repelentes. En el caso de los xilófagos una vez eliminados habrá que considerar la integridad del elemento y, por tanto, su sustitución.

#### **4.1.6.8.- Propuesta de mantenimiento**

Nos referimos a toda propuesta de reparación de un proceso patológico, al igual que todo proyecto de obra nueva y más en este caso, debe ser acompañada por una propuesta de mantenimiento de la unidad reparada, que estará en función del diagnóstico alcanzado, es decir, de sus causas, de su evolución y de la propuesta de reparación de causa y efecto.

No vamos a entrar en un análisis exhaustivo de los procesos y posibles propuestas de mantenimiento que suponen un tratado específico. Pero sí cabe recordar, cuando menos, los aspectos más importantes de toda propuesta de mantenimiento, que debe contemplar:

- **Revisiones visuales periódicas** de los elementos lesionados y reparados. Con objeto de comprobar su estado organoléptico, comprobando la posible aparición de nuevas lesiones (fisuras,



deformaciones, organismos, suciedad, etc.) y, en general, su integridad.

- **Reposición periódica del material de acabado**, que estará en función de su tipo y de su nivel de exposición además de la clase de ambiente en el que esté situado (contaminación, humedad, orientación, etc.). Hay que partir de la base de que los materiales de acabado tienen una determinada vida útil.

- **Limpieza periódica** de superficies y elementos drenantes, como una continuación al apartado anterior. No hay duda de que muchos procesos patológicos tienen su origen en la acumulación de partículas de suciedad (suciedades, organismos, erosiones químicas). Asimismo, muchas humedades de filtración se originan como consecuencia de obstrucciones en canalones y bajantes.

En definitiva, la propuesta de mantenimiento deberá comprender todas aquellas acciones destinadas a mantener la integridad de la unidad reparada, así como de los materiales y elementos que hayamos aportado para su reparación.

Para ello disponemos de dos cuadros uno de la tipología de lesiones y otro de las causas desarrollando todas patologías que nos podemos encontrar y que se pueden constatar desarrollando planes de vuelo de inspección tanto interiores como exteriores.

<b>CUADRO GENERAL DE LESIONES DE UN EDIFICIO</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Tipo de lesión</b>
<b>FÍSICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>HUMEDADES</b></li> <li>- De obra</li> <li>- Capilar</li> <li>- De filtración</li> <li>- De condensación</li> <li>- Accidental</li>   <li>- <b>EROSIÓN</b></li> <li>- Atmosférica</li> <li>- Suciedad</li> </ul>
<b>MECÁNICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>DEFORMACIONES</b></li> <li>- Pandeos</li> <li>- Desplomes</li> <li>- Alabeos</li> <li>- Flechas</li>   <li><b>GRIETAS</b></li> <li>- Por Carga</li> <li>- Por dilatación-contracción</li>   <li><b>FISURAS</b></li> <li>- Por Acabado</li> <li>- Por soporte</li>   <li><b>DESPRENDIMIENTOS</b></li> <li>- Mecánica</li> </ul>
<b>QUÍMICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>EFLORESCENCIAS</b></li> <li><b>OXIDACIÓN Y CORROSIÓN</b></li> <li>- Oxidación</li> <li>- Corrosión</li> <li>- Por Inmersión</li> <li>- Por Aireación diferencial</li> <li>- Por Par Galvánico</li> <li>- Intergranular</li>   <li><b>ORGANISMOS</b></li> <li>- Animales</li> <li>- Vegetales</li> </ul>

**CUADRO I: CUADRO GENERAL DE LESIONES EN UN EDIFICIO**

<b>CUADRO GENERAL DE CAUSAS</b>	
<b>Familia</b>	<b>Tipo de causa</b>
<b>DIRECTAS</b>	<b>MECÁNICAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfuerzos mecánicos (cargas y sobrecargas)</li> <li>- Empujes</li> <li>- Impactos</li> <li>- Rozamientos</li> </ul>
	<b>FÍSICAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agentes atmosféricos (lluvia, viento, helada, cambios térmicos, contaminación)</li> </ul>
	<b>QUÍMICAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación ambiental</li> <li>- Humedad</li> <li>- Sales solubles contenidas</li> <li>- Organismos</li> </ul>
	<b>LESIONES PREVIAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humedades</li> <li>- Deformaciones</li> <li>- Grietas y fisuras</li> <li>- Desprendimientos</li> <li>- Corrosiones</li> <li>- Organismos</li> </ul>
<b>INDIRECTAS</b>	<b>DE PROYECTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elección:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material</li> <li>• De la técnica y el sistema constructivos</li> </ul> </li> <li>- Diseño:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño constructivo</li> <li>• Pliego de condiciones</li> </ul> </li> </ul>
	<b>DE EJECUCIÓN</b>
	<b>DEL MATERIAL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Defecto de fabricación</li> <li>- Cambio del material</li> </ul>
	<b>DE MANTENIMIENTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso incorrecto</li> <li>- Falta de mantenimiento periódico</li> </ul>

**CUADRO II: CUADRO GENERAL DE CAUSAS**

#### **4.2.- Investigación y adaptación del modelo de Informe de evaluación para la inspección del Patrimonio.**

Basándonos en el modelo de Informe de evaluación de edificios [18] B.O.E nº 86, del 10 de abril de 2013, según el Real Decreto 233/2013, de 5 de

abril, por el que se regula el plan estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, hemos realizado una propuesta de indicadores en distintos documentos para la inspección y rehabilitación de edificios monumentales del patrimonio. El proceso de recogida de datos nos permite comparar la inspección de edificios, en general, con la de Patrimonio, teniendo que acoplar la terminología específica en materia de rehabilitación, aspecto, este último muy relevante e innovador.

El citado informe se desarrolla para un periodo entre 2013 – 2017, en el que se dispone la forma de realizar la evaluación e inspección técnica conforme a los distintos tipos de edificación.

Nos vamos a centrar en cada apartado y proponer diferentes modificaciones y así desarrollar un modelo adaptado que reúna las condiciones en materia de rehabilitación para realizar un modelo de inspección que se adapte a la inspección con drones o RPAS.

#### **4.2.1- Adaptación del Modelo tipo de informe de evaluación.**

Dado que las inspecciones técnicas en todo monumento arquitectónico no se desarrollan debido a la complejidad de cada edificio arquitectónico y estando exentas conforme a la legislación establecida en cada municipio y en cada Comunidad Autónoma.

Queremos con esta Tesis que sea el comienzo de una nueva etapa dentro de la Rehabilitación y el Patrimonio desarrollando un Programa exhaustivo mediante una serie de Fichas adaptadas para que nuestro Patrimonio tenga un cronograma con la tecnología robótica basada en drones donde las termografías y las fotogrametrías se impliquen en el método Building Information Model (BIM) para que su arquitectura permanezca conforme a la tecnología del s XXI.

## Datos generales del edificio monumental

### a) Identificación del edificio monumental de patrimonio

Según la disposición del informe de evaluación, anteriormente señalada, los datos generales del edificio podrían llegar a ser prácticamente los mismos, salvo los indicadores relativos a elementos comunes y el desarrollo de diferentes imágenes identificando el edificio monumental de patrimonio por medio de RPAS o drones. Por lo que la Tabla 1 que proponemos en este documento es relativo a la identificación del edificio monumental de patrimonio.

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO MONUMENTAL DE PATRIMONIO		
Tipo de vía:	Vía:	
Nº:	Piso/Letra:	C.P:
Población:		Provincia:
Referencia Catastral:		
Otras Ref. Catastrales y Observaciones:		
El edificio monumental de Patrimonio es: <input type="checkbox"/> Un único Edificio Monumental <input type="checkbox"/> Edificio con espacio anexo y/o edificaciones. <input type="checkbox"/> Edificio con varias construcciones anexas.		
Elementos Comunes compartidos con edificaciones anexas: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí. Indicarlos.		
Imágenes de Situación:		

TABLA 1: Identificación del Edificio Monumental de Patrimonio

### b) Datos Urbanísticos

Los datos relacionados dentro del ámbito urbanístico puedan coincidir en la totalidad con los del régimen edificatorio quedando el documento propuesto, tal y como figura en la siguiente tabla nº2.

DATOS URBANÍSTICOS	
Planeamiento en vigor:	Clasificación:
Ordenanza:	Nivel de Protección:
Elementos protegidos: Protección Cultural del inmueble:	

TABLA 2: Datos Urbanísticos.

### c) Datos de Propiedad:

Con respecto a los datos de propiedad se disponen los criterios de titularidad, tal y como figuran en la siguiente tabla nº3.

DATOS DE LA PROPIEDAD		
Régimen Jurídico de la propiedad: <input type="checkbox"/> Propietario único. <input type="checkbox"/> Varios Propietarios. <input type="checkbox"/> Otros.		
Titularidad:		
Dirección:		
C.P:	Población:	Provincia:
Telf. Fijo:	Telf. Móvil:	Email:
Representante: En condición de:		
N.I.F/C.I.F:	Dirección:	
C.P:	Población:	Provincia:
Telf. Fijo:	Telf. Móvil:	Email:

TABLA 3: Datos de la propiedad.

### d) Datos de los Técnicos Competentes:

Al considerar los datos técnicos competentes dictaminamos que debe ser un equipo multidisciplinar que realice el informe. Por un lado, un técnico

especialista en materia de rehabilitación y, por otra parte, un técnico que tenga el título de operador de vuelo homologado por AESA, por lo que incluimos en la Tabla nº4 dos subapartados referidos a los técnicos especialistas:

DATOS DEL TÉCNICO COMPETENTE QUE SUSCRIBE EL INFORME		
Técnico:	NIF/CIF:	
Titulación:		
Colegio Oficial:	Nº Colegiado:	
Dirección:		
C.P:	Población:	Provincia:
Tlfno Fijo:	Tlfno Móvil:	Email:

DATOS DEL TÉCNICO OPERADOR DE VUELO		
Técnico:	NIF/CIF:	
Titulación:		
Nº AESA:		Titulado Nº:
Dirección:		
C.P:	Población:	Provincia:
Tlfno Fijo:	Tlfno Móvil:	Email:

TABLA 4: Datos de los Técnicos.

**e) Datos generales del edificio objeto de inspección:**

Los datos del edificio monumental deben constar para conocer cómo y de qué manera se desarrolla el edificio, ya que para la programación del vuelo es importante reconocer todas las características del edificio, como alturas, número de plantas del edificio, usos, etc. Todo ello es preciso para trabajar en el recorrido que debe realizar el dron o RPAS para inspeccionar de manera específica todos y cada uno de los espacios. Por lo que describimos la tabla nº5.

DATOS GENERALES DEL EDIFICIO MONUMENTAL		
Superficie de parcela (m2)	Superficie Construida: (m2)	Altura sobre Rasante (m) Exterior: Interior:
Uso del Edificio:	<input type="checkbox"/> Residencial Privado <input type="checkbox"/> Administrativo. <input type="checkbox"/> Religioso. <input type="checkbox"/> Docente. <input type="checkbox"/> Sanitario. <input type="checkbox"/> Cultural. <input type="checkbox"/> Cultural <input type="checkbox"/> Otros. Especificar	
Nº Total de Plantas sobre rasante:	Nº de Plantas sobre rasante con uso igual al principal:	
Nº de plantas sobre rasante con usos secundarios:	Usos Secundarios:	Otros Usos:
Nº de plantas bajo rasante:	Usos Secundarios:	Otros Usos:
Espacios destinados a oficinas:	Superficie media (m2)	
Espacios destinados a vivienda u otros usos:	Superficie media (m2)	
Año de Construcción:	Año de Obras y Rehabilitaciones:	
Tipología edificatoria en parcela:		
<input type="checkbox"/> Edificación Monumental exenta/aislada en parcela <input type="checkbox"/> Edificación Monumental entre medianerías. <input type="checkbox"/> Edificación Monumental adosado de un lado (izq. o derecho)/en manzana cerrada		
Tipología edificatoria: Núcleos de Comunicación vertical en el/los edificios monumentales.		
Un solo núcleo de escaleras:	Dos o más núcleos de comunicación vertical:	
<input type="checkbox"/> Sin ascensor <input type="checkbox"/> Con 1 ascensor <input type="checkbox"/> Con 2 o más ascensores	Nº Total de escaleras: Nº Total de ascensores:	

TABLA 5: Datos Generales del Edificio Monumental.

**f) Archivos gráficos:**

Se considera que es preciso acompañar de, al menos 3 fotos, por detalle constructivo e inspección realizada. Asimismo, la inspección deberá contar con vuelo específico de todo el recorrido. Por otra parte, para conocer el estado del edificio monumental se planteará disponer de diferentes termografías para



investigar si existen diferentes humedades debido a la distinta coloración de la misma. Así como una fotogrametría de cada detalle constructivo.

ARCHIVOS GRÁFICOS DEL EDIFICIO PATRIMONIAL	
Fotografía nº1:	Denominación:
Investigación del Detalle Constructivo 1:	
Fotografía nº2:	Denominación:
Investigación del Detalle Constructivo 2:	
Fotografía nº3:	Denominación:
Investigación del Detalle Constructivo 3:	

TABLA 6: Archivos Gráficos.

#### **g) Documentación Administrativa Complementaria:**

Es importante dejar constancia todo tipo de documentación complementaria como licencia de primera ocupación, licencia de actividad, expedientes y mantenimiento de la propia construcción, etc.

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA DEL EDIFICIO MONUMENTAL	
Nombre del documento/Referencia:	
Fecha:	Observaciones:

TABLA 7: Documentación Complementaria.

### h) Descripción del edificio según los sistemas constructivos:

En el siguiente documento tabla nº8 se recogerán los sistemas constructivos del edificio monumental detallando los elementos de la cimentación, estructura, cerramientos, cubierta e incluso instalaciones, lo que nos dará una visión general del edificio, concretando los elementos clave de la arquitectura monumental.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DEL EDIFICIO MONUMENTAL	
CIMENTACIÓN	
Sistema de Contención:	<input type="checkbox"/> Muro de Piedra <input type="checkbox"/> Muro de Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Muro de fábrica de Bloque <input type="checkbox"/> Se desconoce <input type="checkbox"/> Otro sistema (especificar)
Observaciones:	

ESTRUCTURA			
<b>Estructura Vertical</b>	<b>Muro de Carga</b>		<b>Pilares /Contrafuertes</b>
	<input type="checkbox"/> de Piedra <input type="checkbox"/> de Ladrillo <input type="checkbox"/> de adobe <input type="checkbox"/> de Tapial <input type="checkbox"/> con Entramado de Madera <input type="checkbox"/> Otro		<input type="checkbox"/> de Piedra <input type="checkbox"/> de Ladrillo <input type="checkbox"/> de Fund. <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Se desconoce
<b>Estructura Horizontal Tipo</b>	<b>Estructura Ppal (vigas):</b>	<b>Forjados (Elem.secund viguetas):</b>	<b>Forjado (Entrevigado):</b>
	<input type="checkbox"/> de Madera <input type="checkbox"/> Metálicas <input type="checkbox"/> de hormigón armado	<input type="checkbox"/> de Madera <input type="checkbox"/> Metálicas <input type="checkbox"/> de hormigón armado	<input type="checkbox"/> Tablero <input type="checkbox"/> Revoltón <input type="checkbox"/> Bov.Cerám. <input type="checkbox"/> Bov.Horm. <input type="checkbox"/> Otros (especificar)
<b>Estructura Horizontal Suelo. Planta en contacto con terreno.</b>	<b>Forjado:</b>	<b>Forjado:</b>	<input type="checkbox"/> Solera <input type="checkbox"/> Se desconoce
	<input type="checkbox"/> Idéntico Planta T. <input type="checkbox"/> Diferente Planta T.	<input type="checkbox"/> Idéntico Planta T. <input type="checkbox"/> Diferente Planta T.	
<b>Estructura de Cubierta</b>	<b>Forjado Horizontal:</b>	<b>Cerchas y Pórticos:</b>	

<input type="checkbox"/> Capa formación pte. <input type="checkbox"/> Tabiquillos+tablero Forjado Inclinado <input type="checkbox"/> Hormigón armado. <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Vigas metál.+tabl. <input type="checkbox"/> Vigas madera+tabl. <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Tablero cerámico <input type="checkbox"/> Tablero madera <input type="checkbox"/> Chapa Sandwich <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Observaciones: (especificar e sistema constructivo global)		

CERRAMIENTOS VERTICALES Y CUBIERTAS			
<b>Fachada Ppal</b>  Superficie (m2):  % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	Acabado Visto en Fachada Ppal: % sobre Sup. Vertical Total:  <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	Acabado Revestido Fachada Ppal: % sobre Sup. Vertical Total:  <input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	
	Dispone Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce  Dispone de Aisl. Térmico: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce		
<b>Fachadas a Patio y medianerías</b>	Acabado Visto en Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total:  <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> F. Bloque Horm <input type="checkbox"/> F.de Ladrillo <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Otro especificar	Acabado Revestido Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total:  <input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	
	Dispone Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce Dispone de Aisl. Térmico: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce		
<b>Carpintería y vidrio en huecos</b>	Tipo de Carpintería  <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/> Otro especificar	Tipo de Carpintería  <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Doble acristalamiento	
<b>Cubierta</b>  Superficie (m2):  % sobre Sup. Cerram. Horiz. Total:	Dispone de aislam. Térmico <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce  Dispone de lámina impermeabiliz. <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce	<input type="checkbox"/> Teja árabe <input type="checkbox"/> Teja Plana <input type="checkbox"/> Pizarra	<input type="checkbox"/> Asfáltica <input type="checkbox"/> Fibrocem. <input type="checkbox"/> Pizarra
	Cubierta Inclínada % del total		Superficie: (m2)
Observaciones: (especificar e sistema constructivo global)			

TABLA 8: Descripción de los Sistemas Constructivos del Edificio.

En la siguiente tabla nº9, se detallan los datos de los elementos específicos a los edificios monumentales, por lo que destacamos dos tipos, uno que hace referencia a las bóvedas y arcos, y otro para torres, pináculos, arbotantes y contrafuertes.

<b>BÓVEDAS Y ARCOS</b>			
<b>Nave Principal</b>  Superficie (m2):  Nº de Bóvedas:	Tipo de Bóvedas:	Pechinas	
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	
Arriostramiento Metálico en las Bóvedas: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de Arriostr. Ligante de la Bóveda: <input type="checkbox"/> Cal <input type="checkbox"/> Mortero de Restauración <input type="checkbox"/> Otro Especificar el ligante:			
<b>Nave Principal</b>  Superficie (m2):  Nº de Arcos	Tipo de Arcos:	Acabado Revestido Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total:	
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	
Arriostramiento Metálico en las Bóvedas: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de arriostramientos:			
<b>Rosetones</b>	Nº de Rosetones  Diámetro Aproxim:  Nº de canaladuras:	Nº de Huecos de ventanas:  Tipos:	
<b>Vidrieras</b>	Existencia de Vidrieras <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Técn. Vidr. Artíst.	Tratam. Vid. Taller
	Restauradas <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> V.Emplomada <input type="checkbox"/> Empl. Cobre <input type="checkbox"/> V. Hormigón <input type="checkbox"/> V. Resina	<input type="checkbox"/> Grisalla <input type="checkbox"/> Esmalte <input type="checkbox"/> Amarillo Plata <input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Vitrofundición
Nº de vidrieras en total:                      Superficie:                      (m2)			
Observaciones: (especificar e sistema global)			

<b>TORRES, ARBOTANTES, PINÁCULOS Y CONTRAFUERTE</b>		
<b>Torres y Pináculos:</b>	Nº de Torres:	Nº de Pináculos:
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Arriostramiento Metálico en las Torres: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de Arriostr. Especificar:		
<b>Contrafuertes y Arbotantes</b>	Nº de Contrafuertes:	Nº de Arbotantes:
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Arriostramiento Metálico en las Contrafuertes: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Especificar: Arriostramiento Metálico en los arbotantes: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Especificar:		
Observaciones: (especificar e sistema global)		

TABLA 9: Descripción de los Sistemas Constructivos de Bóvedas, Arcos, Torres, Arbotantes, Pináculos y Contrafuertes.

### I) Estado de Conservación

Al hablar de conservación de un edificio, es preciso constatar los datos del edificio y las diferentes inspecciones, obras y rehabilitaciones ejecutadas durante su vida útil, según la tabla 10 denominada Datos Generales de la Inspección.

<b>DATOS GENERALES DE LA INSPECCIÓN</b>
Fecha/s de la visita al edificio monumental
Nº de locales/espacios inspeccionados
Medios empleados para la inspección:
Pruebas o catas realizadas convenidas por la propiedad:
Medidas Inmediatas de seguridad adoptadas si fuera necesario:
Observaciones:

TABLA 10: Datos Generales de la Inspección.

La inspección en este tipo de edificios monumentales, al igual que los edificios de viviendas se realiza organolépticamente, es decir, que éstas inspecciones son de carácter visual. Asimismo, debido a la altura del edificio estas visualizaciones las acompañamos con tecnología que se basa en recorridos desarrollados con drones. De ésta manera podremos visualizar las deficiencias detectadas y proponer a la propiedad del inmueble diagnosis de los elementos constructivos detectados.

<b>10.2 HISTÓRICO DE INSPECCIONES, OBRAS Y REHABILITACIONES PREVIAS</b>
Fecha/s de la visita al edificio monumental
Nº de locales/espacios inspeccionados
Medios empleados para la inspección:
Pruebas o catas realizadas convenidas por la propiedad:
Medidas Inmediatas de seguridad adoptadas si fuera necesario:
Observaciones:

### 10.3 VALORACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO

#### 10.3.1.- CIMENTACIÓN

Desarrollar el estado de la cimentación, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la cimentación como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Cimentación)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:

### 10.3.2.- ESTRUCTURA

Desarrollar el estado de la estructura, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la misma como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Estructura)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:



### 10.3.3.- FACHADAS Y MEDIANERÍAS

Desarrollar el estado de las fachadas y medianerías, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la mismas como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Fachadas y Medianerías)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:

#### 10.3.4.- CUBIERTAS

Desarrollar el estado de la cubierta principal y secundarias, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la mismas como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Cubiertas)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:

### 10.3.5.- BÓVEDAS Y ELEMENTOS SINGULARES

Desarrollar el estado de las bóvedas y de cada elemento singular, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la mismas como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Bóvedas y Elementos Singulares)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:

### 10.3.5.- INSTALACIONES

Desarrollar el estado de las instalaciones, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la mismas como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:

- a) Inspección localizada.
- b) Descripción de la misma.
- c) Pruebas si se han realizado.
- d) Fotografías identificativas.
- e) Recorrido del vuelo del dron.
- f) Observaciones generales.

Valoración del estado de conservación (Instalaciones)

Favorable

Desfavorable

Inicio del Plan de Actuación de las obras:

Firma del Técnico:

Si fuera necesario adoptar alguna medida extraordinaria relacionada con el estado del edificio y si existiese algún peligro inminente, se deberá describir e indicar las medidas a adoptar.

Para finalizar el informe completo, se deberá constatar y emitir un juicio de valor sobre si es favorable o desfavorable.

<b>EXISTENCIA DE PELIGRO DE MANERA INMEDIATA</b>
<p>Descripción del peligro de manera detallada y según los detalles constructivos inspeccionados.</p> <p>Indicar medidas a adoptar:</p> <p>Nota: Cumplimentar en caso que sea necesario adoptar medidas inmediatas de seguridad para las personas.</p>

<b>VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO</b>
<p>El Técnico competente abajo firmante valora el estado de conservación del edificio como:</p> <p><input type="checkbox"/> Favorable                      <input type="checkbox"/> Desfavorable</p> <p>Esta valoración del estado de conservación del edificio monumental es suscrita por el técnico competente abajo firmante, basándose en una inspección visual y con tecnología con drones, respecto a los elementos del edificio a los que ha tenido acceso.</p> <p>Observaciones:</p> <p>Fecha:</p> <p>Firmado: El Técnico Competente</p>

#### **4.3.- Ventajas que aporta la tecnología de los drones a la rehabilitación.**

Actualmente existen muchas más ventajas que desventajas en el mundo de los drones o RPAS y vamos a destacar las más relevantes. En primer lugar, tenemos que tener en cuenta que la industria de los drones puede hacer frente a un mundo, según [20] Dougherty, J. M. (2015), desconocido en la arquitectura y la rehabilitación y es que todos nuestros edificios patrimoniales tengan una modelización a través de la tecnología Building Information Model (BIM). No existe una renderización, es decir, proceso de generar una imagen o vídeo de modelos 3D de los edificios históricos, debido al alto coste económico por la multitud de profesionales que se necesitan para dibujar la planimetría.

Por lo que la primera gran ventaja de aplicar los drones a la rehabilitación es que podemos economizar los costes para evaluar cualquier tipo de inspección ya que no tendríamos que disponer ningún elemento de andamiaje para la evaluación. La segunda gran ventaja es que con la planificación de vuelos con drones se pueden llegar a grabar zonas de sombra de las distintas zonas de edificios con más detalle y con más precisión para poder modelizar en 3D edificios patrimoniales. Este proceso produce el modelo de información del edificio (BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes, daría un conocimiento total de la volumetría del edificio consiguiéndose a través de vuelos programados con drones.

La tercera ventaja puede ser conocer el tipo de intervenciones que se han desarrollado y disponerlas en el propio modelizado en 3D del edificio. De este modo conoceríamos todo el procedimiento y sus actuaciones en la modelización BIM de los edificios pudiendo conocer el grado de rehabilitación que se ha desarrollado en los diferentes años, generando así un mapa de intervenciones que es crucial para las futuras rehabilitaciones.

Y la cuarta ventaja es la aplicación de termografías y fotogrametrías a través de drones. Con ésta tecnología podríamos conocer de primera mano el comportamiento de las diferentes estructuras y sobre todo de bóvedas, debido a las filtraciones de agua, investigando su problemática.

#### 4.4- Inspección, montaje y prototipado de drones para Rehabilitación.

En este apartado vamos a disponer los puntos más importantes para el desarrollo, montaje y prototipado de drones. Después de estar en contacto con una de las mejores empresas a nivel nacional sobre RPAS o drones, denominada, Erle Robotics, además de consultar los pocos textos relacionados con drones como [70] Theodorakopoulos, P. y Lacroix, S. (2008), [72] Weissbach, D. – Kathryn, T. (2016), [33] Isood, C. S. (2015) y [29] Hall, E. (2015), desarrollamos los diferentes puntos que nos llevarán a disponer de la mejor herramienta para la inspección de edificios históricos.

##### a) Montaje del Chasis.

En primer lugar, el chasis es la estructural principal no electrónica del dron. Se compone de cuatro elementos que se atornillan a la base del dron y se dispone de distinta coloración para conocer desde cualquier ángulo dónde está su lado frontal, tal y como se puede apreciar en el siguiente figura 4.1.

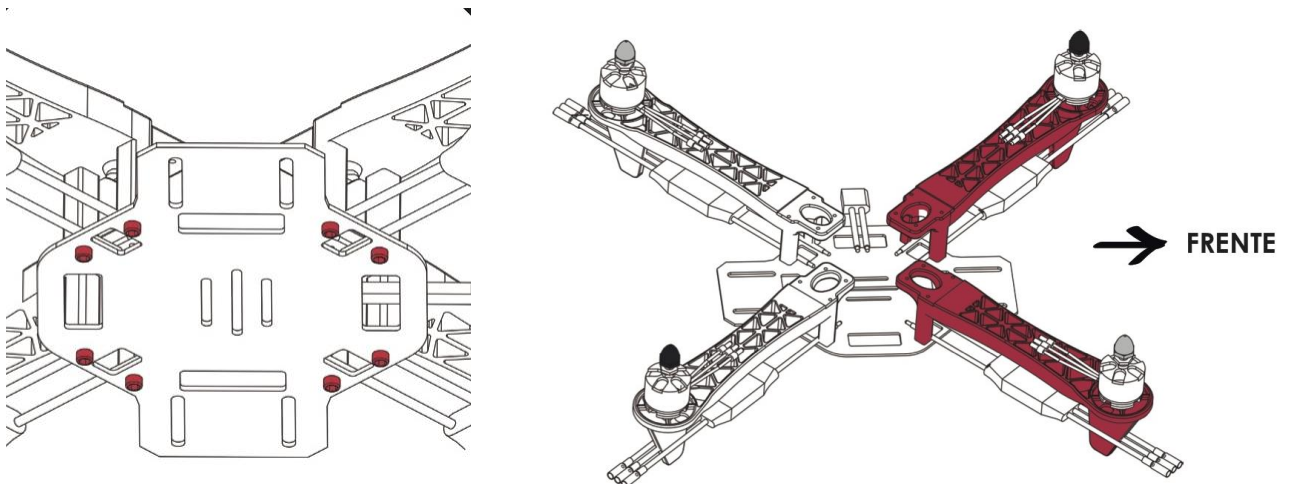


Figura 4.1: Placa del dron y chasis de cuatro elementos con distinta coloración. [89]

Por otra parte, se dispondrán de una serie de elementos denominados separadores, como se aprecia en la figura 4.2, que son tornillos que aumentan la separación entre los brazos del chasis y la parte inferior del mismo. Con ello se podrá disponer diferentes elementos además de distintos tipos de baterías debido al aumento del espacio entre ambos, [16] Dobrokhodov, V. Kaminer, I. Jones, K. Ghabcheloo, R. (2006).

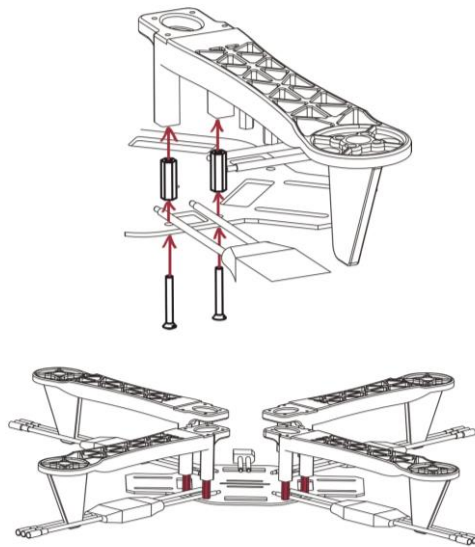


Figura 4.2: Los tornillos separadores. [89]

En la siguiente figura 4.3, se observa la parte superior del chasis, que permite desarrollar la parte central donde se disponen todos los componentes electrónicos del dron.

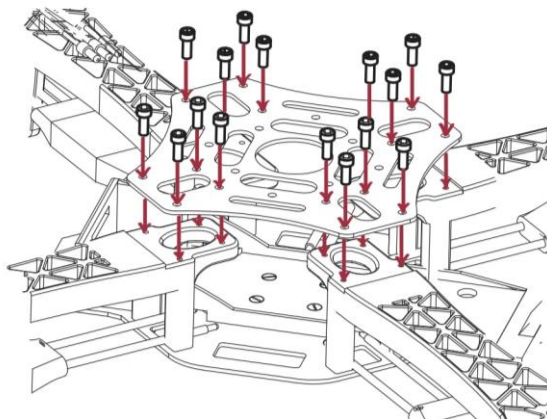


Figura 4.3: Parte superior del cuerpo del dron. [89]



## b) Montaje de motores

En los drones o RPAS se usan motores brushless (sin escobillas). Son motores mucho más eficientes que los motores con escobillas, ya que tienen menos rozamiento, su consumo es menor y se calientan mucho menos siendo su mantenimiento muy por debajo de los motores con escobillas tal y como recoge [24] Funes, J. (2016). Por otra parte comentar que se alimentan con corriente alterna (de ahí los 3 cables de cada motor) por lo que se necesita un variador de velocidad o ESC que transforma la corriente continua en alterna y a una determinada frecuencia para darle la velocidad apropiada en cada momento según la decisión del flight controller (controlador de vuelo).

Existen diferentes parámetros en un motor, pero los más importantes que se disponen en las fichas técnicas son los siguientes: vueltas por cada voltio, tamaño y empuje, aspectos que comentamos a continuación:

- a) **Vueltas por cada voltio:** El parámetro (KV) KiloVoltios, quiere decir el número de vueltas que gira un motor por minuto por cada voltio al que está alimentado. Por ejemplo, un motor de 2400 KV con una batería 3S (12V) girará a unas 28.800 vueltas por minuto.
- b) **Tamaño:** Los valores que se disponen en los motores indican su tamaño como por ejemplo para motores pequeños son 1804, 1806, 2204... Las dos primeras cifras siempre harán referencia al diámetro del motor, más concretamente del diámetro de las bobinas (rotor) en mm, y el segundo valor a la altura del motor (del eje) en mm.
- c) **Empuje:** Esta característica solo la podremos conocer analizando la ficha técnica del motor en la columna llamada habitualmente "Thrust", se mide en gramos, y es el dato determinante para decidir si los motores son apropiados para el dron que queremos construir o no, ya que hace referencia al peso que es capaz de levantar el motor. Por último,

comentar que la elección de los motores se debe realizar con una recomendación, que la totalidad de los motores de un dron sean capaces de levantar el doble de su peso posterior al montaje.

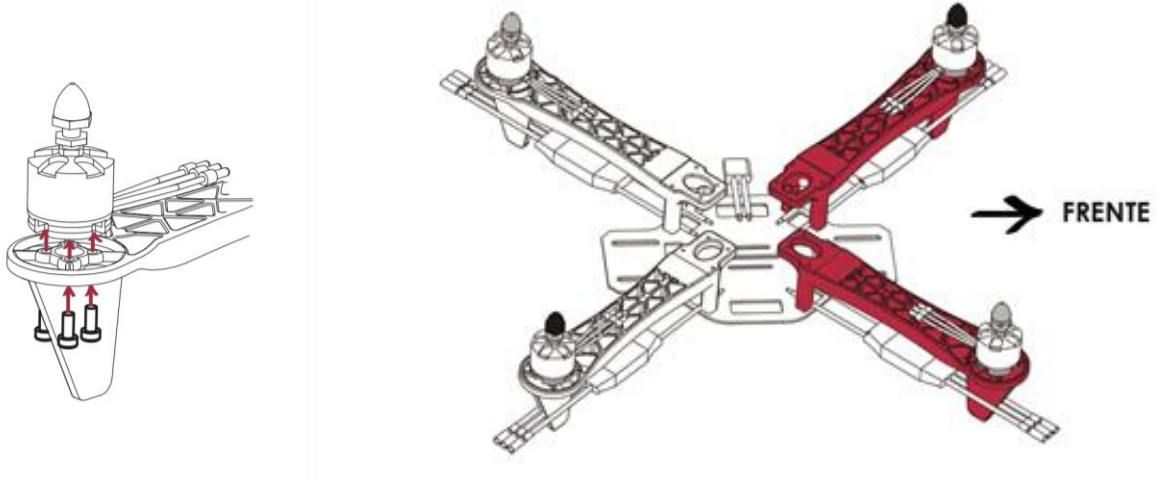


Figura 4.4: La elección de los motores depende del empuje y el voltaje. [89]

Los motores deben ser iguales y del mismo sentido dos a dos, es decir, los enfrentados entre los brazos del chasis, siendo de giro contrario los enfrentados perpendicularmente, tal y como se aprecia en la figura 4.5.

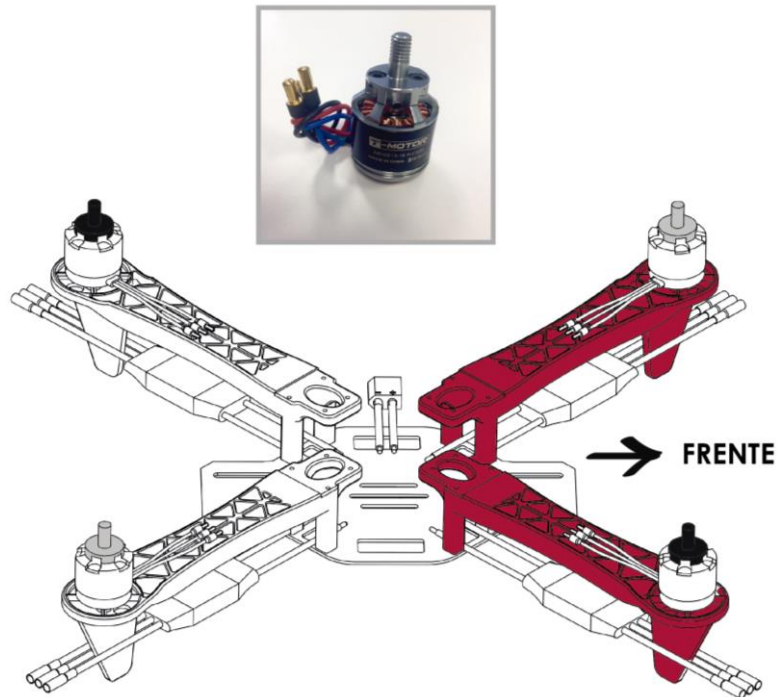


Figura 4.5: Los motores con coloración gris giran en el mismo sentido, los negros en sentido contrario. [89]

### c) Controladora de Vuelo

Es el cerebro de cualquier tipo de dron, podemos encontrar diferentes elementos todos ellos indistintamente de la marca de la controladora de vuelo. Su utilidad hace que transmita y codifique las operaciones y señales desde la emisora e interprete todos los movimientos que puede llegar a realizar un dron. En la controladora de vuelo podemos encontrarnos los siguientes elementos, como se observa en la figura 4.6.

- **Acelerómetro** para poder medir la propia “inercia” de los movimientos.
- **Giróscopo** para poder medir la velocidad angular de los cambios de posición.
- **Magnetómetro** utilizado como una brújula que permite saber en todo momento la dirección a la que apunta el dron.
- **Sensor barométrico** empleado para conocer con una precisión asombrosa la altura real de vuelo.
- **GPS** para poder conocer las coordenadas exactas en el espacio del dron incluida la altura y poder desplazarse de forma autónoma.
- Un **procesador** lo suficientemente potente como para realizar las máximas lecturas y operaciones por segundo en base a todos los datos.

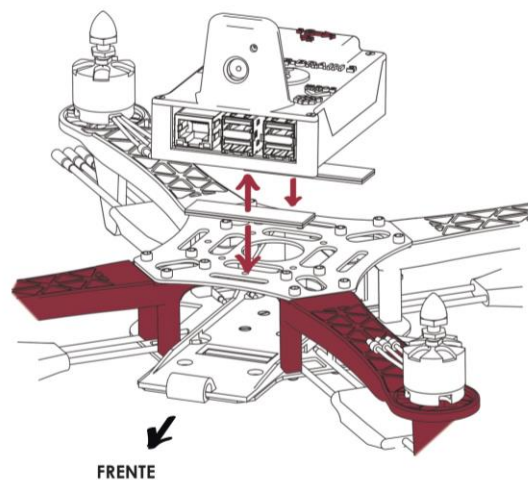


Figura 4.6: Controladora de vuelo – Erle Robotics con ordenador incluido. [89]

#### d) Conexión de los ESC's (Electronic Speed Controller)

En la siguiente figura 4.7 se muestran los ESC's o controladores electrónicos de velocidad que son dispositivos electrónicos que sirven para controlar la velocidad de los motores brushless.

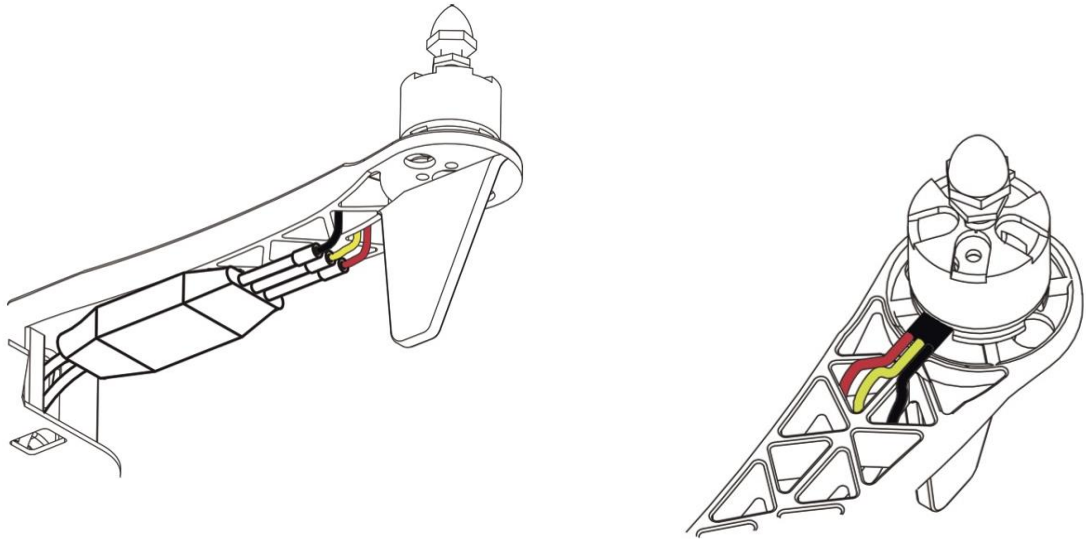


Figura 4.7: ESC's como variadores de control de velocidad de los motores. [89]

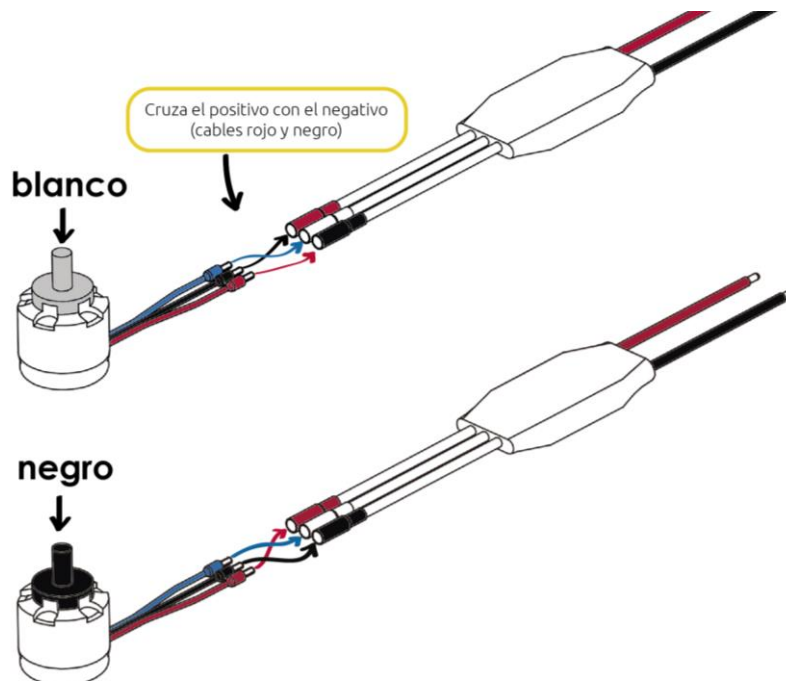
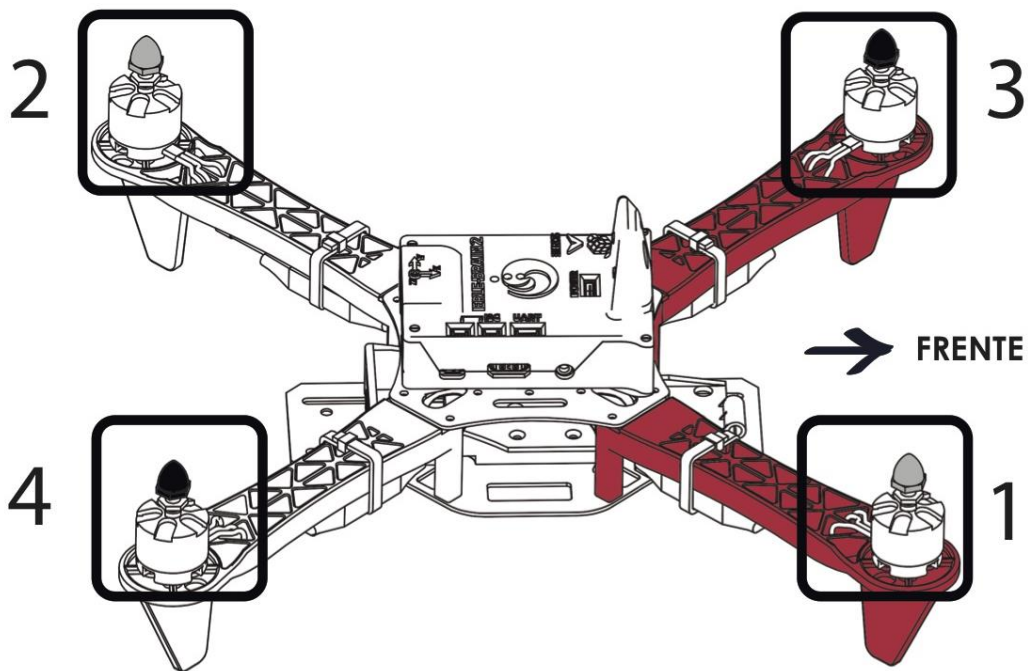


Figura 4.8: La conexión de los ESC's cambia en función del motor y su sentido de giro. [89]

### e) Conexión de los ESC's a la Controladora de vuelo

Cada ESC's o controlador de velocidad debe estar conectado según se especifican en la figura 4.9, la numeración del dibujo a la controladora de vuelo.



Empezar por el **motor 1**: conectar al primer canal de los pines. El cable blanco debe de estar arriba. Repetir al proceso con los otros 3 ESCs siguiendo el orden descrito en la imagen superior:

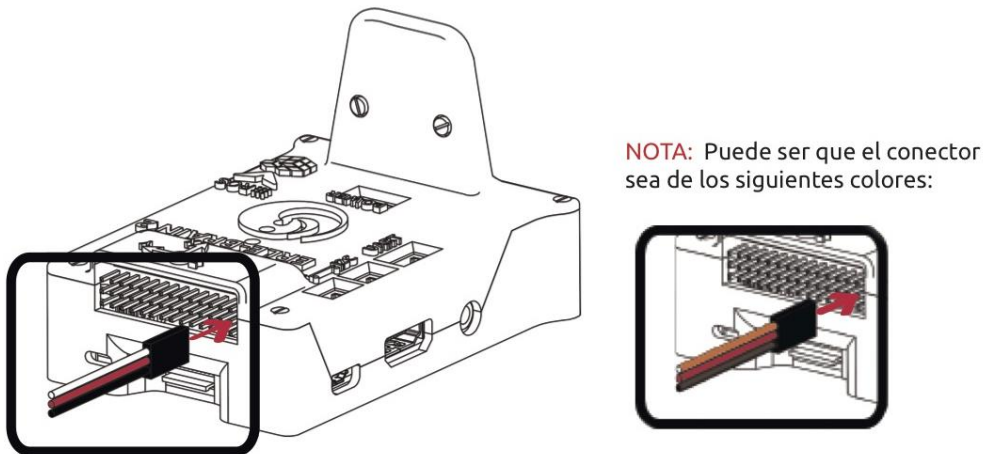
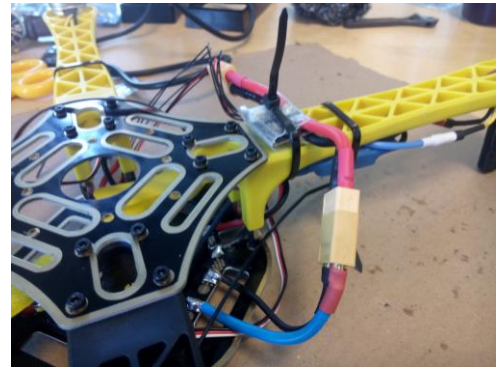
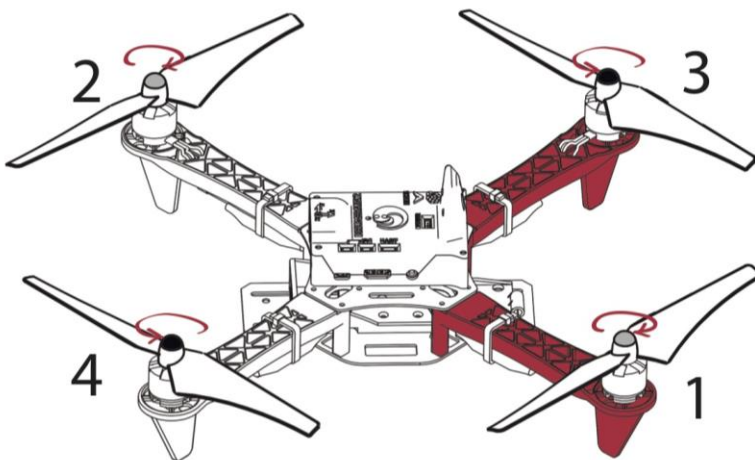
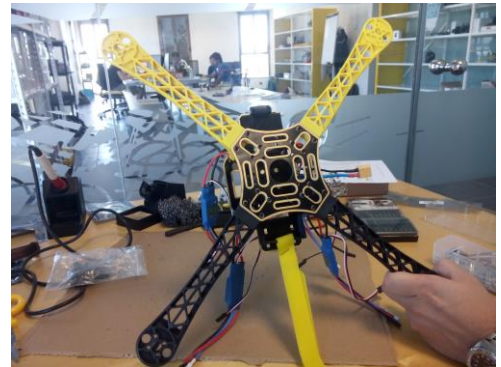
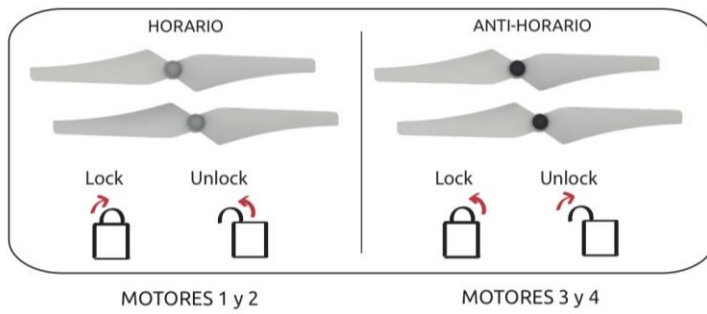


Figura 4.9: Las conexiones de los ESC's debe de disponerse de cada motor. [89]

## f) Conexión de Hélices

La disposición de las hélices se desarrolla en función del tipo de motores ya que su sentido de giro es diferente en los motores 1 y 2 y los 3 y 4, tal y como se observa en las figuras 4.10.



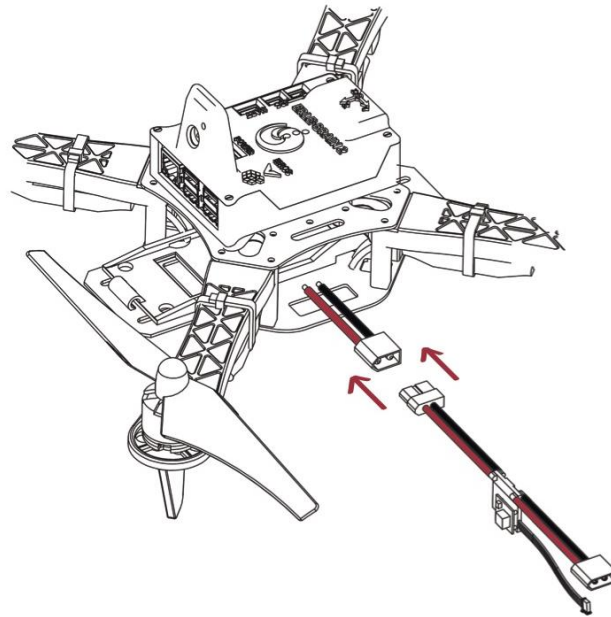
Figuras 4.10: las hélices deben girar en el mismo sentido según la disposición del motor. [89]



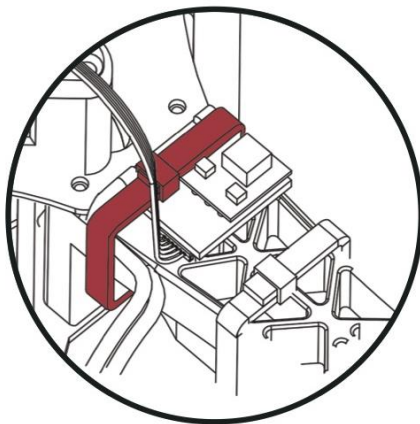
### g) Conexión del Power Module

En la siguiente figura 4.11 se muestra que este tipo de modulo conectado al cerebro del dron o controladora de vuelo hace que mida el nivel de batería pudiendo volver el dron donde ha iniciado el vuelo si su nivel es bajo siempre con conexión GPS.

1. Conectar el power module al conector XT-60



2. Amarrar el power module a la pata delantera izquierda con una brida:



3. Conectarlo a Erle-Brain 2: **POWER**

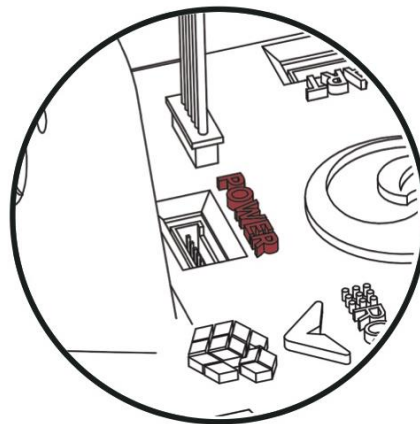


Figura 4.11: las hélices deben girar en el mismo sentido según la disposición del motor. [89]

## **h) Conexión de la Batería Lipo**

Para conectar una batería de Litio-Polimero (LiPo) se debe conocer su nomenclatura, según [6] Baichtal, J. (2016), por lo que debemos saber el nombre de la batería, con su marca y modelo. Asimismo, hemos de saber la capacidad (mAh), la tasa de descarga (C) y su voltaje (2S, 3S...) que exponemos a continuación:

### **– Capacidad**

La capacidad se mide en mAh (miliAmperios x hora) y se puede definir como la cantidad de carga eléctrica que es posible almacenar en una batería.

### **– Tasa de descarga**

La tasa de descarga se mide en 'C' y es la velocidad con la que se puede descargar la batería, es decir, la intensidad máxima que puede dar la batería de forma segura. La unidad 'C' significa cuantas veces tienes que multiplicar la capacidad de la batería para saber la descarga máxima, con lo que se podría decir que la tasa de descarga viene definida en función de la capacidad de la batería.

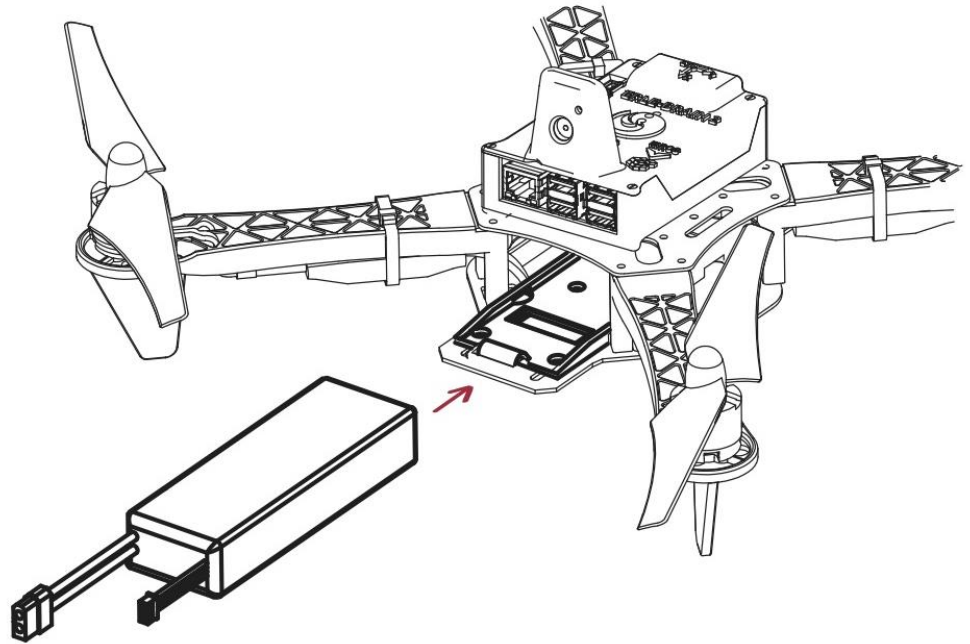
Si nos fijamos, en cualquier batería se dispone 2 números respecto a la descarga, 45-90C. El primero se refiere a la descarga constante y el segundo al máximo que soporta.

Siguiendo nuestro ejemplo, nuestra batería tiene una descarga constante de 45C, es decir,  $5000\text{mAh} \times 45\text{C} = 225.000\text{mAh}$  (225Ah), y 450Ah de pico, pero dado que su capacidad es de 5000mAh y suponiendo que estuviésemos consumiendo al máximo nos duraría aproximadamente 1 minuto y 20 segundos. Si la batería da 5000mAh en una hora (60 minutos) y utilizamos una descarga de

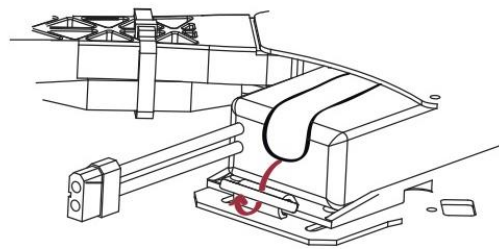


45C (45 veces su capacidad) dividimos los 60 minutos por 45 y nos da 1.3, es decir, 1min. 20 sg.

1. Insertar la batería:



2. Fijarla utilizando el velcro:



3. Conectar la batería al power module:

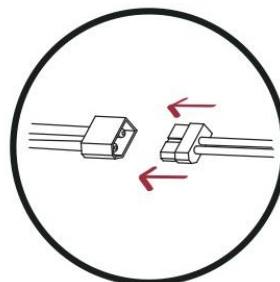


Figura 4.12: Inserción de batería. [89]

### – Tasa de carga

Aunque en muchas baterías no figura su tasa de carga máxima, normalmente cuando no dice nada ésta es de 1C. Algunas baterías tienen una tasa de carga que puede ser incluso de 5C, con lo que podríamos cargarla a 25A (5000mAh x 5C).

### – Voltaje

Las baterías están formadas en este caso por “celdas” y cada celda es de 3.7v nominal. Las celdas no son pilas al uso como en el caso de las NiMh pero funcionan de la misma manera como unidades independientes intercomunicadas, en el caso de una batería Lipo (2S) nuestra baterías serían de 7.4v (3.7v x 2 = 7.4v).

Nos atrevemos a comentar que el tema se complica un poco por esa “S” que sigue al número de celdas y que hace referencia a la “posición” de las celdas entre sí. En este caso, la S quiere decir Serie, pero nos podemos encontrar, también, con una P que hará referencia a Paralelo. En nuestra batería solo hace referencia a las S, pero podría indicarnos que se trata de una 2S2P, y eso querría decir que son 2 conjuntos de celdas soldadas en serie y en paralelo entre sí.

Es muy interesante, llegado este punto, definir los conceptos de serie y paralelo, y puesto que son importantes para la conexión de las baterías. Podemos distinguir entre:

- En serie, las baterías suman los voltajes, no así la descarga o la capacidad.
- En paralelo, las baterías suman la capacidad (y por tanto la descarga) pero no el voltaje.

## – Desventajas

Hemos considerado que hay que comentar los inconvenientes de las baterías LiPo, aunque con el paso del tiempo estas desventajas van más o menos desapareciendo. Al principio, había que comprar un cargador específico para ellas, pero hoy en día todos los cargadores vienen preparados para cargar LiPo. Tampoco deberían recibir golpes o aplastarse, pero ya hay para eso las llamadas “cajas duras”, que son baterías que vienen empaquetadas en una “caja” de plástico duro, estas consideraciones son desarrolladas por autores como [29] Hall, E. (2015) y [68] Miguel, A, y Fujita M. (2006), después de diferentes investigaciones de baterías Lipo.

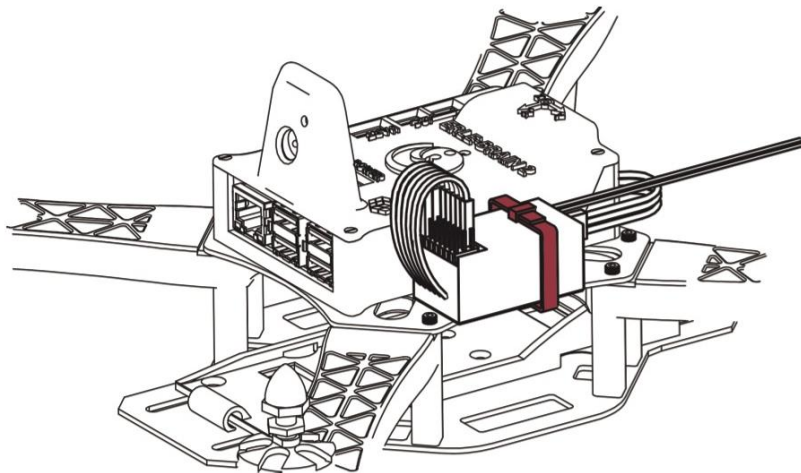


Figura 4.13: Conexión de batería y canal receptor. [89]

Una desventaja especial es que pueden llegar a explotar si se pincha, aplasta, etc. Si bien, como se ha comentado anteriormente, muchos de estos problemas se han solucionado con las cajas duras.

La mayor desventaja que tienen es que si una celda LiPo baja de 3v, esa celda quedará tocada perdiendo capacidad. Para evitar este problema, los variadores disponen del llamado “corte de LiPo” de su traducción “low-voltage cut-off”, [64] Quintero, S. Papi, F. Klein, D. Chisci, L. Hespanha, J. (2010), consiste en que cuando el variador detecta que una batería baja de un cierto voltaje “corta”, es decir, se para o reduce drásticamente la velocidad. En

algunos variadores ese valor está configurado por nosotros mientras que en otros es una cantidad fija que ronda los 3.4 o 3.5v por celda. Hoy en día prácticamente todos los variadores disponen de él, sobre todo los variadores brushless.

Cuando cargamos una batería que está formada por varios elementos, siempre hay el riesgo de que uno de los elementos reciba más carga que el resto y en el caso de las LiPo esto podría derivar en un sobrevoltaje de alguna de las celdas, con los consiguientes problemas como dañar la batería o incluso producir una explosión, [73] Zhan, P. Casbeer, D. Swindlehurst, A. (2005). Para ello, los cargadores LiPo disponen del balanceador de carga, que lo que hace es controlar el voltaje de cada una de las celdas individualmente para ver cuál necesita ser cargada más y cual no. En el siguiente gráfico se muestra como se conectan los transmisores de antena con el PC del brain.

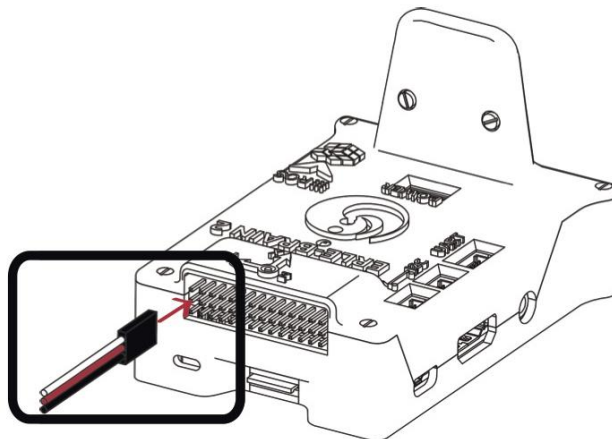


Figura 4.14: Conexión de canal receptor a antena y a PC (Brain). [89]

Existen diferencias entre los drones o RPAS para interiores y exteriores sobre todo por su tamaño y dimensiones. En la mayoría de las ocasiones en vuelos interiores escogemos cuadricópteros con motores coaxiales ya que su manejo puede ser más fácil en cuanto a pericia y maniobrabilidad.

En este apartado hemos visto cómo y de qué forma se debe prototipar un dron o RPAS. Esta tipología de dron es la idónea para trabajar de manera factible cualquier punto interior de edificios patrimoniales. En el capítulo siguiente veremos como a través de una cámara termográfica y fotogrametrías podemos valorar e inspeccionar con detalle las posibles patologías que puedan existir en este tipo de edificios monumentales. Un plan de mantenimiento y un cronograma anual para visualizar estos edificios pueden hacer que sus Rehabilitaciones en el tiempo sean menos costosas y saber qué se debe rehabilitar y por qué se debe rehabilitar con unas evidencias que a día de hoy se pueden conocer con la tecnología robótica aplicada con drones.



## **CAPÍTULO 5:**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INSPECCIÓN EN REHABILITACIÓN MEDIANTE DRONES.**

#### **LA IGLESIA DE N<sup>a</sup> DE LA MERCED.**

“...La Vida está hecha de Detalles...”

Mario Benedetti





En este capítulo nos centramos en el uso de drones y su aplicación concreta a un edificio patrimonial como es la iglesia de la Merced. Comenzamos con una explicación detallada de la historia de la Merced para su rehabilitación. Como punto de partida para la propuesta que exponemos, es preciso realizar una breve, aunque documentada, historia sobre la construcción del convento ya que es objeto del ejemplo desarrollado.

En el segundo apartado se desarrolla un estudio exhaustivo sobre el proceso de rehabilitación y los componentes constructivos a los que hace referencia, el caso concreto de la iglesia de la Merced.

Y por último desarrollamos la aplicación práctica de los drones basándonos en las técnicas de fotogrametría y termografía observando las distintas nubes de puntos y la alta resolución de técnicas termográficas que nos pueden hacer ver con este ejemplo que esta tecnología aplicada a RPAS o drones es el futuro de toda inspección y mantenimiento para la totalidad del Patrimonio.

### **5.1. Historia del convento e iglesia de la Merced.**

Es obligado señalar que, en este trabajo, como todos los de este tipo, centrados en temas de Rehabilitación tenemos que desarrollar parte de su historia de manera concisa y resumida, [21] Flórez, E (OSA) (1772). En este

caso la documentación según el [2] Archivo Municipal de Burgos (1843) y el [3] Archivo Histórico Nacional. (1519), el convento e iglesia de N<sup>a</sup> Señora de la Merced, presentan el gran inconveniente del daño producido por los distintos procesos desamortizadores y otros sucesos similares, según [60] Plácer, G. (1982), ha llevado a que la mayoría de los archivos de antiguos monasterios y conventos se encuentren con sus fondos destruidos, desaparecidos o tremendamente dispersos, lo que hace muy difícil su localización y catalogación.

En este caso, tenemos la dificultad añadida de que la orden mercedaria, [52] Nougé, A. (1973), desapareció definitivamente de la ciudad de Burgos con la desamortización de Mendizábal, en el año 1835, con lo que se hizo imposible para nuestra ciudad la recuperación de los papeles del archivo de este convento, así como la conservación del propio edificio con las características y la función que hasta ese momento había venido desempeñando. Aun así el volumen de documentación que se ha conseguido recuperar y conservar es cuantioso.

La documentación que se refiere a las obras que se fueron realizando en el convento, y en especial a las arquitectónicas, no es tan abundante como hubiéramos deseado. Lo que podemos decir a este respecto según [71] Valle, F. del. (1990), es que esta documentación es relativamente escasa y su publicación se ha reducido a pequeños artículos de carácter histórico artístico centrados en la iglesia conventual o en determinados aspectos de ella, como pueden ser retablos o sepulcros.

Respecto al momento en el que se produce la construcción del convento no hay datos exactos según [67] Rodríguez, M. (1989), pues apunta simplemente que en el año 1475 los mercedarios ya han abandonado su anterior ubicación. Será [56] Palacios, B. (2003), quien sitúa la concesión de la escritura de cesión en el año 1430 y comenzará a levantarse aproximadamente en el segundo tercio del siglo XV, las primeras construcciones del convento de la Merced. Sin conocer con exactitud cómo pudo ser ese primer edificio, si bien gracias a Pintre sabemos que debió tener una iglesia anterior a la actual, y que estaría situada en lo que más tarde iba a ser la portería baja del convento.

Debemos centrarnos en las construcciones que han llegado hasta nosotros, o que podemos conocer gracias a los testimonios documentales, [26] García, I. (1943) y de la [17] Institución Fernán González (1950). Entre estas construcciones destaca de manera especial la espléndida iglesia conventual, que supuso en todo momento la construcción más destacada y punto de relación de todo el convento. La descripción de esta iglesia la podemos encontrar en el Boletín de la Institución Fernán González, donde la describe [54] Osaba y Ruíz de Erenchun, B (1968), destacando la atribución que hace de la obra a Simón de Colonia.

Por su parte [30] Huidobro, L. (1951), en su relación de obras de estilo isabelino en la provincia de Burgos, nos habla de esta iglesia, destacando fundamentalmente la portada, coro y parte de la iglesia, donde uno de los pilares se adorna con bolas características de este estilo.

Las primeras noticias sobre ayudas proporcionadas para la construcción de la iglesia nos las da Pintre (1457) en manuscrito, señalando a González de Torquemada y Alonso de Cartagena.

Hay que señalar que no podemos determinar si estas donaciones corresponden a la primera fase constructiva del convento en el periodo inmediato a su llegada al barrio de Vega o, por el contrario, pertenecen ya al comienzo de la obra definitiva que ha llegado hasta nosotros.

En cualquier caso, nos encontramos con un largo periodo en el que no hay noticias sobre el estado de las obras de la iglesia ni del resto del convento. Tendremos que llegar a los años finales del siglo XV para que volvamos a encontrar información que nos indique como se encontraba todo el proceso constructivo, [9] Blanco, A. (1948).

[54] Osaba, B. (1968), señala que se comienza a edificar esta iglesia con la aportación de limosnas. En la documentación estudiada encontramos aspectos

que apoyan que a principios de 1514 se inicia el patronato. La cantidad fijada en un principio para las obras, ascendería a 6.000 ducados de oro, cifra realmente importante, tal y como consta el documento. Este hecho da validez a lo señalado por [54] Osaba, B. (1968) y por [30] Huidobro, L. (1951), quienes ya habían señalado que las obras de la iglesia se comienzan en 1498 gracias a las importantes limosnas de esta familia.

Las puertas a las que se refiere son las encargadas por el obispo Acuña para la puerta de acceso al claustro de la Catedral de Burgos desde el brazo del crucero y que se le atribuyen a Gil de Siloé. En lo referente a las obras de la iglesia, faltarán por realizar las rejas que separarán la capilla principal del crucero y que los patronos pretenden que se hagan con la máxima rapidez, así como las vidrieras para los ventanales de la iglesia, [19] Estella M. (1979), comenta que es Gregorio Bigarny quien se encargará de terminar el retablo, así mismo, hace referencia a los desperfectos sufridos por las vidrieras y su necesidad de reparación.

[32] Ibáñez, A. C. (1990), nos habla del huracán que sufrió la ciudad de Burgos el 23 de junio de 1540, en la época de los terremotos de aire, en el cual el edificio de la Merced fue uno de los más dañados.

Y en las disposiciones dejadas por Alonso del Castillo, en su testamento, podemos comprobar que en el año 1551 aún no está terminado el retablo para la capilla mayor encargado por los patronos, [10] Bosarte, I. (1978). En cualquier caso, lo que más nos interesa en este trabajo es lo referente a las obras realizadas en la capilla, dejando el retablo para otros estudios e investigaciones. [5] Barrón, A. (1994), recoge la historia de este retablo, y es de gran interés a la hora de poder establecer ciertos paralelismos con los sucesos que afectan a las obras de la capilla.

Los primeros problemas surgen con la demora que sufren las obras, ya que hasta 1569 no se comienzan a encargar las trazas, según [5] Barrón, A. (1994), casi una década después de la redacción del testamento y muerte de

Don Francisco de Pesquera. Pero las fuentes documentales, en lo referente a la capilla, nos llevan hasta el año 1574 en el que se inician la concesión de las obras. Aun así, los problemas debieron de continuar, pues cuatro años más tarde se presentarán unas nuevas trazas y condiciones para la realización del proyecto, las cuales parece ser que son obra del maestro de cantería Pedro de la Torre Bueras.

Como se puede observar, en estas condiciones se encuentran todo lujo de detalles sobre como se tenía que construir la Capilla, además, junto con todo esto, aparece un fragmento de unas trazas de la cúpula que debía coronar todo el proyecto de la iglesia.

Se empiezan a dar las primeras posturas para hacer el proyecto por los distintos maestros de cantería. Una de las primeras posturas la haría Pedro de Castañeda con 3.000 ducados, a la que seguirá la de su hijo Baltasar de Castañeda, haciendo la correspondiente rebaja que deja el precio en 2.600 ducados, terminando esta serie de bajas con la postura del propio autor de las trazas y condiciones de la obra, el maestro Pedro de la Torre Bueras, quien se queda en principio con la obra, estableciendo el precio en 2.000 ducados, con un prometido de 50 ducados. El fiador que este maestro propone será Martín de la Haya, encargado a en ese mismo momento de dar las trazas para el Retablo de la misma Capilla.

El comienzo de los trabajos se debe retrasar nuevamente al aparecer una nueva postura hecha por Rodrigo de la Maza, quien bajaba la propuesta de Pedro de la Torre Bueras, dejándolo en 1.800 ducados con 50 ducados de prometido, aunque esta postura será desestimada por el corregidor Diego Becerra, como encargado de llevar a cabo las disposiciones testamentarias de Francisco Pesquera. A esta postura le sucederán otras de Simón de Llosa, también maestro de cantería, quien rebaja el precio de la obra hasta los 1.700 ducados con un prometido de 40 ducados.

Finalmente vuelve a ser el propio Pedro de la Torre Bueras el que hace la

última rebaja en el precio de las obras quedándose de esta manera en 1600 ducados el costo de las obras, poniendo un prometido de 50 ducados. De este modo la obra es concedida nuevamente al maestro de la Torre, para lo cual se le conceden de forma inmediata las primeras sumas de dinero que le permitirán trabajar en ella sin más demora, pues no debemos olvidar que hacía casi veinte años que el canónigo Francisco de Pesquera mandó que se realizaran estas obras y aún continuaban sin hacerse.

Por otro lado, dentro de las disposiciones para la construcción de la capilla, se encarga también la construcción de una reja para separar la capilla del resto de la iglesia. Para su construcción se dará un pregón para que los maestros de la materia den sus trazas para el proyecto. Las trazas aprobadas finalmente serán las de Esteban de Aviñón, o al menos a él fue a quien se pago por la misma, dándole la cantidad de 4 ducados, y su realización es encargada al rejero francés Leonis de León por la cantidad de 480 ducados.

En 1580 se realizan denuncias que llevan a que el proyecto pase a ser más modesto y es a primeros del siglo XVII, cuando se reanudan las contrataciones de obra según [25] García, J. (1959).

En lo referente a la situación del convento en los años de mediados del siglo XVII, en los que Pintre vive hasta el año 1678, según [41] López, T. (1968), es bastante explícito en lo que respecta a la construcción del refectorio y de la sacristía, por ser dos estancias importantes para la vida diaria de la comunidad de frailes. Así mismo, nos habla de una portería, la cual dudamos mucho que pueda tratarse de la misma estancia que conocemos a través de un plano realizado en 1843, durante la venta de los edificios de comunidades religiosas en el momento inmediato a la desamortización. Llama la atención lo referente al claustro, pues será la información más antigua con la que contamos sobre esta parte del convento, puesto que no consta de documentos anteriores ya que en toda la documentación anterior no hemos encontrado ningún dato sobre sus obras o momento de construcción.

Lo más destacable es la detallada descripción que nos hace Pintre del convento, y muy especialmente de su iglesia. Realiza una localización de los más importantes sepulcros que en ella se encuentra, mencionando a los ilustres difuntos que en allí descansan, y llegando a reproducir algunos de los epitafios que aparecen. Nos hace un recorrido por toda la iglesia enumerando las distintas capillas y altares que existen en ese momento, entre las que destacan, por el lado del Evangelio las de San Antonio Abad, en la que sitúa la cofradía del mismo nombre, fundada el año 1694, y la Soledad de Nuestra Señora (antes dedicada a Santiago), bajo el coro estaría el altar del Santísimo Cristo de la Salud, y en la nave de la Epístola la capilla donde descansan los restos del ilustre Fr. Melchor Rodríguez de Torres, obispo de Rosse, desde la que se pasaría al claustro. Otra capilla sería en la que está enterrada Doña Juliana Pérez, importante benefactora del convento, y finalmente la sacristía.

Otras obras de la iglesia de las que hace mención será el órgano, que según nos indica fue construido gracias a la donación de Fr. Miguel Álvarez de Toledo en los primeros años del siglo XVIII. Del resto del convento, nos hace un detallado recorrido deteniéndose en algunas estancias como la librería. El Padre Palacios vuelve a hacer referencia al claustro que, según los datos recogidos por [49] y [50] Martínez, M. (1954), ya estaba terminado en la segunda mitad del siglo XVII. Señala que fue construido merced por los esfuerzos de la propia comunidad, y no con donaciones particulares como se habían realizado el resto del convento, lo cual hizo que se alargara bastante su edificación hasta estar finalmente terminado.

Información de [63] Ponz, A. (1972), nos da noticias de aquel retablo que en su día encargó el canónigo Francisco de Pesquera, comprobando de este modo que finalmente sí llegó a construirse con las trazas dadas por Martín de la Haya, hecho que en nuestros días es imposible constatar.

El proceso de decadencia y desaparición del convento de la Merced comenzará, como en la mayoría de los conventos y monasterios burgaleses, con la llegada de los franceses y la consiguiente guerra de Independencia.

El decreto de supresión de conventos firmado por el rey José I, hermano de Napoleón, obligará a los frailes mercedarios a dejar su casa, engrosando de este modo la Merced la lista de conventos abandonados que comienzan a ser pasto de la ruina y la rapiña. Durante el trienio Liberal (1820 – 1823), el edificio será destinado al Colegio de Cirugía, que comenzará a funcionar el año 1822 cuando se cierran todos los acuerdos. Con la vuelta de los frailes mercedarios a su convento se inicia el periodo final, hasta la muerte del rey Fernando VII en 1833. A partir de esta fecha comienza un periodo en el que se suceden los decretos desamortizadores que llevarán a la eliminación de los conventos en España.

La puesta en práctica de los decretos y leyes desamortizadoras conllevará no solamente la salida de los religiosos de los conventos, sino también la incorporación de sus posesiones al Estado según [47] Madoz, P. (1984), como bienes nacionales, o a la Iglesia, como objetos de culto. En cualquier caso, lo que se dará es una dispersión de los objetos de culto y una nueva utilización para el edificio conventual. Respecto a lo primero no habrá que esperar mucho para ver como numerosos objetos pertenecientes al convento empiezan a salir con destino a diferentes parroquias, según [43] López, I. (1969), no sólo de Burgos capital, sino también a otros pueblos de la diócesis.

En lo que se refiere al edificio, permanecerá prácticamente sin divisiones, salvo una pequeña parte, correspondiente a la portería del convento. El resto de la fábrica encontrará su primera función en 1846, diez años después de ser desamortizado, como hospital militar para acoger a los heridos de las guerras carlistas en la zona del País Vasco.

El periodo de los años 60 del siglo XX será un momento importante para el edificio del antiguo convento, pues se intentará ubicar en su iglesia el futuro Museo Provincial de Burgos. El hospital militar permanecerá en este lugar hasta el año 1880, momento en el que el final de las guerras carlistas lo hacen innecesario, con lo que pasará a estar en venta. Tras un nuevo periodo de expulsión, llegarán a Burgos los jesuitas, y comprarán el edificio para asentarse



en él, recobrando de nuevo su carácter religioso.

Con la llegada de los jesuitas al edificio según [42] López, T. (1932), comienza una etapa de obras significativas que terminarán dándole la actual fisonomía. Las primeras obras irán encaminadas a mejorar el aspecto de la fachada, así como reparar el tejado, que no debía de estar en muy buenas condiciones. Pero la gran obra que se realiza en estos primeros momentos será la construcción de la emblemática torre, hecho que ocurre en 1906. Los últimos contratiempos sufridos, en lo que se refiere a su uso, los vivirá en los años de la II República, en los que los jesuitas son nuevamente expulsados de España. Inmediatamente después de la guerra civil regresarán a la iglesia, mientras el resto del edificio estará ocupado por los falangistas y seguidamente por la Academia de Ingenieros Cadetes, entre los años 1940 - 1954.

Desde los últimos 70 años hasta 2001, la Iglesia no ha tenido contratiempos. Es en este año cuando un incendio arrasa la nave central del templo y la bóveda del ábside, como explicaremos posteriormente.

## **5.2. Procesos de la Rehabilitación de la Iglesia de N<sup>a</sup> Señora de la Merced de Burgos.**

En este apartado vamos a tratar cómo se han realizado los diferentes procesos de rehabilitación en la Iglesia de N<sup>a</sup> Señora de la Merced, a lo largo de diferentes años, debido al caótico incendio del año 2001. La rehabilitación del templo fue un proceso muy lento, ya que se quiso reconstruir la bóveda y la plementería con los mismos procesos constructivos que en el segundo tercio del s. XV. La tecnología y la rehabilitación se unían bajo un mismo eje para levantar de nuevo una de las Iglesias más significativas de la ciudad de Burgos. Es importante destacar el hecho que ha llevado a una de los procesos de rehabilitación en edificios patrimoniales más interesantes y que es señalado en el presente trabajo.

Durante la noche del 21 de abril de 2001, uno de los incendios más importantes que se han producido por su envergadura y por la complicación en su extinción fue el que arrasó con la Iglesia de Nuestra Señora de la Merced. Se produjo en las traseras del retablo mayor durante más de cinco horas. En el proceso de combustión hubo colapso de la bóveda del altar, incendiándose las primeras cerchas de la cubierta.



Figura 5.1: Estado de la cubierta después del incendio

Fuente: Luis López Araico

Un día después del incendio comenzaron el proceso de diagnóstico y las obras de restauración y rehabilitación. Señalamos cinco fases:

- a) Actuaciones y estudio del templo.
- b) Actuaciones de urgencia.
- c) Reconstrucción de la cubierta.
- d) Reconstrucción de las bóvedas.

### **5.2.1. Actuaciones y estudio del templo**

Se realizó un estudio del siniestro originado en el templo, basándose en el análisis de la zona central de la nave. La síntesis del estudio tuvo unos resultados favorables de las zonas tratadas, por lo que se pudo empezar a calcular cómo iba a ser la nueva bóveda de la iglesia y su ejecución.

Después de estudiar con detenimiento la estructura principal del templo se pudo observar la composición de la totalidad de sus muros, contrafuertes y pilares para la sujeción de las diferentes bóvedas sobre los arcos apuntados exentos existentes en la misma.

Este trabajo tuvo su resultado en la confección específica del tipo de piedra al que nos íbamos a enfrentar: aparentemente piedra arenisca silíceo, sentada “a hueso”, es decir, sin ningún tipo de argamasa. Asimismo, se observó que la plementería de las bóvedas presentaba juntas de cal y hueso la “plementería” de las bóvedas se observó que presentaban todas ellas juntas de cal y hueso.

En el transcurso del análisis se pudieron determinar los aspectos más significativos del origen del incendio. Después de muchas teorías, la más fiable por parte de todos los técnicos que investigaron este suceso, fue que al parecer, el fuego se originó tras el retablo que cubría el ábside central, como consecuencia de un cortocircuito originado desde las conducciones eléctricas localizadas en las traseras del retablo. La velocidad de propagación del fuego aumentó al llegar a ambientes oxigenados, lo que afectó a la totalidad de la cubierta y a la bóveda del ábside central.

Examinando minuciosamente el deterioro de los sillares más afectados, se pudo comprobar que no había síntoma de agotamiento de los muros; sin embargo, se apreciaron daños en los sillares que presentaban un deshojamiento de las capas de piedra exponiendo superficies de fractura interna lisas, frecuentemente de forma concoidea.

La profundidad de los daños en los sillares se estimó entre 10 y 15 cms. en los casos más importantes, aunque en las zonas superiores del apoyo de la bóveda del ábside fueron superiores a 25 cm.

Las zonas aparentemente más afectadas por el fuego correspondían al muro frontal y al lado adyacente izquierdo, por presentar mayor profusión de sillares dañados en profundidad. Los restantes muros del ábside estaban

también afectados, aunque en menor grado, pudiéndose valorar las temperaturas en su máximo apogeo en torno a los 300°C.

En el resto de la nave se apreció el desprendimiento de numerosa plementería en la totalidad de las bóvedas, ya que en el intradós de las mismas se produjo un enfriamiento de la entrecubierta del templo como consecuencia del hundimiento de la cubierta de la bóveda del ábside. A su vez, se produjeron una serie de agrietamientos en las distintas bóvedas como consecuencia de las dilataciones producidas por las altas temperaturas del incendio.

En el análisis de la cubierta se observó que las distintas cerchas de madera se apoyaban sobre las claves de las distintas bóvedas, produciéndose una sobrepresión en todas ellas con un posible agotamiento y hundimiento de las mismas. La estimación de las características mecánicas de las bóvedas y de la mampostería de los muros mediante diferentes ensayos de probetas testigo, fueron primordiales para las diferentes actuaciones en la totalidad de la cubierta, tanto para la consolidación de la estructura integral del templo como para la nueva construcción de la bóveda del ábside.

### **5.2.2. Actuaciones de urgencia.**

Se desarrollaron actuaciones de urgencia a través de diferentes apuntalamientos en las obras de fábrica y en las bóvedas anexas al ábside. Asimismo, se dispuso de una plataforma de andamios en toda la superficie de la nave de la iglesia para que la ejecución de los apeos.

La segunda fase de trabajo, consistió en el inmediato apeo de las bóvedas adyacentes al ábside debido a la presencia de zonas con una sintomatología indicativa de una situación sumamente precaria a efectos de seguridad porque se empezaron a caer piezas de mampostería de diferentes bóvedas de todo el conjunto del templo.



Figura 5.2: Apeo interior de bóvedas de la nave central

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en las zonas de arranque de los arcos del ábside que se habían colapsado por el siniestro, se efectuó una limpieza y saneamiento de los apoyos cuidando con sumo detalle la forma de entrega de los arcos con los muros de la mampostería.

El arriostramiento de todo el complejo estructural fue elaborado con un sofisticado entramado estructural de andamios en la totalidad de la nave, ya que la forma de apear las bóvedas debía tener la base de apoyo y de trabajo que debía.

Este trabajo hizo definir la forma de desarrollar la cubierta y la posterior colocación de las impresionantes cerchas de madera que cuidadosamente confluyeron en la elaboración de la cimbra estructural para la nueva bóveda.

El análisis de la documentación existente permitió definir bajo el punto de vista estructural la nueva bóveda del ábside. Esta creación no se podía plantear como un ente o estructura aislada sino todo lo contrario debía coexistir con toda la estructura original, debía ser solidaria con todo el complejo abovedado.

Las fuerzas de la nueva bóveda debían calcularse por la elaboración de modelos de cálculo tridimensional por elementos finitos, un cálculo que debía facilitar la integración exhaustiva de los parámetros elásticos y sus condiciones de contorno a los valores de las características de los materiales estimados en la totalidad de los apoyos.

La determinación de la profundidad media de cada una de las capas, la comprobación volumétrica y espacial de toda la geometría de muros, bóvedas y arcos nos hizo determinar una estimación de la densidad y del coeficiente del empuje del material de relleno de los senos de la bóveda.

### 5.2.3. Reconstrucción de la Cubierta.

Se reconstruyó la totalidad de la cubierta con la nueva ejecución de las cerchas del ábside. Con anterioridad se procedió a la demolición de la cubierta afectada y se ejecutaron las cerchas de madera laminada. Los puntos críticos de la rehabilitación fueron los apoyos en los muros donde se dispuso un refuerzo para que los apoyos de las cerchas fueran capaces de soportar la carga de las mismas.



Figura 5.3: Ejecución de cerchas en la nave central

Fuente: Elaboración propia.

Como consecuencia de los desperfectos originados por el incendio, se procedió al desescombro de los elementos de cubierta directamente afectados.

Las operaciones que se diseñaron para la rehabilitación y reparación de la cubierta fueron, en primer lugar, el montaje superficial de la zona del ábside de una plataforma metálica con sus correspondientes medios auxiliares de protección: mallas protectoras, pasarelas, escalera de acceso, etc... Todo ello posibilitaría el acceso a la zona superior de la parte afectada.

Igualmente, y sobre la andamiada exterior, se formaron plataformas de trabajo voladas con sus correspondientes elementos de protección peatonal con el fin de evitar caídas de material. Por otra parte, se instalaron toldos

plastificados con sus correspondientes elementos auxiliares de apoyo y fijación, para protección contra la lluvia en los trabajos que se realizaron en cubierta.

Una vez realizada la preparación de los tajos se procedió a elaborar los trabajos de desmonte, demolición y retirada de todos los elementos afectados y que allí se encontraban, tales como cerchas, correas, tableros de madera, canalones, etc...

Posteriormente la reposición de los muros en piedra y la sillería similar al resto de los muros en la zona del ábside, al ser las zonas afectadas, se realizó un zuncho reforzado de mampostería hasta la altura de coronación del resto de cubierta.

Sobre los muros repuestos se realizó un cajado perimetral para el alojamiento de durmientes y chapas metálicas donde se apoyaron las cerchas embebidas en el zuncho de coronación del muro.

Durante el transcurso de la obra se procedió a la colocación de cerchas de madera, atornilladas de diferentes luces. Estas cerchas se ubicaron en zonas completamente deterioradas, tales como zonas del ábside y del crucero.

La gran dificultad durante la ejecución fue la reposición de las cerchas, debido al deterioro que tuvo una de las bóvedas y, también, a que el templo era irregular en su perímetro, tanto en sus paramentos como en sus bases de apoyo de las estructuras.

Por otra parte, en las zonas de reposición de la cubierta y sobre las cerchas se colocaron correas igualmente de madera, realizándose un sistema mediante anclajes entre los distintos elementos atornillados por medio de elementos metálicos galvanizados.

Los faldones de la cubierta se realizaron de nuevo completamente por medio de entablados, con formación de enrastrelados para el alojamiento y



anclaje de tejas con aislante térmico hidrófugo entre los mismos. Se concluyó con la colocación de cobertura de teja cerámica curva similar a la existente en el resto de la cubierta.

En las zonas de entramado de cubierta no afectada directamente por la acción del fuego se procedió al tratamiento general, con aplicación de productos ignífugos en los elementos defectuosos. Se repasó el resto de la estructura existente de madera, estudiándose las cabezas de apoyo, cada componente, así como su resistencia, manteniendo aquellos puntos que se consideraron en perfecto estado.

A la vez que estas actuaciones se construyó un nuevo alero en la zona afectada por el incendio, de iguales características al existente en el resto de cubierta. Igualmente se aprovecharon los trabajos generales a realizar en la cubierta, se reparó el resto del alero, procediéndose a la sustitución de los elementos que se encontraron en deficiente estado.

La cobertura de la zona nueva a reponer se realizó con teja cerámica curva de iguales características al resto de la cubierta. También se hizo un completo repaso y retejado de la totalidad de la cubierta, renovando los elementos que se hallaron deteriorados.

Se sustituyeron la totalidad de los canalones y bajantes, desmontándose primeramente los existentes; en la parte inferior de las bajantes de pluviales se colocaron defensas de hierro fundido con sus correspondientes grapas de fijación, entroncándose a la red de desagüe.

Los trabajos de cubierta concluyeron con el perfecto sellado e impermeabilización de los encuentros de la teja con los paramentos, mediante la aplicación de revestimientos elásticos y pintura elastomérica, excepto en la parte aún no ejecutada del hueco de entrada del ábside para las diferentes fases de la obra. Asimismo, se tuvieron en cuenta, en la ejecución de la cubierta, las diferentes normativas básicas de obligado cumplimiento en esos años (NBE-CT-

79 y NBE-CPI 96). Es preciso matizar que, dadas las características de la cubierta, se considera que los espesores de muros existentes cumplen sobradamente con la norma, en cuanto aislamiento para la zona y climatología de Burgos. Respecto a la protección de incendios se proyectaron diferentes medidas tecnológicas contra incendio jamás instaladas en un templo de esas características.

#### **5.2.4. Reconstrucción de las bóvedas.**

Se consolidó el conjunto de las bóvedas mediante la ejecución de arriostramientos en la totalidad de ellas por medio de un cosido metálico en forma de “v” que hiciese que cada una de ellas pudiese estar en equilibrio. Por otra parte, se ejecutó la formación de la nueva bóveda del ábside mediante la ejecución y el cálculo de cerchas de madera las cuales se apoyaron en refuerzos dentro del perímetro del ábside.



Figura 5.4: Encalado de bóvedas de la nave central

Fuente: Elaboración propia.

La cuarta fase de rehabilitación se desarrolló basándose en: reposición de bóvedas abatidas, consolidación del núcleo central y de sus bóvedas y trabajo de limpieza y estudio de las instalaciones.

Durante esta fase de la obra se desarrollaron diferentes actuaciones constructivas, relacionadas con el desmonte y desescombro, transepto y ejecución de obras de rehabilitación.

#### **a) Desmonte y desescombro.**

Se procedió a la demolición y desmontaje de las zonas afectadas para sustituirlas por entablados y correas. Posteriormente se procedió a desescombrar toda la zona afectada por el incendio en la bóveda central y las bóvedas adyacentes, sustituyendo y desclavando durmientes.

A la vez que el desescombro se retiraron piezas dañadas y elementos sueltos en todos los paramentos verticales y horizontales, repicando incluso restos de pastas y morteros, eliminando superficies afectadas y dañadas, incluyendo aquellas que, sobre todo, habían sido afectadas en el ámbito estructural habiendo perdido su resistencia. Por otra parte se eliminaron la fábrica de cantería y la fábrica cerámica con alteraciones de su composición, para poder realizar la evaluación y estudio del arreglo pertinente a los efectos de su sustitución o restauración.

Se procedió a la retirada de la mesa base del altar, acondicionándose el suelo del ábside para colocar después la solera. Se retiraron los escombros y posteriormente se realizó la solera de hormigón armado con un espesor medio de 25 cm., armada con cuadrícula de 20x20 d-12, extendido, nivelado y vibrado, encofrándose lateralmente el núcleo central, para colocar una zona en zanja para luz de reflectores hacia el altar.

Se realizó la limpieza general de los paramentos con agua, decapante y proyección, en las partes con gran espesor y sin tocar la piedra, de un microárido de olivino autorizado, para no dañar la superficie, y arrastrar las capas de humo, hasta eliminar los elementos contaminantes superficiales, sin modificar ni eliminar morteros de rejuntado o revestimiento.

Al mismo tiempo se hizo la limpieza puntual en seco, con la apertura de juntas del transepto derecho, de la fábrica de cantería en los lugares donde se apreciarían multitud de fisuras y fracturas, mediante brochas de cerda suave y cepillo de raíces y útiles manuales para el repicado descubriendo las zonas delezadas y arenizadas o saltadas, ampollas de pátina y fisuras de la fábrica, previa eliminación de cascotes, detritus y adheridos, con retirada de escombros y material desechable. La medición se ejecutó sin deducir nervios y sobre la superficie de las bóvedas y muros incrementada en un 50% por el desarrollo de nervios y resaltes, sin incluir los conjuntos escultóricos de los arcosolios.

El apeo de la bóveda del crucero se ejecutó por medio de puentes, soleras, apuntalamientos, cuñas, juntas en cabeza de puntales con entrega a arcos y claves, no estando considerado el desmontaje.

Se realizó la formación de arranques de nervios mediante el desmonte de piedras fragmentadas en pilastras, capiteles, canecillos, arranque de nervios y encuentros de plemento, mediante el corte de radial y repicado manual, con retallado de asientos, eliminación de relleno de hombros y formación de asientos.

Por otra parte, se preparó la formación de un zuncho o caja perimetral cuyas dimensiones fueron de 10x50 cm, eliminando rellenos y repicado de mortero de cantería en la parte superior de los muros perimetrales de la nave.

Se ejecutó el cierre de juntas eliminando restos de mortero y polvo con limpieza, posterior rejuntado con mortero de cal. Se reprodujo la forma volumétrica de pilastras, collarines, capiteles y nervios adosados de bóveda (7 cuerpos del ábside), mediante mortero de restauración armado con espoleta sintética y varilla de acero inoxidable anclada con rexina epoxi. También se realizó el cierre de juntas eliminando restos de mortero y polvo con soplado de limpieza, con posterior rejuntado con mortero de cal.

La forma volumétrica de pilastras, collarines, y nervios adosados de la bóveda se reprodujo mediante mortero de restauración armado con espoleta sintética y varillas de acero inoxidable anclada con resina epoxi.

Posteriormente se hizo el labrado con textura final, y la ejecución de la pilastra con el nervio adosado, debido a la pérdida de apoyo o disgregación hasta la base con:

- Corte y labra de cantería.
- Colocación y cosidos.
- Rejuntado y retacado del trasdós.
- Retallado “in situ”.
- Patinado y entonado.

Se fue desarrollando el trabajo de recuperación interior de ventanas con parte proporcional de nervios, mochetas y derrame mediante mortero de restauración armado con espoleta sintética y varilla de acero inoxidable anclada con resina epoxi, siendo su labrado y texturado final una variante de la piedra natural original para cumplir las estipulaciones de las premisas de restauración que dictaminan que la misma no debe ser igual que la original.

Para la restauración de los nervios en mal estado de las bóvedas se dispusieron pequeñas cuñas de madera para acodalar las dovelas de las nervaduras, templando las mismas para evitar tensiones que desequilibren el conjunto. A la vez se procedió a la limpieza de los huecos entre las piezas, eliminando los morteros sueltos y procediendo a una aspiración y posterior soplado con aire a presión.

Posteriormente se hizo un repicado, con apertura de juntas. Asimismo, se trabajó la restauración de las juntas entre las dovelas. Los componentes que se dispusieron para esta restauración fueron: para el rejuntado del pllemento, masilla tixotrópica y morteros mixtos de cal con componentes acrílicos y colorantes.

La restauración continuó con la inyección de huecos internos con mortero de base epoxítica, para dar continuidad tanto a las piezas de las nervaduras como al plemento. En los puntos que se estimaron convenientes, con un total de quince, se procedió al cosido con barras de fibra de acero inoxidable y morteros adhesivos de resinas sintéticas o epoxíticas.

También se revisó completamente y con continuidad estructural todo el llagueado de la totalidad de las bóvedas. Se preparó el cosido de plementos, mediante cruce de varillas de diámetro 4 mm con taladro de 0,30m de relleno de mortero sin retracción.

Igualmente se ejecutaron los nervios de las bóvedas en piedra caliza compatible con la de Hontoria (que es la original), reproduciendo geometría y textura, con recibidos y retacados de mortero de cal, realizando cosido de encuentros al muro portante y dovela de arranque y cosido simple entre cada dovela. El plemento de la bóveda se preparó en material cerámico compatible con el sillar recto y trapezoidal de 15 cm de espesor en piedra de toba.

Las bóvedas aledañas se recibieron con mortero de cemento y retacado con mortero aligerado, mediante primera rosca de ladrillo hueco de 4 cm, tomado con pasta de yeso, segunda rosca asentada y rejuntada con mortero de cemento armado con malla sintética para morteros, con capa de compresión de 20 mm en mortero de cemento, revestimiento interior en yeso fosco raspado y texturado.

El andamiaje estructural de apeo de bóvedas se realizó basándose en un andamio tubular multidireccional envolvente, con plataformas a diferentes niveles. El andamio central se reforzó con reguladores que se triangularon entre sí desarrollándose un andamio perimetral evitando así anclajes que pudieran dañar el muro de carga de la nave.

La característica de la plataforma del andamio superior se formó mediante una cuadrícula indeformable mediante una celosía rígida y con puntos de arranque para el cimbrado, ejecutándose el montaje, desmontaje.

La cimbra de la bóveda que se realizó fue cuajada y se hizo mediante nervios de madera. Estos nervios se ejecutaron con tableros contrachapados, sujetos por puntales telescópicos, barras y abrazaderas.

El encofrado de los plementos se realizó mediante camones de madera y tableros contrachapados apuntalados y cosidos a las cimbras principales.

Por otra parte, se preparó la sustitución parcial de los sillares del muro vertical mediante el picado y retallado de piedra hasta 15 cm. de profundidad. Se colocaron los sillares empotrados cortados a medida, recibidos con mortero de cal y cosidos al muro portante con varillas de acero inoxidable.

La restauración de la fábrica de sillería se realizó hasta una profundidad de 8 cm. mediante capas superpuestas de mortero de restauración hasta 4 cm., previo relleno de mortero con aditivos.

Asimismo, en todo el conjunto escultórico se eliminaron fragmentaciones y suciedad de forma manual, y se recuperaron elementos perdidos en volumen, labrado y pátina final mediante tierras naturales y fijadores inertes reversibles, sobre el arcosolio.

## **b) Transepto**

Se realizó una limpieza general con agua, decapante y proyección de microárido autorizado hasta eliminar contaminantes superficiales, sin modificar ni eliminar los morteros de rejuntado o revestimiento. La medición se realizó a cinta corrida sobre la superficie de las bóvedas y muros incrementada en un 50% por el desarrollo de nervios y resaltes, sin considerar conjuntos escultóricos de arcosolios.

Para proceder a su restauración se estableció el montaje de una plataforma de andamios tubulares y a partir de ésta plataforma se ejecutó una estructura de elementos de apeos puntuales para garantizar la estabilidad de todo el conjunto de las bóvedas.

La restauración de los nervios en mal estado de las bóvedas se realizó atendiendo a los siguientes pasos:

- Introducción de pequeñas cuñas de madera como acodalamiento de las dovelas de las nervaduras. Se templaron las mismas para evitar tensiones que desequilibrasen el conjunto, habiéndose procedido a la limpieza de los huecos entre las piezas, eliminando los morteros sueltos y realizándose una primera aspiración y un posterior soplado con aspiradores de impulsión con aire a presión.
- Se rejuntaron las juntas entre dovelas y entre el plemento con masilla tixotrópica y morteros mixtos de cal con componente acrílico y colorantes. Se procedió a la inyección de los huecos internos con mortero de base epoxítica para dar continuidad tanto a las piezas de las nervaduras como al plemento. En diferentes puntos se procedió al cosido con barras de fibra de vidrio o acero inoxidable y morteros adhesivos de resinas sintéticas o epoxíticas.
- Continuando con los trabajos, se desarrolló una limpieza puntual en seco con aperturas de juntas del transepto de la fábrica de cantería en estado de conservación defectuoso, ya que se apreciaron numerosas fisuras y fracturas. Las herramientas con las que se procedió a ejecutar el trabajo fueron brochas de cerda suaves, cepillos de raíces y útiles manuales de repicado, todas ellas para descubrir zonas arenizadas o saltadas, ampollas de pátina y fisuras de la fábrica, previa eliminación de cascotes, detritus y adheridos. de materiales. Posteriormente se realizó un lavado inicial con



decapantes y un aclarado final con rejuntado de mortero de cal eliminando restos de mortero y polvo con soplado y limpieza.

- Se procedió a ejecutar el cosido de plementos con el rejuntado de varillas con diámetro 4mm de taladro de 0,30m y relleno de mortero sin retracción hasta de 6 ud/m<sup>2</sup>.
- Asimismo, se realizó una restauración de los vitrales existentes incluyéndose un proyecto previo de datación e identificación, estudiando detalladamente las patologías. Por lo que se procedió a ejecutar las siguientes partidas:
  - Limpieza y pasivado de elementos metálicos.
  - Reposición de tramas y vidrios dañados o perdidos.
  - Desmonte y reposición de añadidos entre vidriera y paramento con suplemento fingido del bastidor.
  - Reposición general de enmasillados con compuestos de aceites y cargas similares.
  - Retocado de policromías.
  - Reportaje y actuación.
- Ejecución de protectores de 5 vidrieras con:
  - Bastidor de cobre con tratamiento para envejecido natural.
  - Cuajado con malla de Deployer de latón tratado.
  - Anclajes de cobre y bronce al paramento.
  - Tratamiento general del pavimento de la Iglesia con pulido de decapado y limpieza a partir de piedra lija de grano 120 semiseco.
  - Limpieza mecánica, satinado o brillo con ceras modificadas.

### **c) Ejecución de las obras de Rehabilitación.**

Se desarrolló una limpieza integral actuándose en vidrieras, portada principal, confesionarios, arcosolios, retablos, estatuaria y pequeñas actuaciones que enmarcaron la configuración arquitectónica de la Iglesia.



Figura 5.6: Plataforma de trabajo de andamiaje a 6 m.

Fuente: Elaboración propia.


Durante las obras y después de analizar diferentes presupuestos se optó por contratar a una empresa que definía absolutamente toda la rehabilitación de manera sintética y completaria a los trabajos de rehabilitación.

En este presupuesto se analizó cómo se debía proceder a la rehabilitación. En primer lugar, se procedió a determinar que existían tres procesos totalmente diferenciados, como son la cabecera, el transepto y los generales.

La conclusión de la rehabilitación fue que la zona más importante del templo, la cabecera de la nave, se observó, que de los nueve cuerpos del ábside, cinco de ellos estaban totalmente deteriorados por lo que se desmontó el volumen de los elementos de los paramentos verticales y horizontales.

Habiendo finalizado el proceso de actuación de la Iglesia de Nuestra Señora de la Merced pasamos, a comentar que, en el transcurso de 11 años, después de su rehabilitación, no ha existido comportamiento alguno de materiales que colapsen la estructura durante estos años.

Asimismo pasamos a desarrollar las tablas de inspección elaboradas en el capítulo 4 para la iglesia de la Merced.

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO MONUMENTAL DE PATRIMONIO		
IGLESIA DE Nª SEÑORA DE LA MERCED DE BURGOS		
Tipo de vía: Avenida	Vía: Valladolid	
Nº: 9	Piso/Letra: -	C.P: 09002
Población: Burgos		Provincia: Burgos
Referencia Catastral: XCMBU7DFCG7890		
Otras Ref. Catastrales y Observaciones:		
El edificio monumental de Patrimonio es: <input type="checkbox"/> Un único Edificio Monumental <input checked="" type="checkbox"/> Edificio con espacio anexo y/o edificaciones. <input type="checkbox"/> Edificio con varias construcciones anexas.		
Elementos Comunes compartidos con edificaciones anexas: <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Sí. Indicarlos.		
Imágenes de Situación:		
		




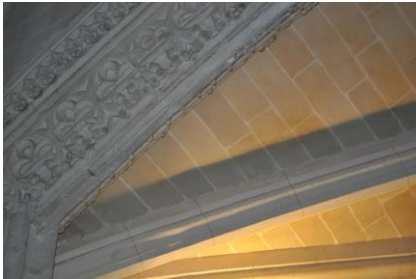
DATOS URBANÍSTICOS	
Planeamiento en vigor: PGOU Burgos	Clasificación: Uso Religioso
Ordenanza: PGOU-UR	Nivel de Protección: Protección Ambiental
Elementos protegidos: Fachadas y Cubiertas	
Protección Cultural del inmueble: BIC	

DATOS DE LA PROPIEDAD		
Régimen Jurídico de la propiedad:	<input checked="" type="checkbox"/> Propietario único. <input type="checkbox"/> Varios Propietarios. <input type="checkbox"/> Otros.	
Titularidad: Compañía de Jesús S.J		
Dirección: Avda. de Valladolid		
C.P: 09002	Población: Burgos	Provincia: Burgos
Telf.Fijo:947.21.35.14	Telf. Móvil: 630974543	Email:jesuitas@csj.es

DATOS DEL TÉCNICO COMPETENTE QUE SUSCRIBE EL INFORME		
Técnico: Raúl del Barrio Tajadura	NIF/CIF: 71.265.730-T	
Titulación: Arquitecto y Arquitecto Técnico Esp. Ejecución de Obras		
Colegio Oficial: COACYLE y COAATBU	Nº Colegiado: 2591 - 1378	
Dirección: Avda. de la Paz 35 – Plza Bernardas s/n		
C.P: 09005	Población: Burgos	Provincia: Burgos
Tlfno Fijo 1: 947.23.48.00	Tlfno Fijo 2: 947.2746.00	Email: info@coacyle.es info@coatbu.es

DATOS DEL TÉCNICO OPERADOR DE VUELO		
Técnico: Raúl del Barrio Tajadura	NIF/CIF:	
Titulación: Arquitecto y Arquitecto Técnico Esp. Ejecución de Obras Esp. en Drones		
Nº AESA: 1378	Titulado Nº: 1378	
Dirección: C/ Juan Albarellos 11		
C.P: 09005	Población: 09005	Provincia: Burgos
Tlfno Fijo: 947.21.35.14	Tlfno Móvil: 630.974.543	Email: rdbarrio@gmail.com

DATOS GENERALES DEL EDIFICIO MONUMENTAL		
Superficie de parcela: 2485 (m2)	Superficie Construida: 1.987 (m2)	Altura sobre Rasante (m) Exterior: 52 m Interior: 28 m.
Uso del Edificio:	<input type="checkbox"/> Residencial Privado <input type="checkbox"/> Administrativo. <input checked="" type="checkbox"/> Religioso. <input type="checkbox"/> Docente. <input type="checkbox"/> Sanitario. <input type="checkbox"/> Cultural. <input type="checkbox"/> Cultural <input type="checkbox"/> Otros. Especificar	
Nº Total de Plantas sobre rasante: 2 pl.	Nº de Plantas sobre rasante con uso igual al principal: 2 plantas	
Nº de plantas sobre rasante con usos secundarios: 4 pl.	Usos Secundarios: Docente y ONG ´s	Otros Usos: -
Nº de plantas bajo rasante: 0 pl.	Usos Secundarios: -	Otros Usos: -
Espacios destinados a oficinas: 2 espacios	Superficie media: (m2) 456	-
Espacios destinados a vivienda u otros usos:	Superficie media (m2)	-
Año de Construcción, Obras y Rehabilitaciones: 2001-2007		
Tipología edificatoria en parcela: Religiosa PGOU Burgos		
<input type="checkbox"/> Edificación Monumental exenta/aislada en parcela <input type="checkbox"/> Edificación Monumental entre medianerías. <input checked="" type="checkbox"/> Edificación Monumental adosado de un lado (izq. o derecho)/en manzana cerrada		
Tipología edificatoria: Núcleos de Comunicación vertical en el/los edificios monumentales.		
Un solo núcleo de escaleras: <input type="checkbox"/> Sin ascensor <input checked="" type="checkbox"/> Con 1 ascensor <input type="checkbox"/> Con 2 o más ascensores	Dos o más núcleos de comunicación vertical:  Nº Total de escaleras: 1 Nº Total de ascensores: 1	

ARCHIVOS GRÁFICOS DEL EDIFICIO PATRIMONIAL	
Fotografía nº1:	Denominación: 
Investigación del Detalle Constructivo 1: Se procede a investigar la Bóveda 1 de la zona norte, basándonos en las técnicas de Fotogrametría y Termografía para conocer su estado.	
Fotografía nº2:	Denominación: 
Investigación del Detalle Constructivo 2: Se procede a investigar la Bóveda 2 de la zona norte, basándonos en las técnicas de Fotogrametría y Termografía para conocer su estado.	
Fotografía nº3:	Denominación: 
Investigación del Detalle Constructivo 3: Se procede a investigar el muro de la zona norte y rosetón basándonos en las técnicas de Fotogrametría y Termografía para conocer su estado.	
Fotografía nº4:	Denominación: 
Investigación del Detalle Constructivo 4: Se procede a investigar el forjado de la zona del coro basándonos en las técnicas de Fotogrametría y Termografía para conocer su estado.	

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA DEL EDIFICIO MONUMENTAL	
Nombre del documento/Referencia: Palacio de Castifalé 1378/78 Proyecto Básico y de Ejecución de Rehabilitación Del Barrio Arquitectos	
Fecha: 2002	Observaciones: Se investiga toda la documentación existente de las distintas obras y rehabilitaciones del edificio.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DEL EDIFICIO MONUMENTAL	
CIMENTACIÓN	
Sistema de Contención:	<input checked="" type="checkbox"/> Muro de Piedra <input type="checkbox"/> Muro de Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Muro de fábrica de Bloque <input type="checkbox"/> Se desconoce <input type="checkbox"/> Otro sistema (especificar)
Observaciones: -	

ESTRUCTURA			
<b>Estructura Vertical</b>	<b>Muro de Carga</b>		<b>Pilares /Contrafuertes</b>
	<input checked="" type="checkbox"/> de Piedra <input type="checkbox"/> de Ladrillo <input type="checkbox"/> de adobe <input type="checkbox"/> de Tapial <input type="checkbox"/> con Entramado de Madera <input type="checkbox"/> Otro		<input checked="" type="checkbox"/> de Piedra <input type="checkbox"/> de Ladrillo <input type="checkbox"/> de Fund. <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Se desconoce
<b>Estructura Horizontal Tipo</b>	<b>Estructura Ppal (vigas):</b>	<b>Forjados (Elem.secund viguetas):</b>	<b>Forjado (Entrevigado):</b>
	<input checked="" type="checkbox"/> de Madera <input type="checkbox"/> Metálicas <input type="checkbox"/> de hormigón armado	<input type="checkbox"/> de Madera <input checked="" type="checkbox"/> Metálicas <input type="checkbox"/> de hormigón Armado	<input type="checkbox"/> Tablero <input type="checkbox"/> Revoltón <input type="checkbox"/> Bov.Cerám. <input type="checkbox"/> Bov.Horm. <input type="checkbox"/> Otros (especificar)
<b>Estructura Horizontal Suelo. Planta en contacto con terreno.</b>	<b>Forjado:</b>	<b>Forjado:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Solera <input type="checkbox"/> Se desconoce
	<input type="checkbox"/> Idéntico Planta T. <input type="checkbox"/> Diferente Planta T.	<input type="checkbox"/> Idéntico Planta T. <input type="checkbox"/> Diferente Planta T.	
<b>Estructura</b>	<b>Forjado Horizontal:</b>	<b>Cerchas y Pórticos:</b>	

<b>de Cubierta</b>	<input type="checkbox"/> Capa formación pte.	<input type="checkbox"/> Vigas metál.+tabl.	<input type="checkbox"/> Tablero cerámico
	<input type="checkbox"/> Tabiquillos+tablero Forjado Inclinado	<input checked="" type="checkbox"/> Vigas madera+tabl.	<input type="checkbox"/> Tablero madera
	<input checked="" type="checkbox"/> Hormigón armado.	<input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Chapa Sandwich
	<input type="checkbox"/> Otro (especificar)		<input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Observaciones: (especificar e sistema constructivo global)			

CERRAMIENTOS VERTICALES Y CUBIERTAS			
<b>Fachada Ppal</b>	Acabado Visto en Fachada Ppal: % sobre Sup. Vertical Total: 95%	Acabado Revestido Fachada Ppal: % sobre Sup. Vertical Total: 5%	
	Superficie (m2):  % sobre Sup. Cerram. Vertical Total:	<input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input checked="" type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Dispone Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce Dispone de Aisl. Térmico: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce			
<b>Fachadas a Patio y medianerías</b>	Acabado Visto en Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total: 30%	Acabado Revestido Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total: 70%	
	<input checked="" type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> F. Bloque Horm <input type="checkbox"/> F.de Ladrillo <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Otro especificar	<input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	
Dispone Cámara de Aire: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce Dispone de Aisl. Térmico: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce			
<b>Carpintería y vidrio en huecos</b>	Tipo de Carpintería	Tipo de Carpintería	
	<input checked="" type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/> Otro especificar	<input checked="" type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Doble acristalamiento	
<b>Cubierta</b>	Superficie (m2):	Dispone de aislam. Térmico	<input checked="" type="checkbox"/> Teja árabe <input type="checkbox"/> Asfáltica <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce <input type="checkbox"/> Teja Plana <input type="checkbox"/> Fibrocem. <input type="checkbox"/> Pizarra <input type="checkbox"/> Pizarra
	% sobre Sup. Cerram. Horiz. Total:	Dispone de lámina impermeabiliz.	
		<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se desconoce Cubierta Inclínada 100% del total	Superficie: 1.256 (m2)
Observaciones: (especificar e sistema constructivo global)			



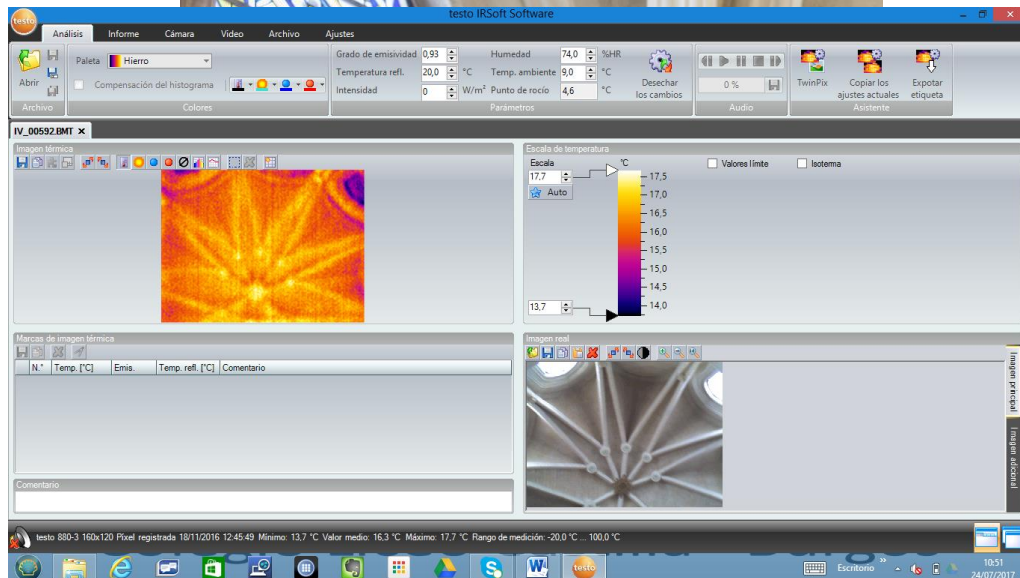
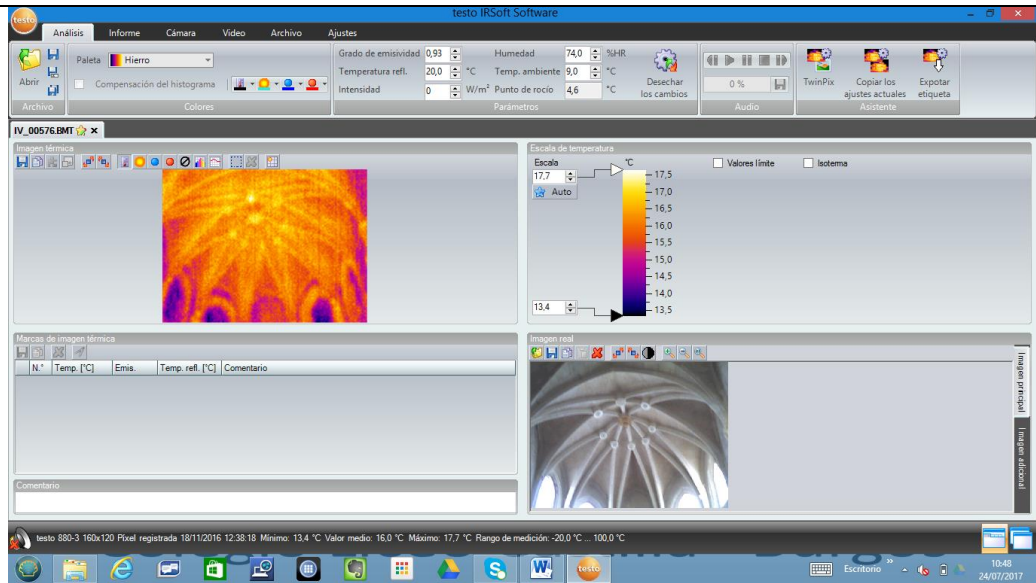
<b>BÓVEDAS Y ARCOS</b>			
<b>Nave Principal</b>  Superficie (m2): 560 Nº de Bóvedas: 6	Tipo de Bóvedas: <input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)		Pechinas <input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
	Arriostramiento Metálico en las Bóvedas: <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de Arriostr. _____ Ligante de la Bóveda: <input checked="" type="checkbox"/> Cal <input type="checkbox"/> Mortero de Restauración <input type="checkbox"/> Otro Especificar el ligante: _____		
<b>Nave Principal</b>  Superficie (m2):  Nº de Arcos	Tipo de Arcos: <input checked="" type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)		Acabado Revestido Otras Fachadas: % sobre Sup. Vertical Total: <input type="checkbox"/> Enfoscado y Pintado <input type="checkbox"/> Revoco <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
	Arriostramiento Metálico en las Bóvedas: <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de arriostramientos: 78		
<b>Rosetones</b>	Nº de Rosetones: 3  Diámetro Aproximado: 12 m. Nº de canaladuras: 45	Nº de Huecos de ventanas: 14  Tipos: Cuadrangulares	
<b>Vidrieras</b>	Existencia de Vidrieras <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Técn. Vidr. Artíst. <input checked="" type="checkbox"/> V.Emplomada <input type="checkbox"/> Empl. Cobre <input type="checkbox"/> V. Hormigón <input type="checkbox"/> V. Resina	Tratam. Vid. Taller <input type="checkbox"/> Grisalla <input checked="" type="checkbox"/> Esmalte <input type="checkbox"/> Amarillo Plata <input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Vitrofundición
	Restauradas <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Nº de vidrieras en total: 14      Superficie: 186 (m2)	
Observaciones: (especificar e sistema global)			

TORRES, ARBOTANTES, PINÁCULOS Y CONTRAFUERTES		
<b>Torres y Pináculos:</b>	Nº de Torres:	Nº de Pináculos:
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Arriostramiento Metálico en las Torres: <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Nº de Arriostr. Especificar:		
<b>Contrafuertes y Arbotantes</b>	Nº de Contrafuertes: 4	Nº de Arbotantes: -
	<input type="checkbox"/> Mampostería <input checked="" type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)	<input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Sillería <input type="checkbox"/> Fábrica de Ladrillo <input type="checkbox"/> Otro (especificar)
Arriostramiento Metálico en las Contrafuertes: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No Especificar:		
Arriostramiento Metálico en los arbotantes: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No Especificar:		
Observaciones: (especificar e sistema global)		

DATOS GENERALES DE LA INSPECCIÓN
Fecha/s de la visita al edificio monumental: 2015 - 2016
Nº de locales/espacios inspeccionados: 100%
Medios empleados para la inspección: Vuelo con Drones, Termografía y Fotogrametría
Pruebas o catas realizadas convenidas por la propiedad: Vuelo con Drones, Termografía y Fotogrametría
Medidas Inmediatas de seguridad adoptadas si fuera necesario: -
Observaciones: -

<b>10.2 HISTÓRICO DE INSPECCIONES, OBRAS Y REHABILITACIONES PREVIAS</b>
Fecha/s de la visita al edificio monumental: 2015 y 2016
Nº de locales/espacios inspeccionados: Se han inspeccionado el 100% de los espacios de la Iglesia y de sus usos anexos.
Medios empleados para la inspección: Organoléptico y con vuelo mediante drones con tecnología fotogramétrica y termográfica.
Pruebas o catas realizadas convenidas por la propiedad: -
Medidas Inmediatas de seguridad adoptadas si fuera necesario: -
Observaciones: -

<b>FACHADA, MEDIANERÍAS y BÓVEDAS</b>
<p>Desarrollar el estado de las fachadas y medianerías, especificando si condicionan por ellas o en combinación con otras la valoración global del estado de conservación de la mismas como desfavorable y aportando de cada una de ellas con la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>g) Inspección localizada. Se realizaron diferentes inspecciones. En primer lugar organoléptica con la que pudimos observar dónde y de qué manera íbamos a desarrollar el vuelo mediante drones o RPAS.</li><li>h) Descripción de la misma. En las sucesivas inspecciones pudimos comprobar mediante diferentes vuelos con drones el estado de diferentes detalles constructivos así como el estado de las bóvedas y muros.</li><li>i) Pruebas si se han realizado. Se han realizado pruebas fotogramétricas y termográficas no existiendo humedades y patologías estructurales que hagan derivar a intervenciones urgentes.</li><li>j) Fotografías identificativas.</li></ul>



- k) Recorrido del vuelo del dron. Se presentan diferentes fichas de los distintos vuelos con fotografías anexas.
- l) Observaciones generales: Revisión 2017

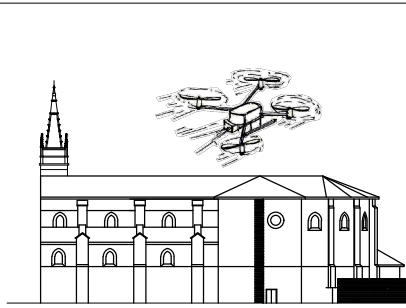
Valoración del estado de conservación <input checked="" type="checkbox"/> Favorable <input type="checkbox"/> Desfavorable Inicio del Plan de Actuación de las obras: Revisión 2017
Firma del Técnico: Raúl del Barrio
<b>EXISTENCIA DE PELIGRO DE MANERA INMEDIATA</b>
Descripción del peligro de manera detallada y según los detalles constructivos inspeccionados. Indicar medidas a adoptar: Revisión mediante vuelo con Drones en 2017. Nota: Cumplimentar en caso que sea necesario adoptar medidas inmediatas de seguridad para las personas.

<b>VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO</b>
El Técnico competente abajo firmante valora el estado de conservación del edificio como:  <input checked="" type="checkbox"/> Favorable <input type="checkbox"/> Desfavorable
Esta valoración del estado de conservación del edificio monumental es suscrita por el técnico competente abajo firmante, basándose en una inspección organoléptica y con tecnología con drones con técnicas de termografía y fotogrametría, respecto a los elementos del edificio a los que ha tenido acceso.
Observaciones: Revisión en 2017 Fecha: 24 de Julio de 2017 Firmado: El Técnico Competente: Raúl del Barrio

En las siguientes diez fichas podemos observar los diferentes vuelos desarrollados en el interior de la iglesia de Nuestra señora de la Merced de Burgos observándose los recorridos y detalles de la misma.

Por otra parte desarrollaremos las técnicas de termografías y fotogrametrías aplicadas al dron que hemos diseñado y prototipado. Realizando la inspección de los puntos más importantes con aplicación a la inspección, mantenimiento y rehabilitación de edificación arquitectónica.





**T**ESIS 

**D**OC**T**ORAL

RAÚL DEL BARRIO TAJADURA  
JULIO 2016

PROCEDIMIENTO DE USO DE DRONES / RPAS EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

**01**

" LA IGLESIA DE LA MERCED "

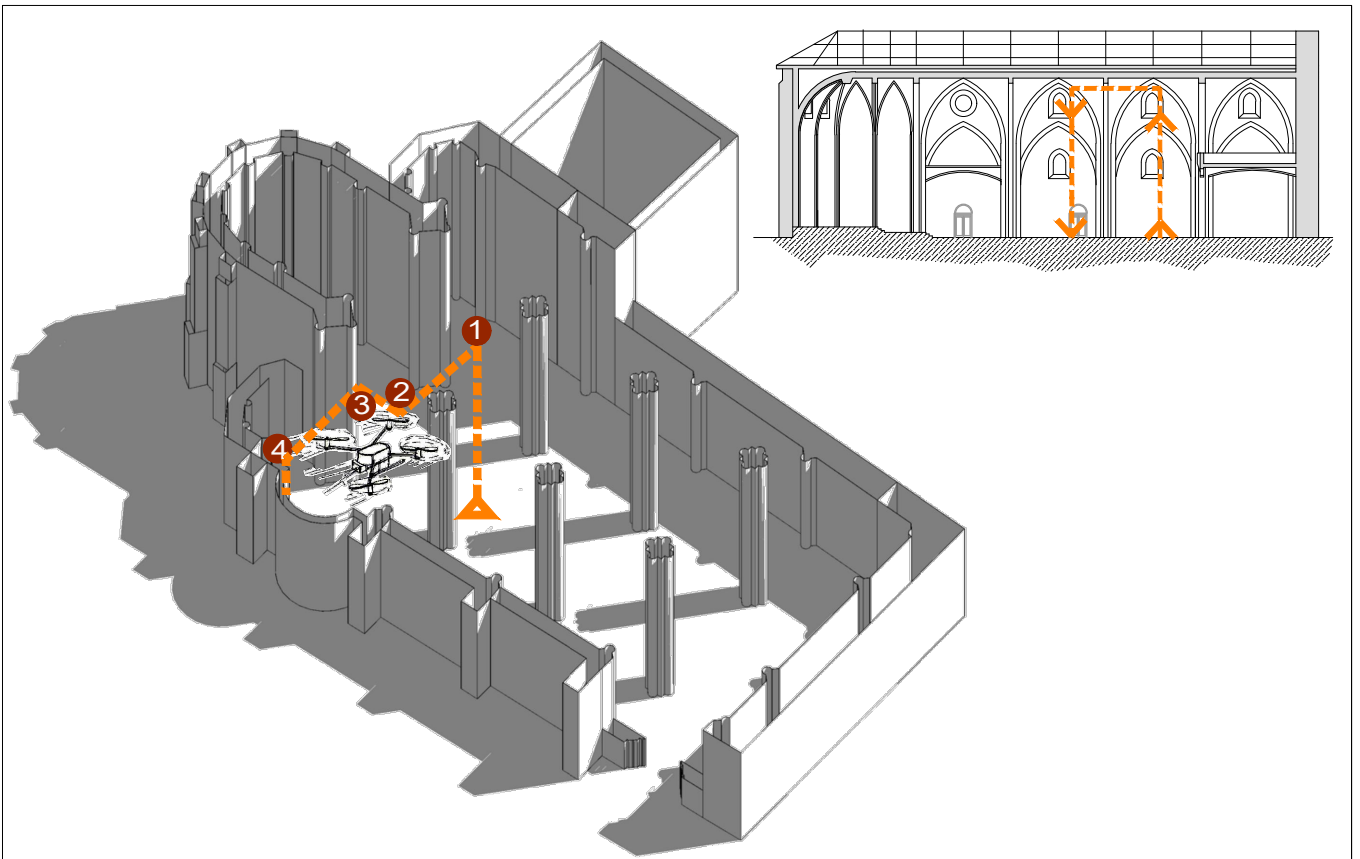
PLANO:

SITUACIÓN

ESCALA: S/E







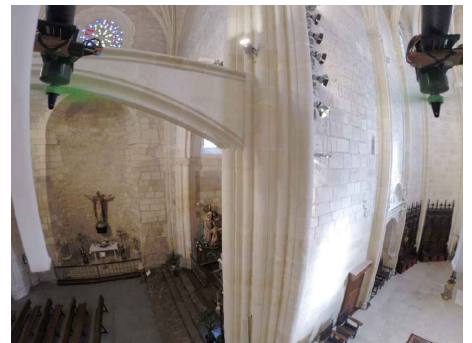
**1** DESPEGUE NAVE CENTRAL



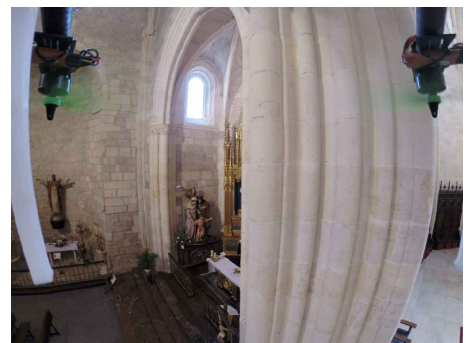
**2** ASCENSO A NAVE CENTRAL



**3** NAVE CENTRAL ARCO CONTRAFUERTE



**4** PILASTRA DE NAVE CENTRAL



**T**ESIS 

**DOCTORAL**

RAÚL DEL BARRIO TAJADURA  
JULIO 2017

PROCEDIMIENTO DE USO DE DRONES / RPAS EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

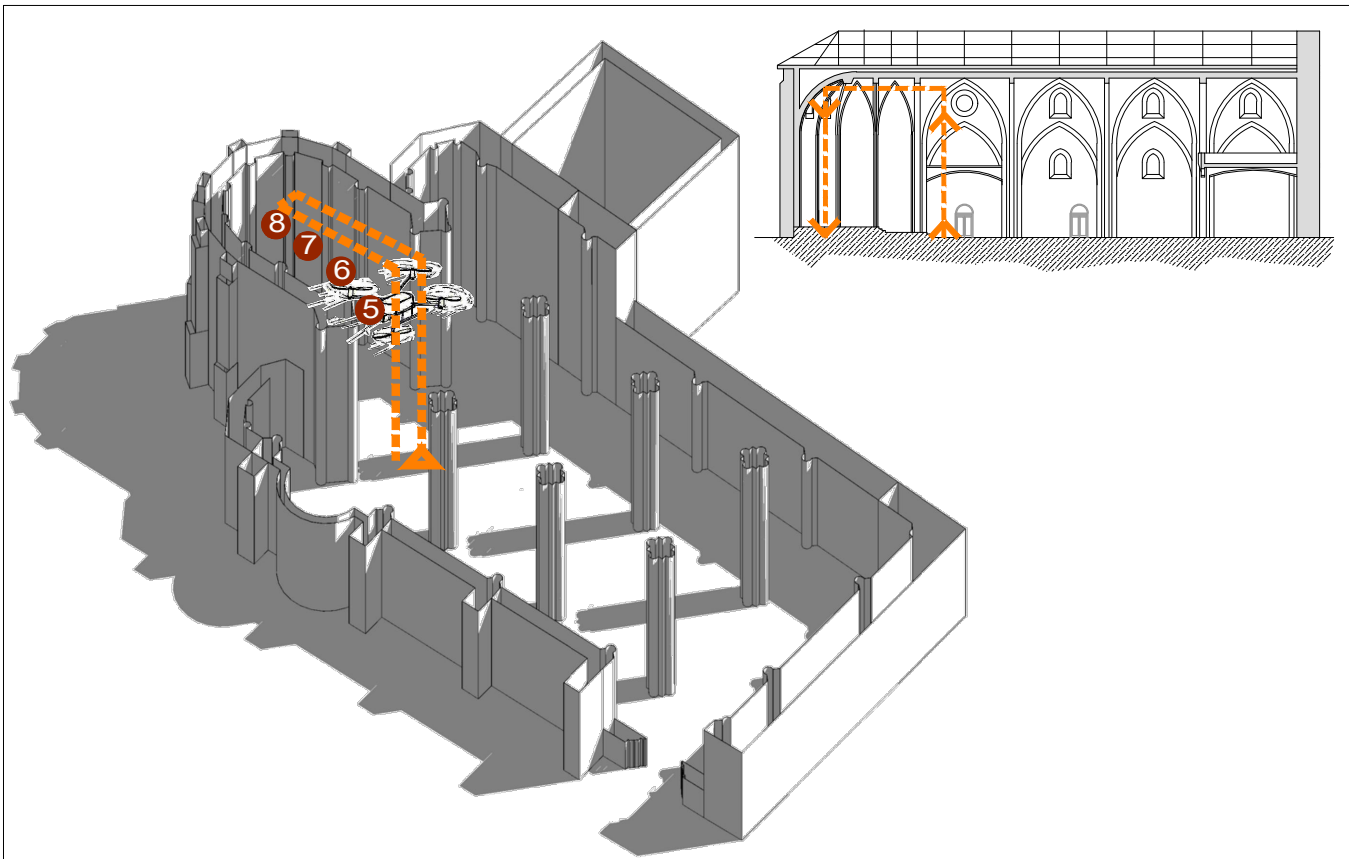
**02**

" LA IGLESIA DE LA MERCED "

ESCALA: S/E

PLANO: RECORRIDO DE DRON/RPAS EN NAVE CENTRAL

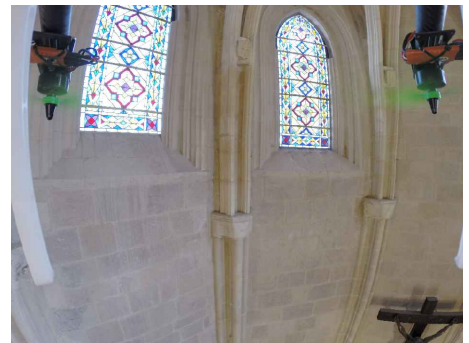




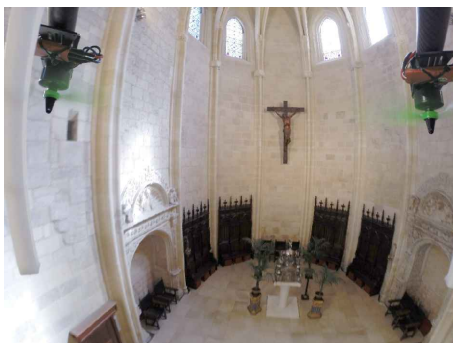
**5** PILASTRA ACCESO A ABSIDE



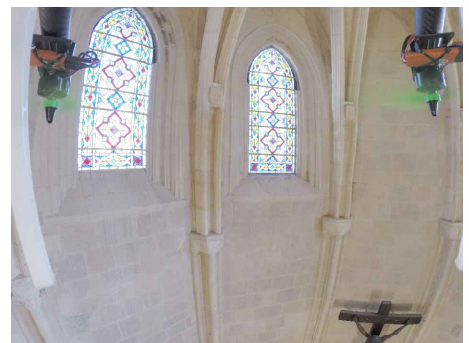
**7** VIDRIERAS DE ABSIDE-1



**6** ZONA BAJA DE ABSIDE



**8** VIDRIERAS DE ABSIDE-2



**T**ESIS 

**DOCTORAL**

RAÚL DEL BARRIO TAJADURA  
JULIO 2017

PROCEDIMIENTO DE USO DE DRONES / RPAS EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

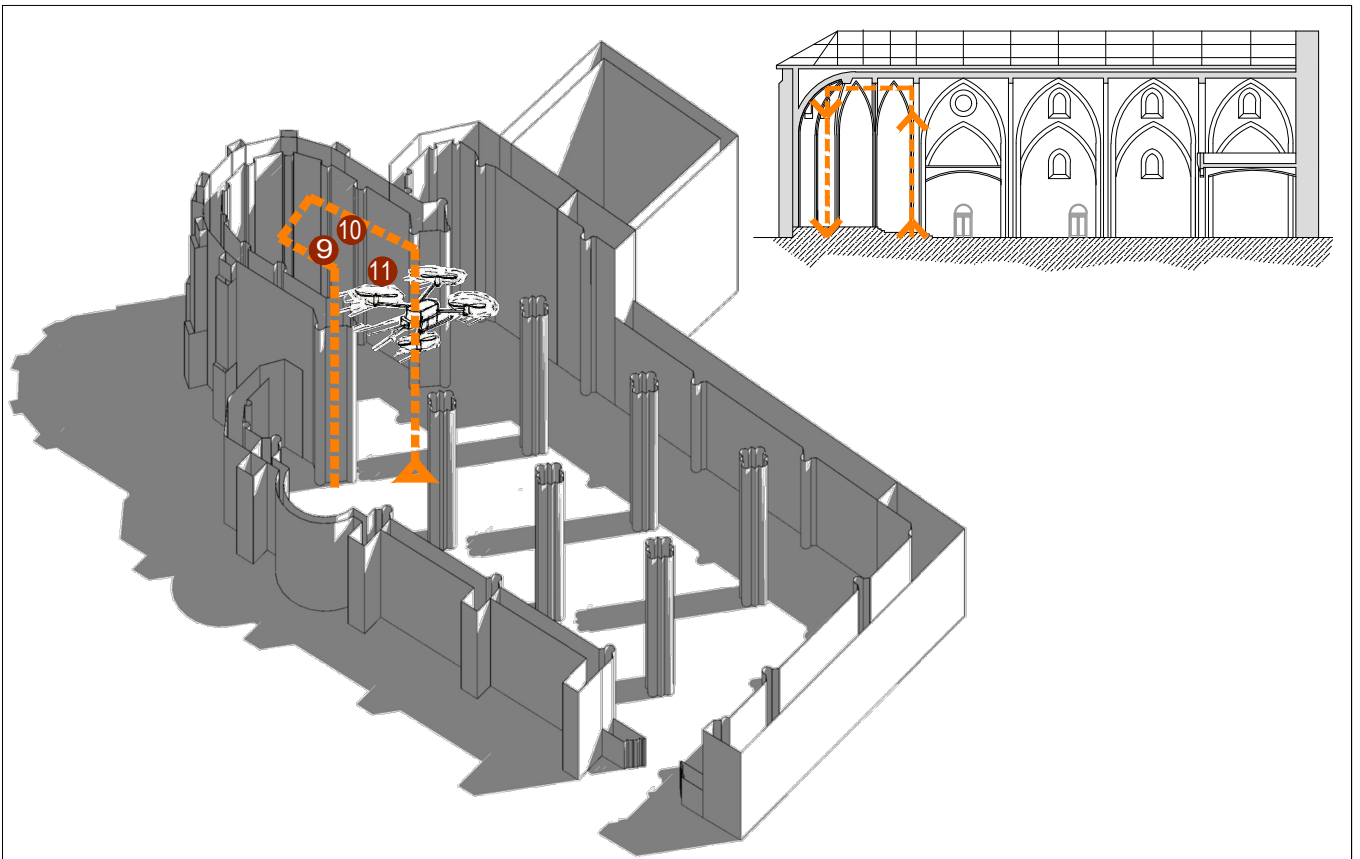
**03**

" LA IGLESIA DE LA MERCED"

ESCALA: S/E

PLANO: RECORRIDO DE DRON/RPAS EN ÁBSIDE -1



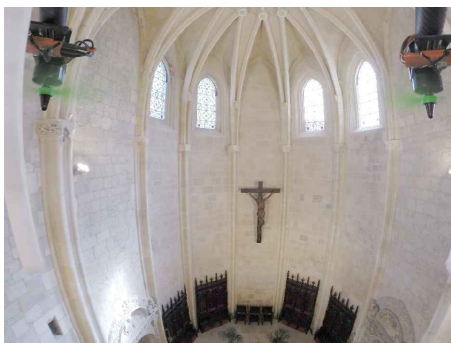


**9** VIDRIERAS DE ABSIDE-3

**11** ABSIDE



**10** ABSIDE



**T**ESIS 

**DOCTORAL**

RAÚL DEL BARRIO TAJADURA  
JULIO 2017

PROCEDIMIENTO DE USO DE DRONES / RPAS EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

**04**

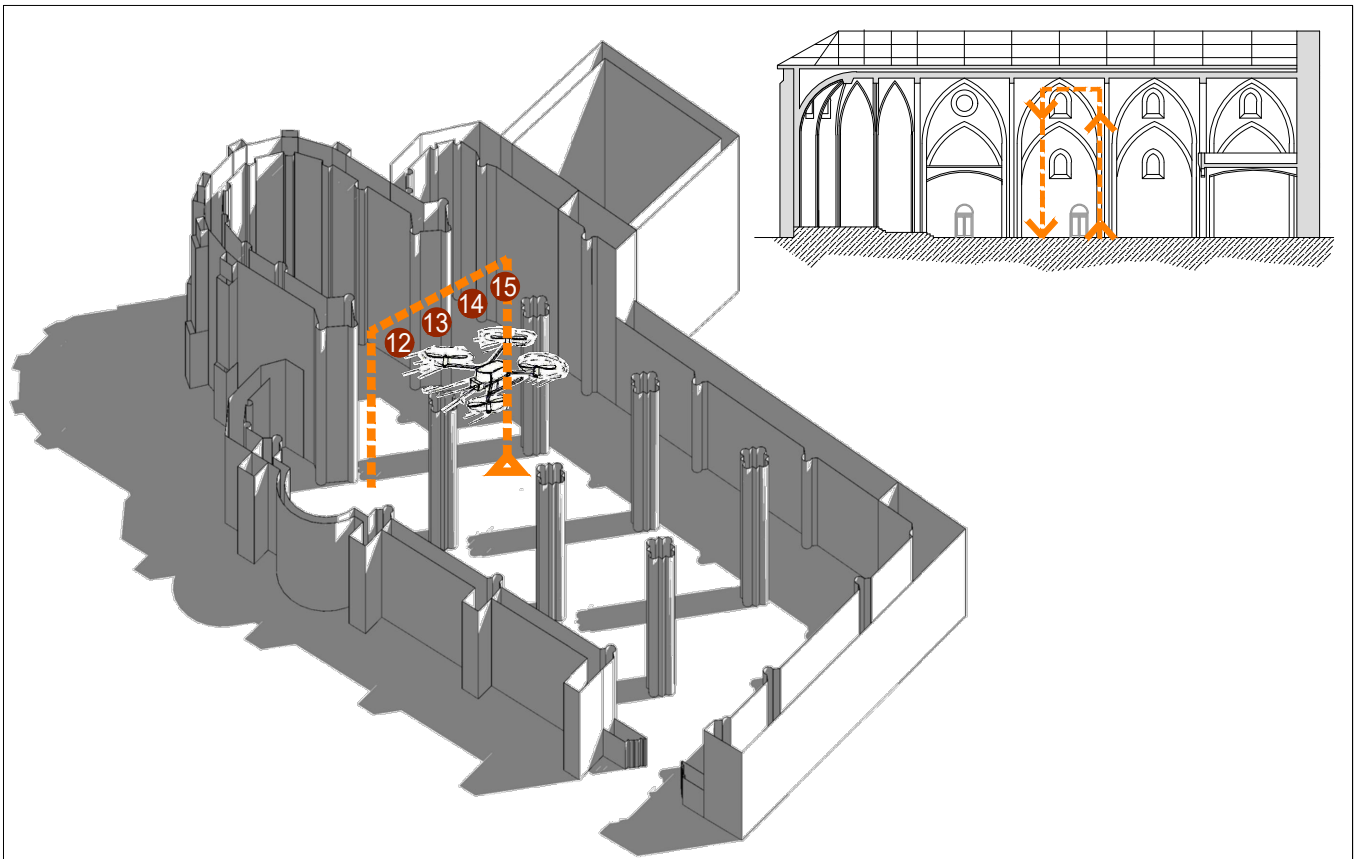
" LA IGLESIA DE LA MERCED "

ESCALA: S/E

PLANO: RECORRIDO DE DRON/RPAS EN ÁBSIDE -2







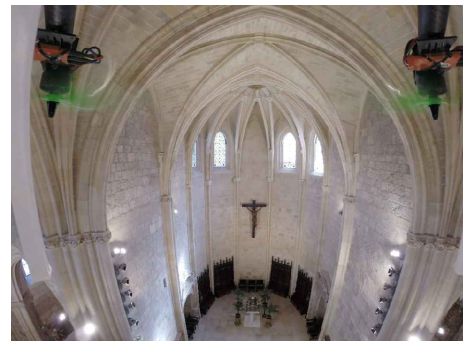
**12** BOVEDA VISTA DESDE LA NAVE CENTRAL-1



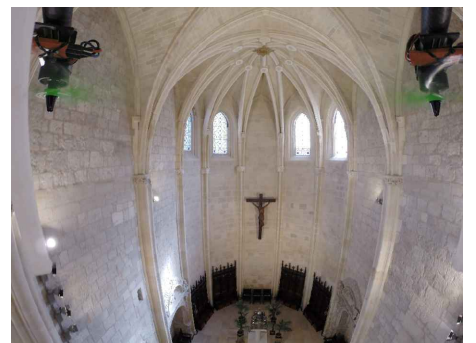
**13** BOVEDA VISTA DESDE LA NAVE CENTRAL-2



**14** BOVEDA VISTA DESDE LA NAVE CENTRAL-3



**15** BOVEDA VISTA DESDE LA NAVE CENTRAL-4



**T**ESIS 

**DOCTORAL**

RAÚL DEL BARRIO TAJADURA  
JULIO 2017

PROCEDIMIENTO DE USO DE DRONES / RPAS EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

**05**

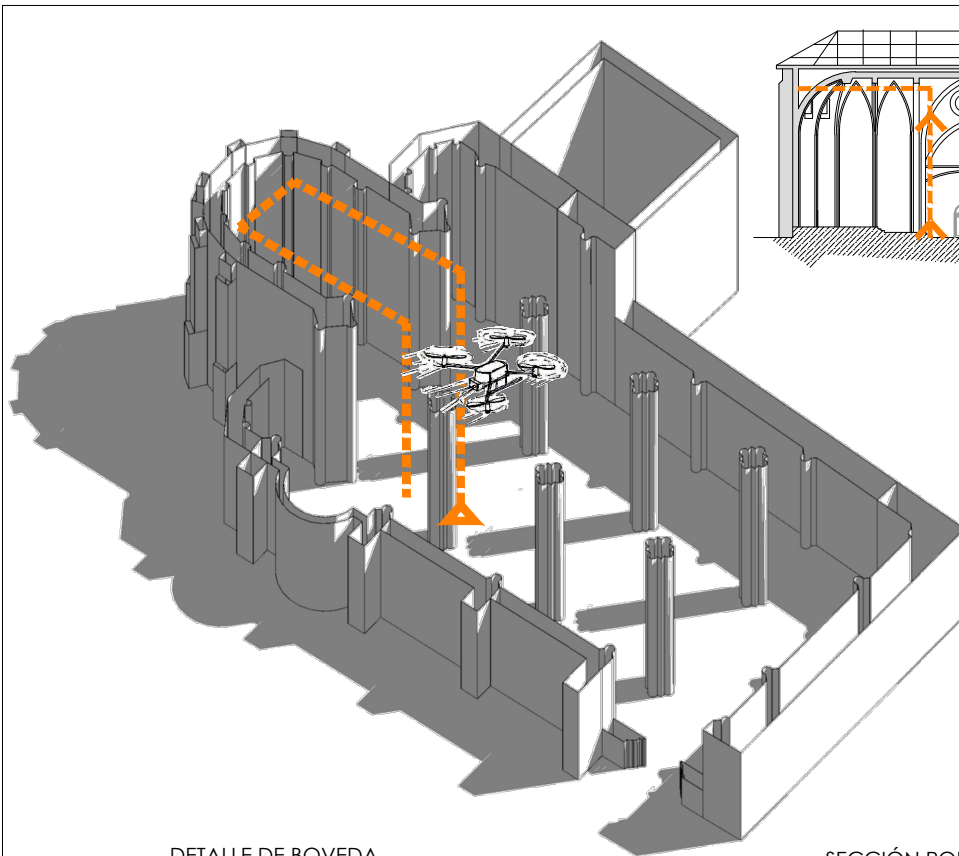
" LA IGLESIA DE LA MERCED "

ESCALA: S/E

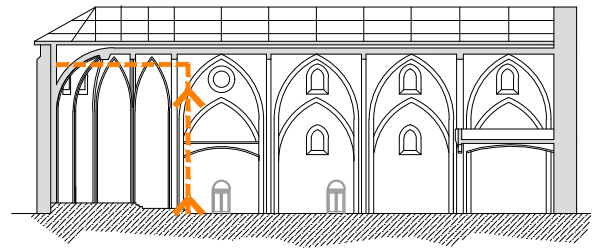
PLANO: RECORRIDO DE DRON/RPAS EN BÓVEDA -1





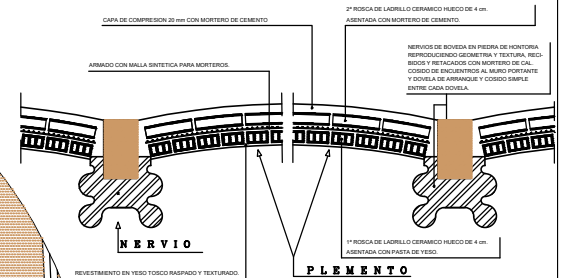
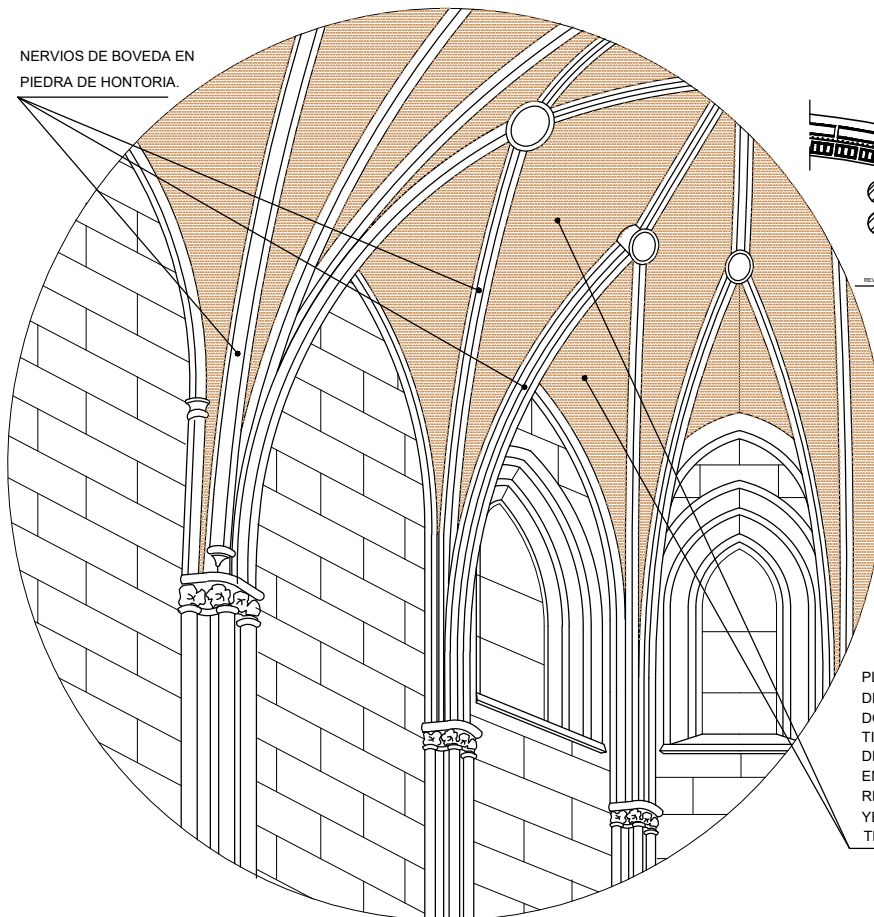


DETALLE DE BOVEDA



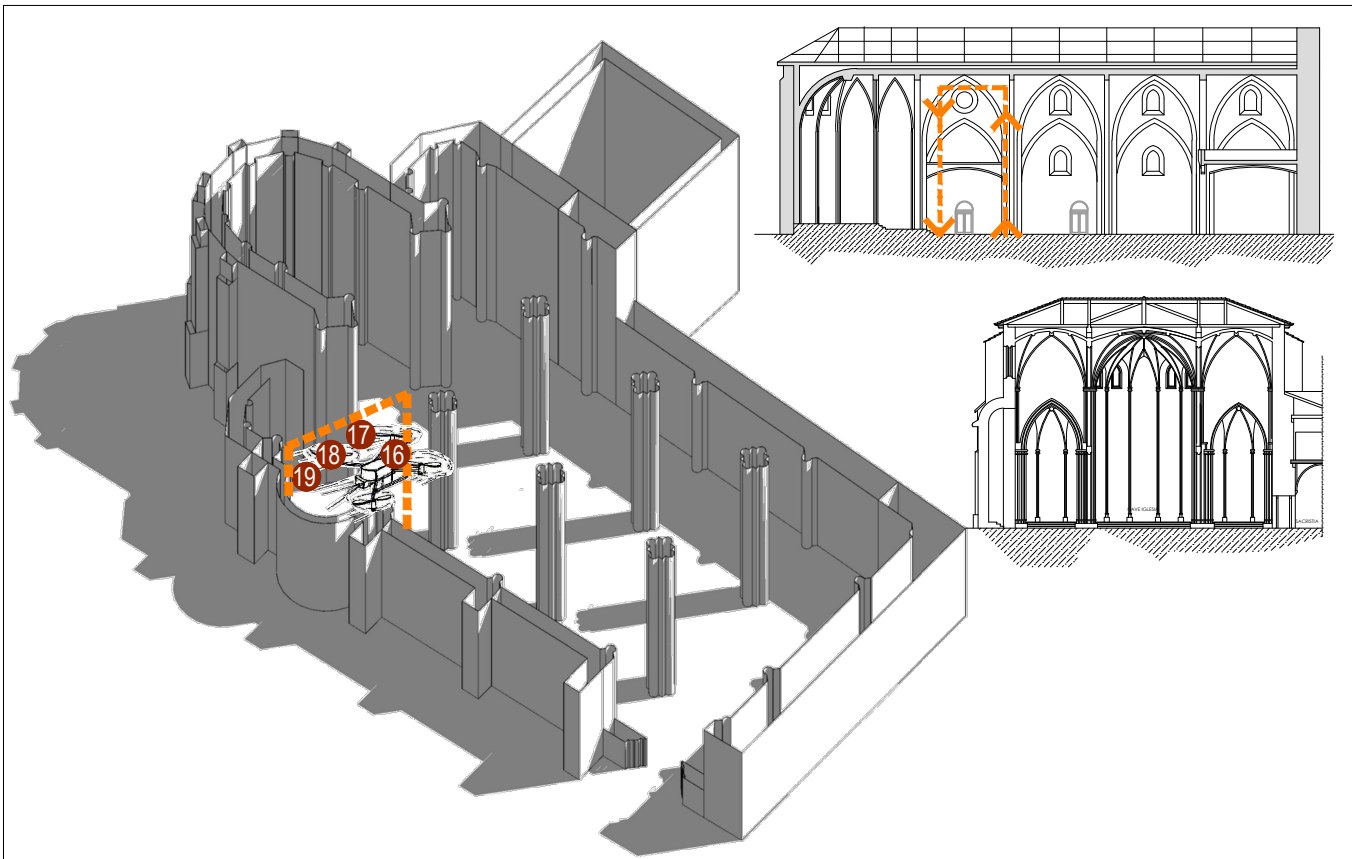
SECCIÓN POR NERVIOS Y PLEMENTOS DE BOVEDA

NERVIOS DE BOVEDA EN PIEDRA DE HONTORIA.



PLEMENTOS ENTRE NERVIOS DE BOVEDAS, EN CERAMICA A DOS ROSCAS, MALLA SINTETICA PARA MORTEROS, CAPA DE COMPRESION DE 20 MM. EN MORTERO DE CEMENTO. REVESTIMIENTO INTERIOR EN YESO TOSCO RASPADO Y TEXTURADO.





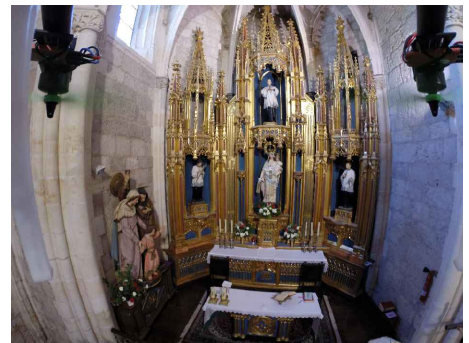
**16** NAVE LATERAL IZQUIERDA-1



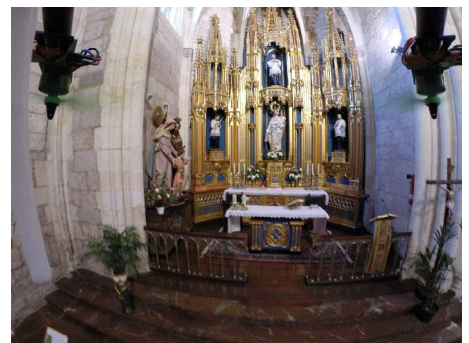
**16** NAVE LATERAL IZQUIERDA -2



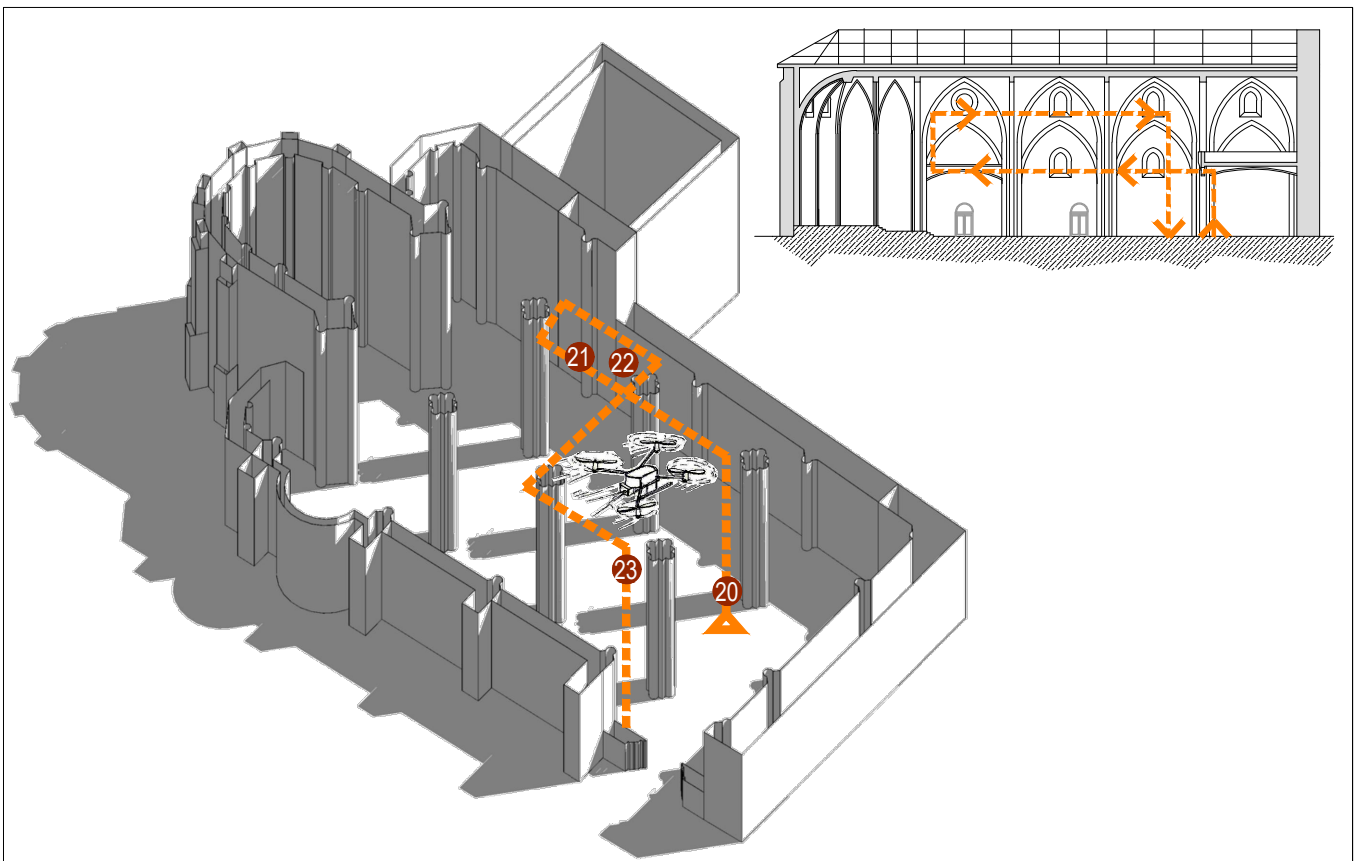
**18** ALTAR NAVE LATERAL



**18** ALTAR NAVE LATERAL -2



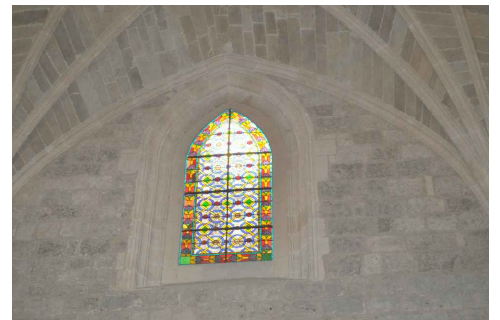




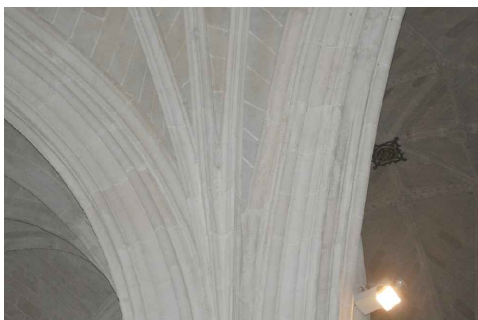
**20** TERCELETES Y CLAVES O PINGANTE



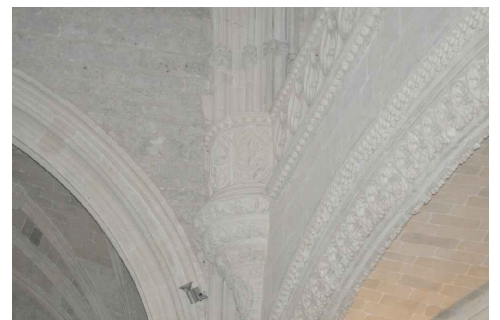
**22** VIDRIERA BAJO ARCO PERPIAÑO



**21** ARCOS INTERNOS DE LA BOVEDA

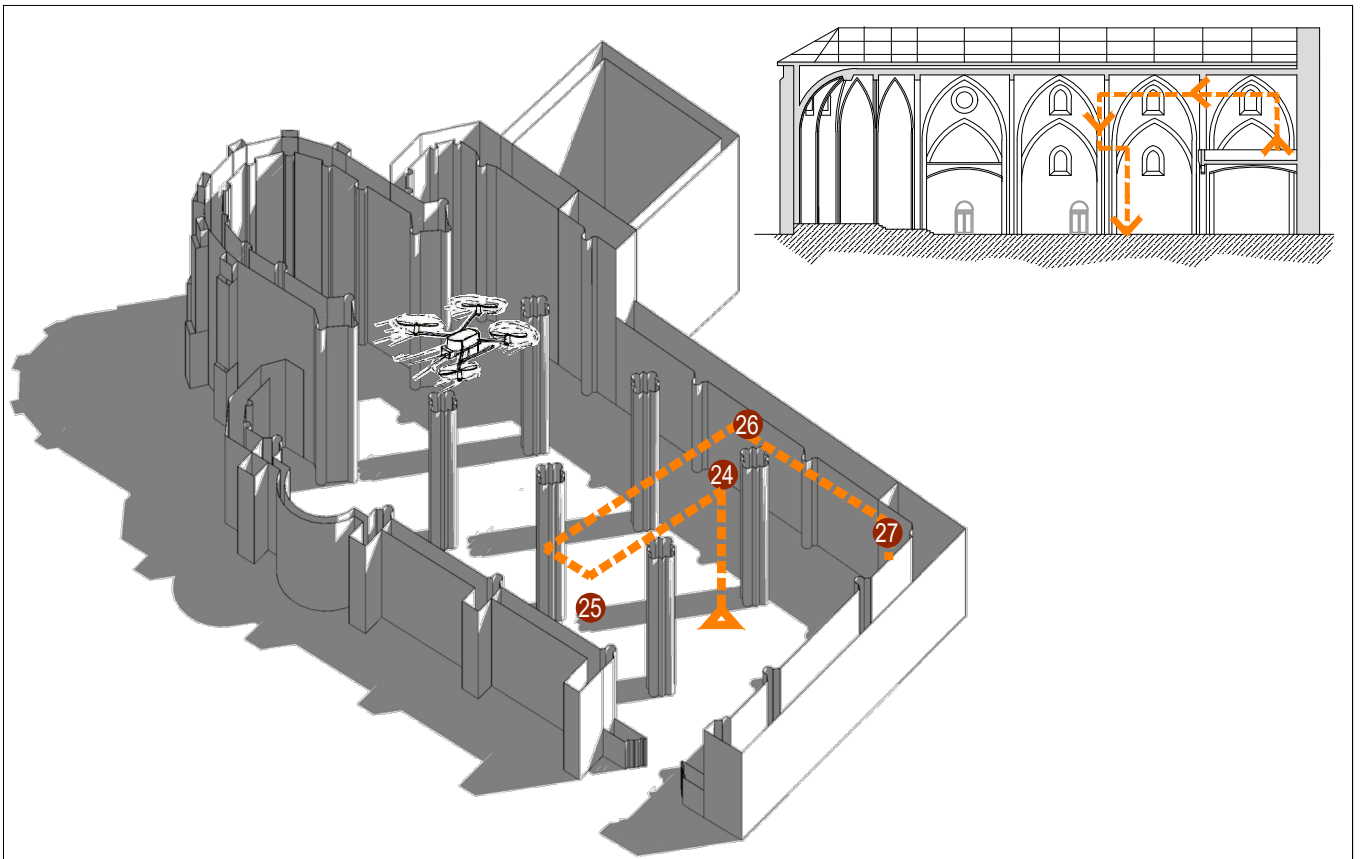


**23** ENCUENTRO DE ARCO CON CORO









**24** BALUSTRADAS DE CORO



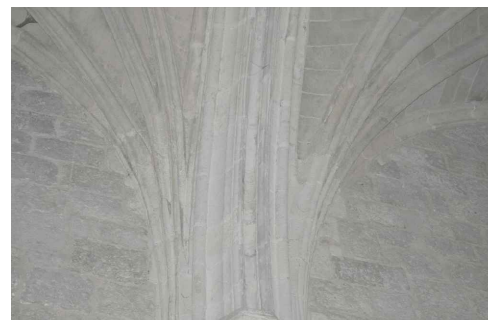
**26** ARCO PERPIAÑO



**25** ARCO OJIVAL

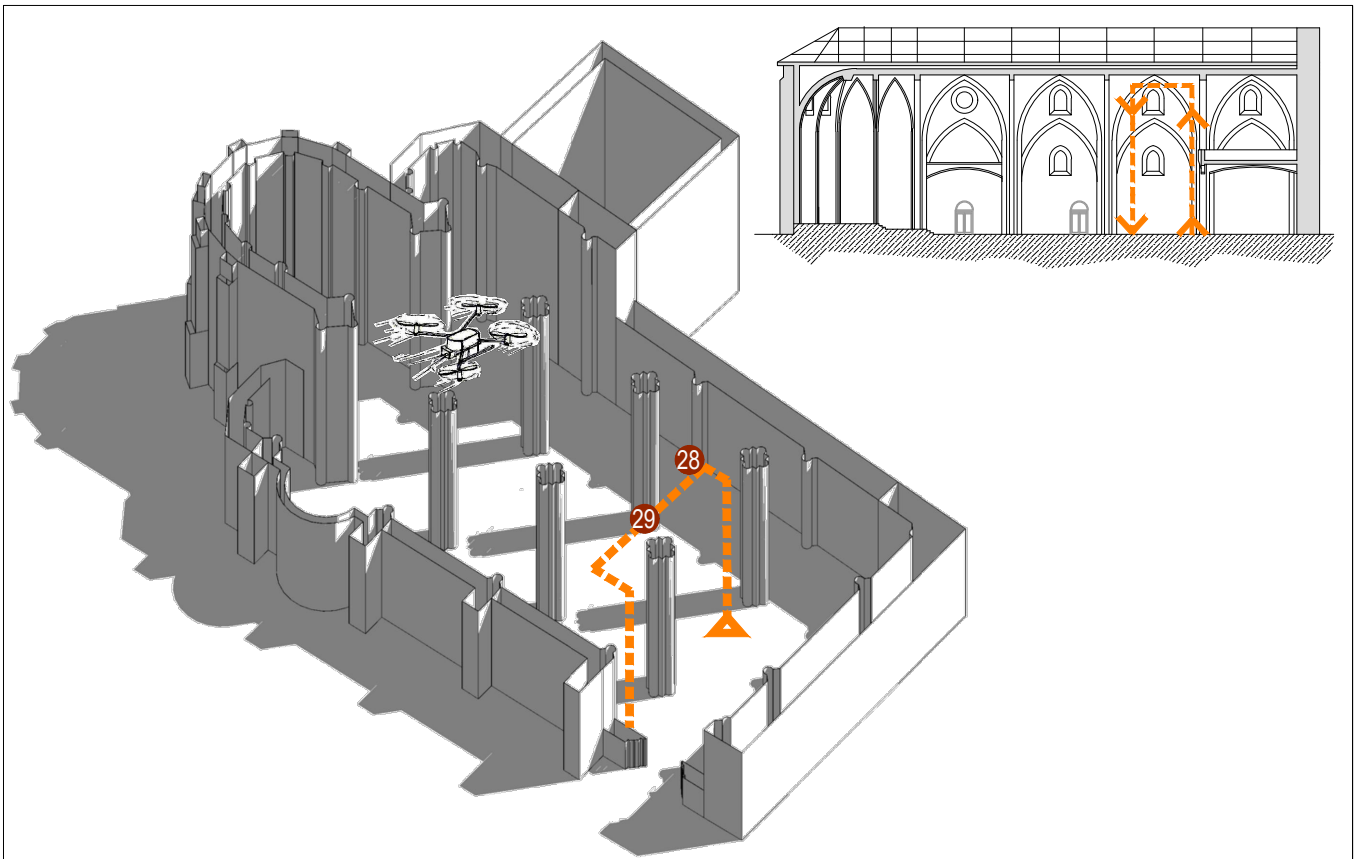


**27** ARCO CON PECHINAS





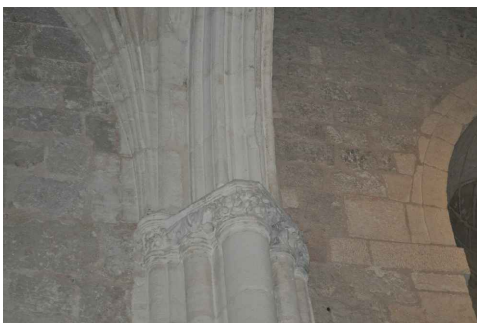




**28** NERVIO Y ARCO PERPIAÑOS



**29** PILASTRA





### **5.3. Inspección con drones de la rehabilitación realizada con Termografía y Fotogrametría**

Las técnicas implementadas en la Iglesia de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, para el campo de la arquitectura y la rehabilitación, partiendo del montaje y prototipado de un dron, pueden ser una nueva aplicación formal si se ejecutan en los planes de mantenimiento e inspección de grandes edificios patrimoniales, consiguiendo muchas ventajas diferenciando y complementándose la termografía y la fotogrametría, [62] Pérez, C., (2015). En la práctica se han realizado varios vuelos interiores donde se reflejan los recorridos realizados para desarrollar las aplicaciones de Termografía y de Fotogrametría tal y como se reflejan en las diferentes gráficas y figuras dentro de este capítulo.

#### **5.3.1. Aplicaciones de la Termografía:**

Las aplicaciones de termografía son de las técnicas más valiosas según las investigaciones del CSIC. No obstante esta técnica basada en termografías, implementándose en drones podrían obtener una gran variedad de utilidades para edificaciones, construcciones patrimoniales y de ingeniería, entre las que podemos destacar:

##### **5.3.1.1 Materiales y elementos no visibles.**

En los edificios patrimoniales que a lo largo del tiempo, se han rehabilitado y cuyo estado original desconocemos, la termografía es una herramienta que puede facilitar el conocimiento de la existencia de fachadas en huecos ocultos. Con esta técnica podemos distinguir claramente un hueco de fachada que no aparece realmente, por estar oculta, pero que puede verse gracias a la acumulación de calor inferior en la fachada real. El hueco

imperceptible aparece a una temperatura similar a la del resto de huecos de fachada y con menor temperatura que el resto del muro.

#### **5.3.1.2 Distinción de materiales empleados en la construcción**

El almacenamiento de calor es una cualidad que tiene la termografía. Sabiendo que la mayor densidad de materiales corresponde a la piedra y al barro y siendo mucho mayor que materiales aislantes y maderas, que pierden su calor por la noche. Se han podido entrever diferentes obras anteriores a la rehabilitación y se han podido distinguir diferentes huecos que fueron tapados a lo largo de dichas obras.

#### **5.3.1.3 Identificación de estructuras**

Dentro de esta aplicación podemos observar que la termografía es una herramienta eficaz para identificar las estructuras de los edificios. Se pueden detectar elementos interiores siempre que estos transmitan el calor por conducción diferente temperatura hacia el exterior. Ya que la termografía se basa en la medición de la radiación mediante la temperatura superficial del cuerpo. El contraste de temperaturas a primera hora de la mañana puede hacer que una termografía realizada a primera hora de la mañana, cuando la mampostería o muro de piedra no ha cogido temperatura, puede identificar el estado de la estructura con mayor nitidez. La rehabilitación de edificios puede ser más precisa conociendo la ubicación de vigas y pilares.

#### **5.3.1.4 Identificación de grietas**

Una aplicación muy interesante de la termografía es la de determinar fallos en la estructura y en el cerramiento. Para determinar el estado de conservación de un edificio es importante conocer si existen grietas en el mismo, su número y su tamaño. La detección de este tipo de fallos obedece a una diferencia de emisividad más que a una diferencia de temperaturas. La zona

donde se localiza la junta no tiene las mismas características superficiales que la fachada intacta, lo que hace que varíe su capacidad de emitir radiación.

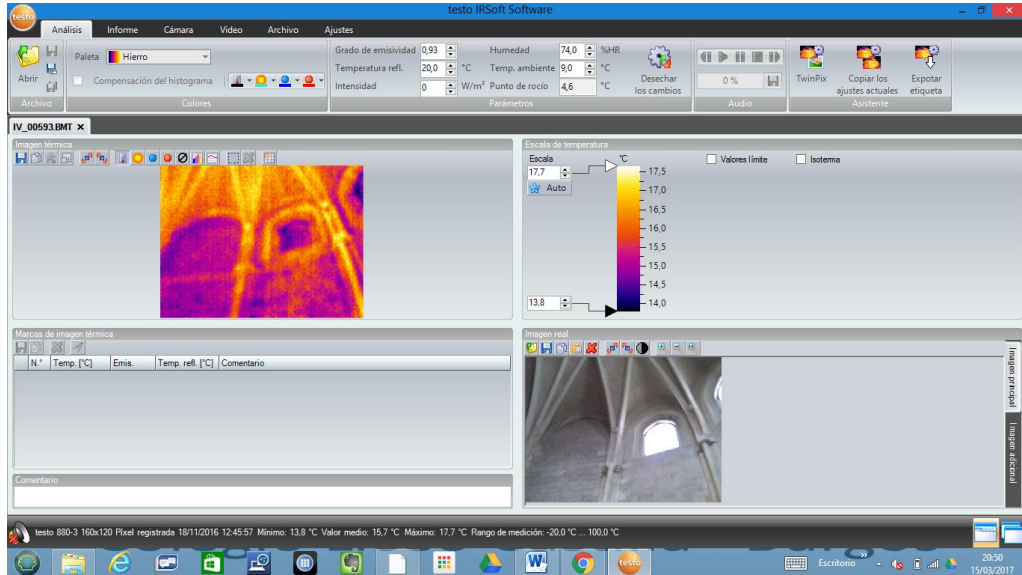


Figura 5.7: Termografía realizada en la bóveda de la Iglesia para observar la identificación de bóvedas.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1.5 Identificación de zonas húmedas

El daño por excelencia en un edificio es la humedad e indirectamente el agua. Esta contiene un elevado calor específico, por lo que necesitaría gran cantidad de energía para cambiar su temperatura. Por todo ello la termografía permite conocer defectos relacionados con el agua de la construcción, ya que los materiales cargados de humedad se comportan de distinta forma a los que están secos, puesto que irradian energía durante más tiempo.

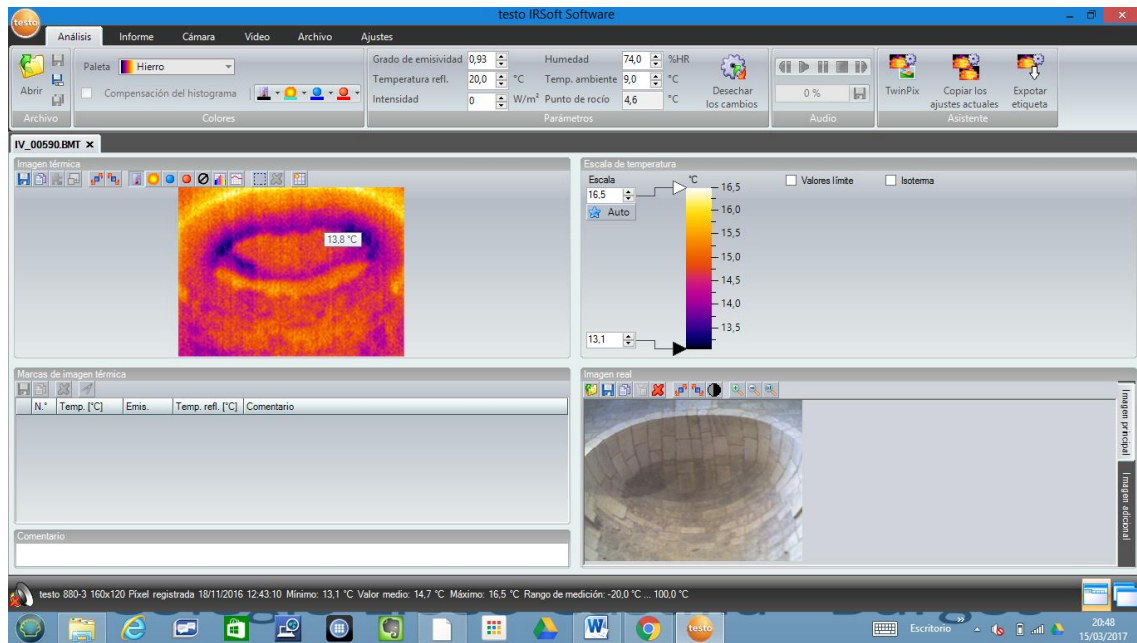


Figura 5.8: Termografía para la identificación de zonas húmedas

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3.6 Pérdidas de calor

Dado que la termografía permite reconocer diferencias de temperatura, es posible determinar zonas de pérdidas de calor. Reconocer estos puntos críticos es fundamental a la hora de decidir las intervenciones necesarias para solucionar el problema. Reducir las pérdidas de calor de los edificios conlleva una reducción en el gasto energético, así como una mejora del confort interior. Si se pretende reutilizar un edificio, habrá que tener este hecho presente, dado que muchos edificios patrimoniales carecen de un aislamiento efectivo. La falta de aislamiento aparece en la termografía como una zona a mayor temperatura.

### 5.1.3.7 Reconocimiento de zonas de acumulación de calor

En todas las termografías realizadas al anochecer han aparecido puntos calientes bajo los salientes de la fachada (ventanas y bajo alero de cubierta), así como en los remetedos de marcos de ventanas y puertas. Estos son puntos en los que el aire no puede circular libremente. Durante el día la envolvente se va calentando y en estos puntos se acumula aire caliente.

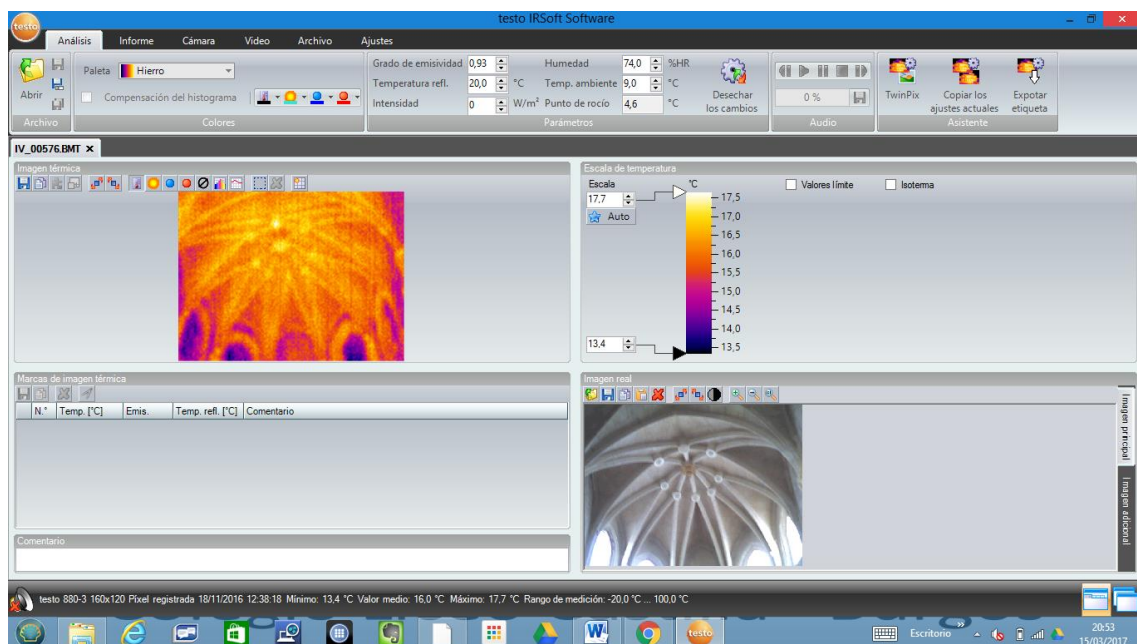


Figura 5.9: Reconocimiento de Acumulación de calor mediante termografía

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2 Metodología mediante Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que se basa en mediciones realizadas sobre la imagen, [27] Gómez, J., (2012), es decir, una técnica de medición indirecta, ya que las mediciones no se realizan sobre el objeto. Con la aparición de la fotogrametría digital, se ha pasado de utilizar la estereoscopia a la fotogrametría convergente.

Esta técnica se desarrolla mediante la creación de algoritmos, resolviendo las condiciones de colinealidad y coplanaridad de las tomas fotográficas, correlacionando las imágenes e identificando puntos homólogos de forma automática.

Uno de los objetivos de la fotogrametría es la creación de modelos 3D, primordiales para el patrimonio cultural, permitiendo el análisis de formas, dimensiones, y la reconstrucción de escenarios a través del tiempo. Actualmente, gracias a estos avances tecnológicos, a través de la fotogrametría, se obtienen modelos fotogramétricos de gran calidad, a partir de herramientas como escáner láser y cámaras de alta resolución.

A continuación pasamos a describir las fases de las labores realizadas en la iglesia de La Merced con la técnica de la fotogrametría.

#### **5.2.3.1. Toma fotográfica**

La técnica que utilizaremos para realizar la reconstrucción de la iglesia es la fotogrametría convergente. Esta técnica, según [37] Lerma, J.L. (2002), es la idónea para desarrollar la documentación, restauración y rehabilitación del patrimonio, porque se necesitan pocos medios para obtener modelos tridimensionales de gran precisión, según [11] Cabrelles, M. y Navarro, S., (2011). Las herramientas que se necesitan para realizar este estudio son únicamente un ordenador con características medias y el software correspondiente así como cámaras ópticas o digitales sin restituidor fotogramétrico, siendo éste, un instrumento destinado a la creación de mapas a partir de segmentos estereoscópicos de fotografías aéreas, según [66] la revista *Computer Vision and Image Understanding* (2009). La flexibilidad de la toma de fotografías hace que no tengamos planificación previa, lo que le hace ser un método fácil y rápido.



Para determinar la realización de la toma de fotografías convergentes, necesitamos la distancia al objeto, en función del tamaño del pixel que deseemos obtener, por lo que nos desplazaremos con el dron perpendicularmente al objeto, procurando que entre toma y toma exista recubrimiento de al menos el 60%. Debido a la complejidad de la estructura se toman, también, tomas fotográficas en ángulo para poder recoger las curvaturas presentes.

Para la realización de las tomas tendremos que seguir unas recomendaciones, según [69] USAL, (2012), Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura:

- a) Deberá de aparecer la misma parte de la imagen en al menos dos fotografías, aunque la recomendación es que sea en tres o más, para que el software informático pueda llevar a cabo un correcto stereomatching, es decir, que se puedan localizar puntos comunes en distintas fotografías.
- b) Cada toma se realizará a una distancia de 1 metro, intentando mantener la misma en todo el recorrido fotográfico, en orden a garantizar la resolución espacial requerida (GSD).
- c) No se deben realizar dos fotografías desde la misma posición, para poder llevar a cabo el proceso de stereomatching.
- d) Se deben evitar las zonas de sombra y desarrollar fotografías de todo el modelo, evitando así zonas ocultas, por lo que es preferible realizar cuantas más fotografías mejor, de tal forma que en el proceso posterior de selección de fotografías con las que realizar la fotogrametría puedan ser desechadas aquellas que no cumplan unos mínimos de calidad, sin que ello menoscabe el modelado 3D.

### 5.2.3.2. Fotogrametría convergente

Para el desarrollo de esta técnica y según [4] Audronis, Ty. (2014), hemos usado los siguientes componentes y parámetros que a continuación exponemos:

- a. **Cámara fotogramétrica:** Modelo: Canon EOS 550D, Punto F: f/5.6. Tiempo de exposición: 1/30 s, Velocidad: ISO ISO-200, Compensación de exposición: 0, Distancia focal: 18 mm. Para la calibración de la cámara fotogramétrica se emplea el software Agisoft Lens, así como la mencionada previamente, Agisoft.
- b. **Fotografías:** Tamaño de imagen: 5148 x 3456 píxeles, Resolución: 72 ppp, Profundidad en bits 24, Representación del color: RGB
- c. **Software fotogramétrico:** Existen numerosos programas, tanto comerciales como de código abierto, capaces de realizar la reconstrucción y generar el modelo 3D. Nosotros trabajaremos con Photoscan Professional 1.2, de la compañía rusa Agisoft.
- d. **Dron o RPAS:** La fotogrametría tomada desde una cámara transportada en un dron o RPAS nos ofrece unas posibilidades en la toma de datos. Mediante esta herramienta, realizaremos fotografías cercanas a los monumentos, que nos darán como resultado, modelos tridimensionales completos y a color del edificio objeto del levantamiento. Es un cuadricóptero de 4 hélices. Se compone de un cuerpo central de fibra al que van sujetos los brazos de aluminio, en cuyos extremos se soportan los motores. En el cuerpo central se aloja la parte electrónica, compuesta de varias partes, dependiendo de las prestaciones del aparato. La **flightcontrol**, que es el ordenador de a bordo, controla las funciones primarias del mismo, además de alojar los sensores principales como: sensor barométrico para la altura, 3 giróscopos y 3 sensores magneto dinámicos. La **placa de variadores**, que aloja los mismos, uno por motor, para controlar la velocidad de giro, que se regula desde la flightcontrol. La **Navycontrol**, que maneja la navegación autónoma del aparato, necesaria

para vuelos programados mediante el plan de vuelo. **Mk-gps**, que proporciona a la Navycontrol la posición gps del aparato para la navegación automática y las correcciones del vuelo. Como componentes principales, destacamos: FlightCtrl ME V2.1, Navi Control V2.0, MK GPS V2.1, Sensor de altitud, BL-Ctrl V2.0 montados en la placa de distribución, MKUSB, Frame Set Quadcopter XL anodizados 1x rojo, 5x negros, Lipo 8000/4s, Incluye un segundo Recom para los servos. Pares de Hélices 12x4,5 EPP-CF, MK3638, Motores brushless negros, 1xEmisora Graupner MX20 12 Canales programada con sistema de telemetría, 1xReceptor Graupner, 1x soporte para batería LiPo, Posicionador para cámara réflex o video MK HiSight SLR1.

La cámara que hemos utilizado para la toma fotográfica aérea ha sido una Olympus EPM-1 con un objetivo Body Cap Lens 15 mm 1:8.0. El vuelo se realiza de forma manual, mediante emisora o mando de radiocontrol. Por las peculiaridades del presente estudio, en un espacio interior que imposibilita el uso del sensor GNSS (GPS) del dron, el vuelo se realizó de forma manual, poniendo en relieve la pericia del piloto dron para dirigirlo dentro de los parámetros fijados para la toma fotogramétrica. Para realizar el vuelo es necesaria la presencia de dos personas, una controlando el dron a través del mando radiocontrol, y otra revisando la imagen, que nos devuelve la cámara con su posición, en la estación de tierra (receptor de video), para dar indicaciones al primero. Fueron necesarios varios vuelos debido a que se realizaron tomas perpendiculares y oblicuas de cada tramo.

- e. Calibrado de la cámara:** Mediante el software Agisoft Lens y fijando una distancia focal para la cámara de 20 mm, se obtuvieron los siguientes parámetros de calibración, que posteriormente se introdujeron en el software de procesamiento PhotoScan Professional.

Parameter	Value	Std Error
Image width	5184	
Image height	3456	
Focal length	4405.25	2.28027
Principal point (x)	39.4082	0.974766
Principal point (y)	94.2255	1.0831
Affinity B1	0.00620053	0.248666
Skew B2	0	0
Radial K1	-0.174298	0.00234894
Radial K2	0.180521	0.0108882
Radial K3	-0.0847193	0.0151526
Radial K4	0	0
Tangential P1	0	0
Tangential P2	0	0
Tangential P3	0	0
Tangential P4	0	0

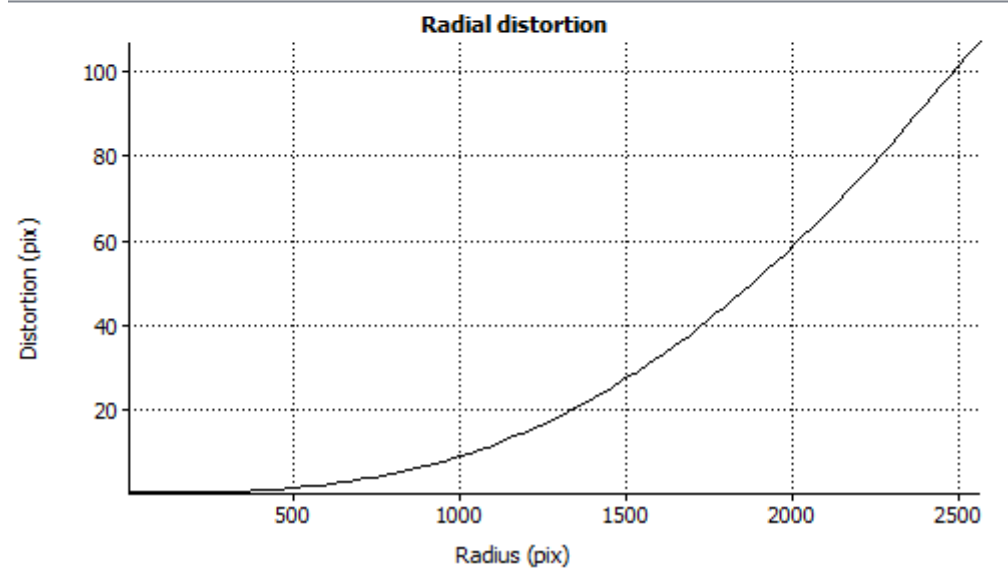


Figura 5.10: Datos Fotogramétricos de diferentes tomas.

Fuente: Elaboración propia.

f. **Procesamiento de las imágenes:** Photoscan Professional es un software destinado a crear modelos 3D de alta calidad a partir de imágenes. Está basado en la tecnología de reconstrucción 3D Multivisión. El objetivo de este algoritmo es crear un modelo 3D a partir de imágenes tomadas desde puntos de vista de cámaras conocidos. Las fases de procesamiento del programa son:

En la primera etapa Photoscan **detecta puntos característicos** en las fotografías, que son estables bajo puntos de vista y variaciones de luz. Genera un descriptor para cada punto basado en su localización y,

posteriormente, **utiliza el descriptor** para detectar correspondencias a través de las siguientes imágenes.

Estos pasos son similares al algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transformation) que se basa en extraer características distintivas de las imágenes en escala de grises, pero el software utiliza sus propios algoritmos para obtener una mejor calidad de alineación.

En otra etapa **soluciona los parámetros de orientación interna y externa** de la cámara, y, posteriormente, a través de un algoritmo propio, encuentra las ubicaciones de las cámaras aproximadamente y las ajusta utilizando otro algoritmo de ajuste tipo 'bundler'.

Seguidamente **reconstruye la superficie** a través de dos posibles procesamientos: uno, el **método suave y lento**, que genera mapas de profundidad para generar la malla del objeto; y el otro, **método rápido**, que utiliza un enfoque de múltiples-vistas para realizar la geometría del objeto.

En la última fase, Photoscan **parametriza la superficie** del modelo asignándole a cada parte de la malla una parte de la imagen, creando así un atlas de textura.

Todo el proceso que realiza Photoscan se puede automatizar, fijando los parámetros convenientes para cada parte del flujo de trabajo.

Para la obtención de los modelos 3D se ha seguido el siguiente flujo de trabajo:

#### **a. Importación de las fotografías**

Cargaremos todas las imágenes que nos ofrezcan un recubrimiento completo de la Iglesia. Estas han tenido que ser tomadas con la técnica de haces convergentes. Es recomendable que las imágenes tengan los ficheros EXIF, con los datos de la toma de la fotografía. Las fotografías pueden cargarse en un mismo grupo ('Chunks') o en varios. Se recomienda dividir la

reconstrucción en partes, para agilizar el procesamiento del modelo. Una vez cargadas las fotografías, se muestran en la parte inferior de la ventana en el marco denominado ‘Imágenes’.

Nuestro proyecto lo hemos dividido en varios ‘chunks’, diferenciando la distinta toma fotográfica:

- Fotografía perpendicular y fotografía oblicua
- Ilustración. Carga de las fotografías en Photoscan.

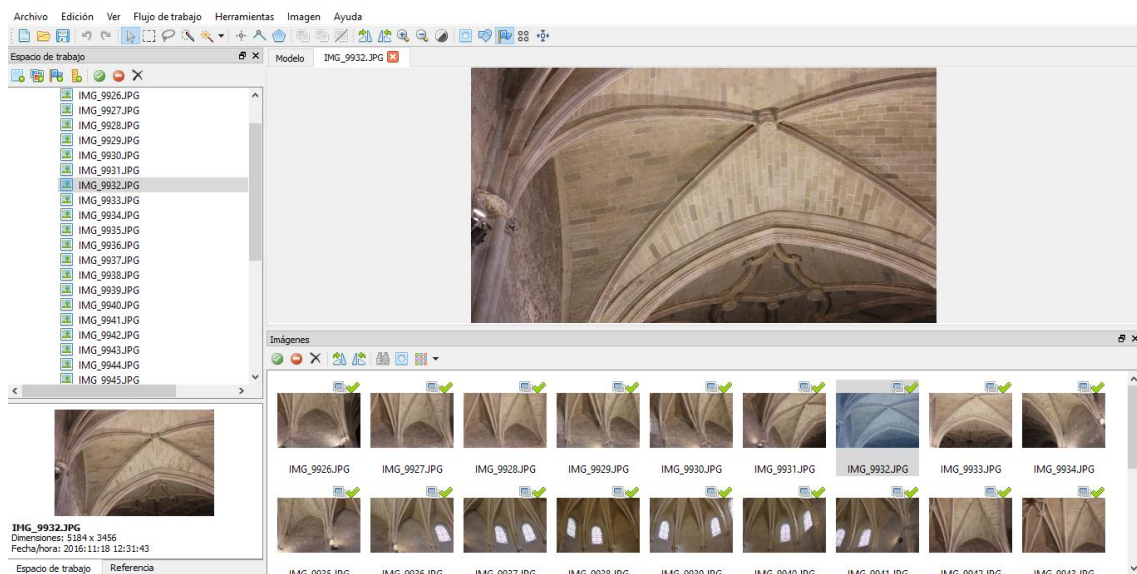


Figura 5.11: Datos de fotografías de alta resolución.

Fuente: Elaboración propia.

## b. Estimación de la calidad de las imágenes.

Mediante la herramienta “Estimar calidad”, para desechar aquellas que aparezcan borrosas o sean equívocas a la hora de llevar a cabo la alineación de las imágenes.

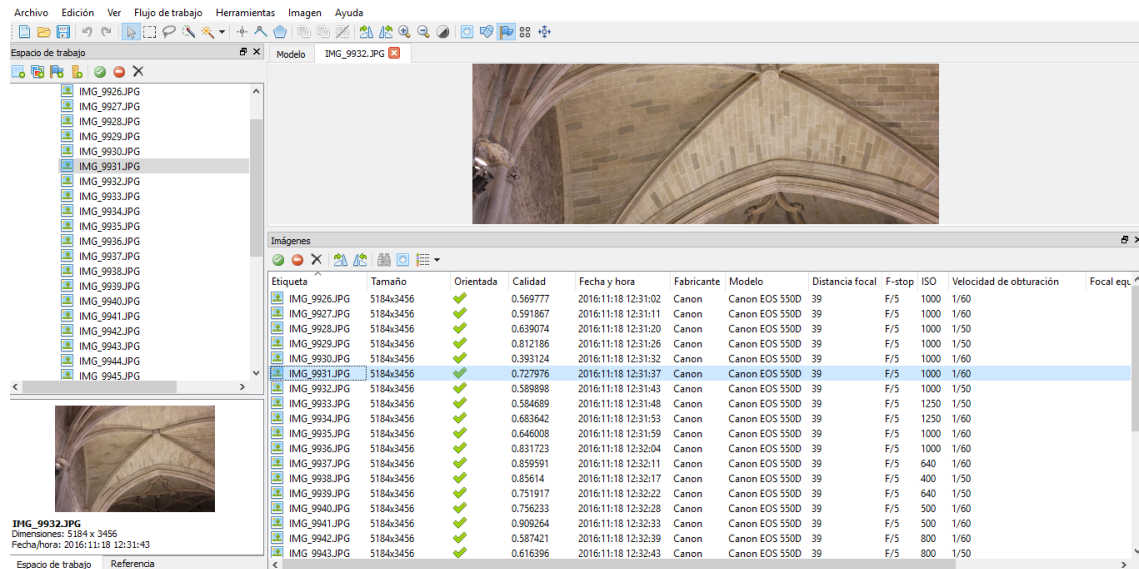


Figura 5.12: Estimación de calidad de las imágenes obtenidas.

Fuente: Elaboración propia.

### c. Calibración de la cámara.

Se introducen en el software los parámetros previamente calculados a la toma fotogramétrica.

Fx, Fy: longitud focal

Cx, Cy: coordenadas del punto principal

Otros parámetros que se muestran en los datos de calibración de la cámara son:

K1, K2, K3, P1, P2: coeficientes de distorsión radial, utilizan el modelo de distorsión de Brown.

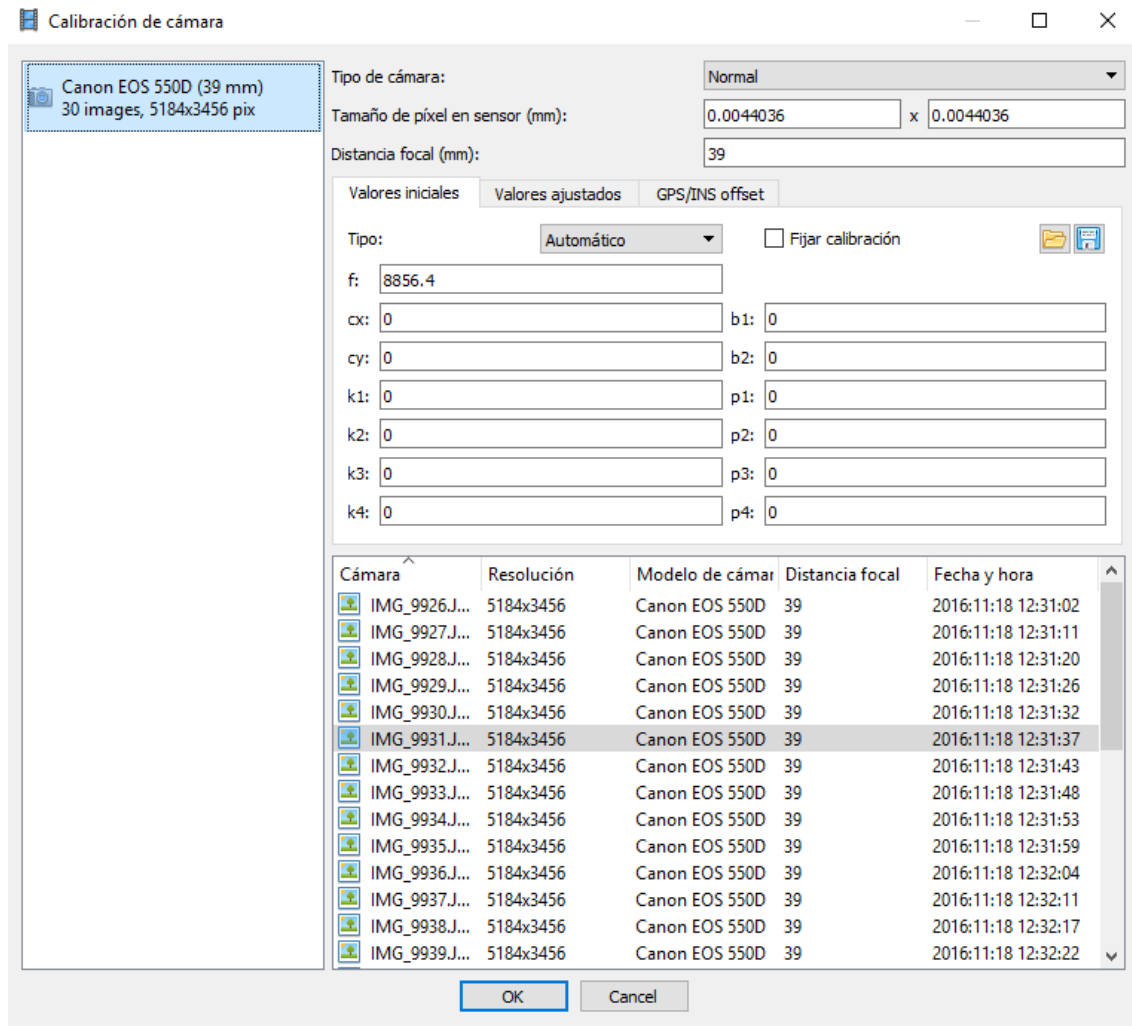


Figura 5.13: Calibración de la cámara.

Fuente: Elaboración propia.

#### d. Alineación de las fotografías

Para realizar la alineación deberemos seleccionar la opción 'Orientar Fotos' del menú 'Flujo de trabajo'.

El software identifica puntos característicos comunes ('StereoMatching') en varias imágenes, por defecto 40.000, emparejándolos.

En el proceso de alineación el programa utiliza varios algoritmos que detectan los puntos y obtiene la orientación y posición de las imágenes.

En el cuadro de diálogo, podemos elegir entre varias opciones:



- Nivel de Precisión: Máxima, Alta, Media, Baja o Mínima
- Pre-selección genérica: activado o no
- Pre-selección de referencia: activado o no
- Puntos clave por foto: 40.000 por defecto
- Puntos de enlace por foto: 10.000 por defecto.
- Restricción de máscara activa: activado o no.
- Adaptativo ajuste del modelo de cámara: activado o no.

En nuestro caso los parámetros escogidos son los que se muestran a continuación:

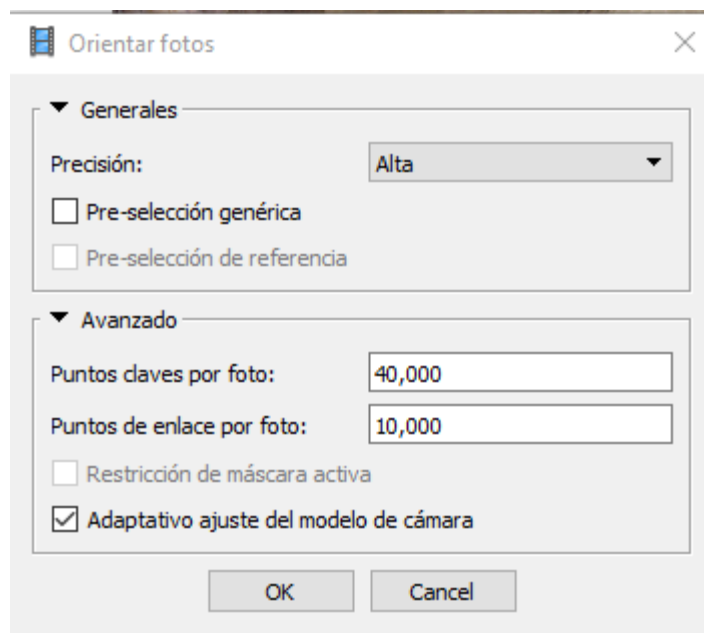


Figura 5.14 Alineación de las fotos.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el proceso se puede ver la nube de puntos dispersa y la orientación relativa de las cámaras. Además, podrá visualizarse los emparejamientos entre fotos, yendo a menú 'Herramientas' 'Mostrar Emparejamientos'. Las líneas azules enlazan los puntos que se han encontrado en ambas imágenes; los rojos, por el contrario, los que no.

En nuestro caso se ha obtenido una nube de puntos dispersa de 72.320 puntos.

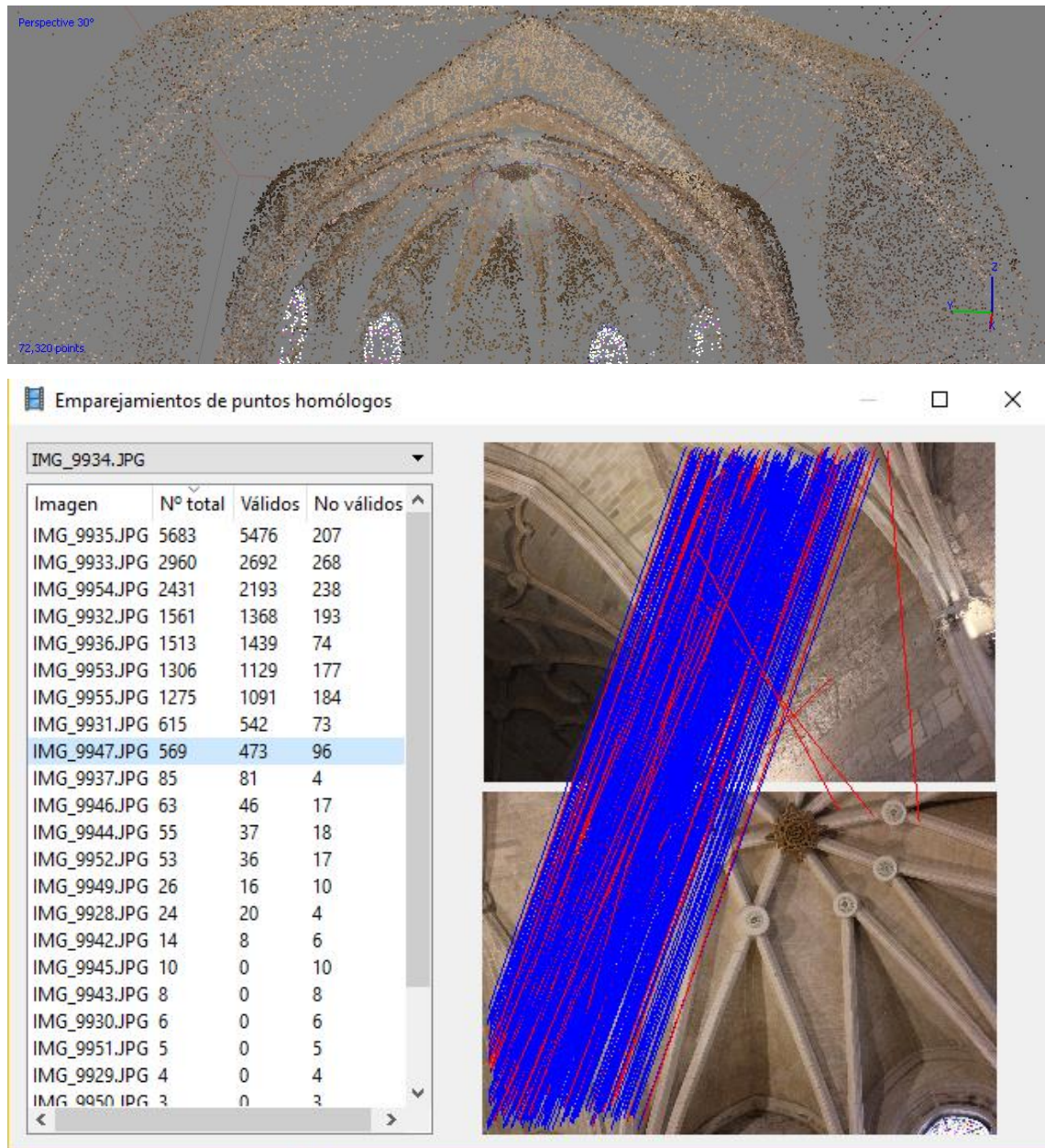


Figura 5.15: Emparejamiento de imágenes con nube de puntos.

Fuente: Elaboración propia.

### e. Establecimiento del Bounding-box

Podemos delimitar el área de procesamiento, eliminando regiones de la imagen que no necesitamos, de esta manera reduciremos el tiempo de ejecución

del algoritmo. Para ello utilizamos el ‘Bounding box’, y lo ajustaremos usando las herramientas como ‘Redimensionar Región’ y ‘Rotar Región’.

En nuestro caso se llevó a cabo un recorte de la toma fotogramétrica aislando la parte de la cúpula.

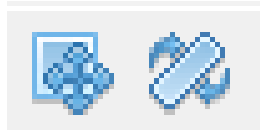


Figura 5.15 Herramientas “Redimensionar Región” y Rotar Región”

Fuente: Elaboración propia.

#### **f. Establecimiento de un Sistema de coordenadas**

El software soporta sistemas de coordenadas basados en puntos de apoyo o coordenadas obtenidas a partir de cámaras que incluyen gps. En el caso de puntos de apoyo es necesario marcarlos en las fotos con la herramienta ‘Editar Marca’, y con el botón derecho señalamos el punto correspondiente y elegimos la opción ‘Crear Marca’. Debemos marcar el mismo punto en otra foto para darle coordenadas en 3D. Podremos redefinir la posición de la marca.

Para referenciar el modelo con coordenadas reales se introducen al menos tres puntos se deben, pueden ser coordenadas locales euclidianas o georreferenciadas. El programa soporta un amplio rango de sistemas de coordenadas geográficas y proyectadas. En nuestro caso, al tratarse de una fotogrametría dentro de un edificio cerrado, imposibilitando por tanto el empleo del sensor GNSS (GPS) del que va provisto el dron, se ha establecido un sistema de coordenadas locales para el área en estudio. Para el escalado del modelo y para permitir la posibilidad de que sea métrico y de alta precisión, se ha recurrido al establecimiento de la herramienta “barra de escala”, mediante la cual se han trasladado una serie de mediciones reales, dentro de la iglesia, con sus correspondientes homólogos en las fotografías empleadas para la restitución fotogramétrica, de tal forma que se obtiene un modelo final con características métricas.

Antes de realizar la transformación, podemos indicarle el nivel de precisión de las coordenadas con la herramienta 'Ajustes' del menú 'Puntos de Apoyo'. Para realizar la transformación al sistema de coordenadas especificado, deberemos seleccionar la herramienta 'Actualizar' del menú 'Puntos de Apoyo'. Una vez que le hemos asignado las coordenadas podemos visualizar tres listados, uno con los datos originales de los puntos de apoyo; otro con los valores estimados para esos puntos; y el último con los valores de los errores, diferencia entre los datos originales y estimados, a través de las distintas herramientas del menú 'Puntos de Apoyo'.

Es recomendable comprobar los valores de error para que estos sean mínimos. En nuestro proyecto el error medio de los puntos de apoyo es de 0.030 metros, un valor bueno ya que existe una diferencia entre las coordenadas originales y las estimadas en las imágenes de 3 centímetros.

Si algún punto nos devolviera un error muy elevado, se podría comprobar si se debe a que se ha localizado mal en la imagen, por lo que se podrá rectificar el punto a su posición correcta, o si por el contrario, el programa no ha sido capaz de encontrar su ubicación, por lo que se podría deshabilitar para que el error fuera menor.

#### **g. Creación de la nube de puntos densa**

Siguiendo el flujo de trabajo fotogramétrico se pasa, a continuación, al empleo de la herramienta "Crear nube de puntos densa", mediante la cual se han obtenido 7.787.642 puntos.

Los parámetros seleccionables son:

- Calidad: Extra alta, Alta, Media, Baja y Mínima
- Filtrado de profundidad: Desactivado, Leve, Moderado y Agresivo.
- Reutilizar mapas de profundidad: Activado o desactivado.

Los seleccionados para el trabajo se muestran en la siguiente imagen figura 5.16

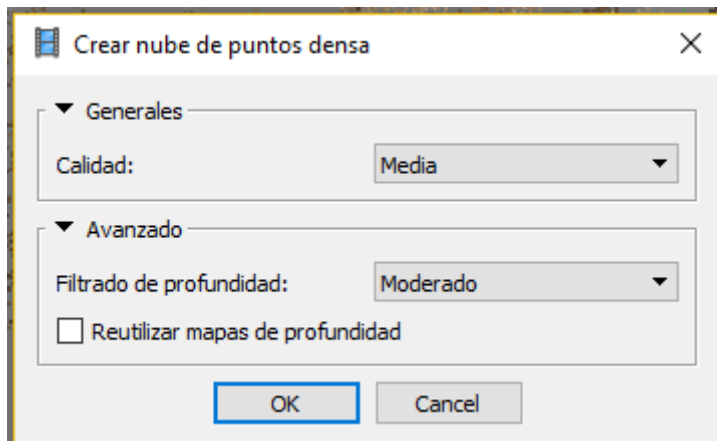


Figura 5.16 Creación de nube de puntos densa.

Fuente: Elaboración propia.

#### **h. Creación de la malla**

En este proceso del flujo de trabajo, se generará la malla del modelo. En el cuadro de diálogo deberemos seleccionar los parámetros de reconstrucción siguientes.

- Tipo de superficie:

Arbitrario: para modelar cualquier objeto.

Bajo relieve/terreno: para modelos de superficie plana como terrenos o relieves bajos.

- Datos fuente:

Nube de puntos dispersa

Nube de puntos densa

Número de caras:

Alta.

Baja.

Media.

A medida.

– Interpolación:

Habilitada

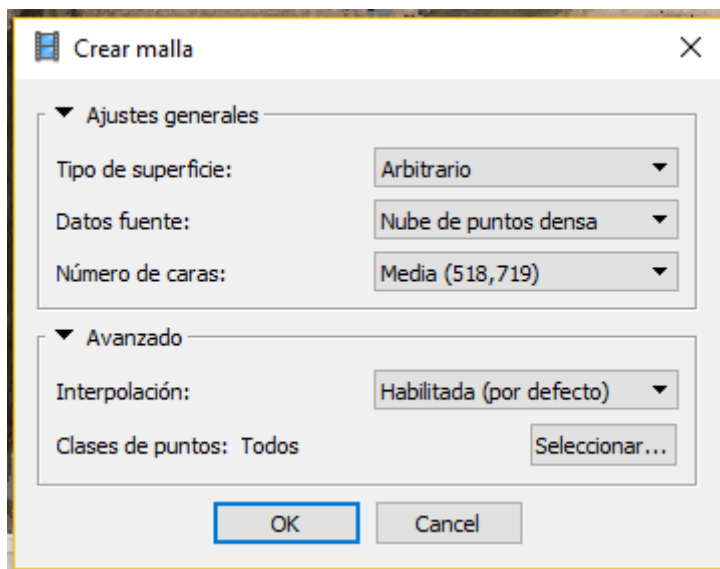
Deshabilitada

Extrapolada

Clases de puntos:

Seleccionables

Los parámetros empleados han sido:



Obteniéndose un modelo de 499,072 caras



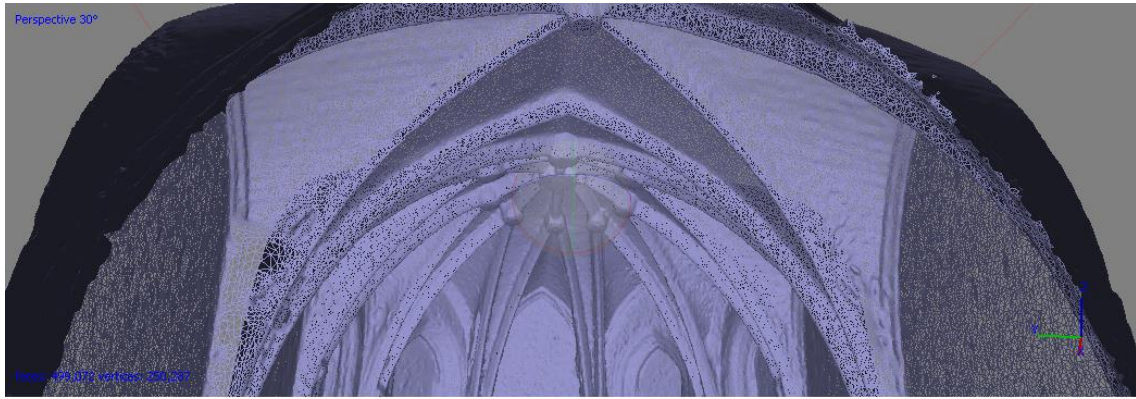


Figura 5.17: Imagen obtenida mediante ejemplo de parámetros de malla

Fuente: Elaboración propia.

### i. Texturización del modelo

En esta fase, el programa parametriza la superficie del modelo tridimensional, obtenido en el paso anterior, asignándole a cada triángulo de la malla una sección de la fotografía, creando así un atlas de textura.

Los parámetros que podemos elegir al crear la textura son:

– **Modo de mapeado:**

Genérico: el mapeo es arbitrario.

Ortofoto adaptativa: la superficie del objeto se divide en la parte plana y regiones verticales. La plana se texturiza utilizando la proyección ortográfica, mientras que las regiones verticales se texturizan por separado para mantener una representación exacta de la textura en tales regiones.

Ortofoto: toda la superficie del objeto se mapea en proyección ortográfica. Esférico: este modo es adecuado para aquellos objetos que tiene forma similar a una bola.

Cámara única: permite generar la textura de una sola foto.

– **Modo de mezcla:** como los valores de los píxeles serán combinados en la textura final.

Promedio: utiliza el valor promedio de todos los píxeles de las fotos individuales.

Mosaico: da mayor calidad que el anterior, no mezcla detalles de la imagen, utiliza la foto más apropiada.

Máxima intensidad: utiliza la foto que tiene máxima intensidad de píxel.

Mínima intensidad: utiliza la foto que tiene la mínima intensidad de píxel.

Deshabilitado.

- **Tamaño/número de texturas:**
- **Realización de corrección de color:** Habilitada o deshabilitada.
- **Cerrar agujeros:** Habilitada o deshabilitada.

Los parámetros elegidos en nuestro caso han sido de 4096 caras

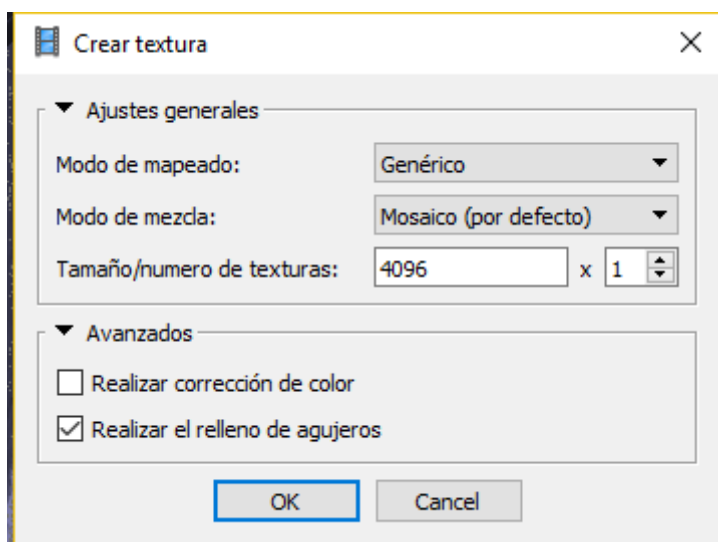


Figura 5.17 Resolución mediante modo de mapeado y mezcla con un tamaño de 4096 caras.

Fuente: Elaboración propia.



Mediante estos procesos fotogramétricos y termográficos hemos podido comprobar la situación actual de la iglesia de la Merced. Asimismo aportamos las siguientes conclusiones del estudio realizado, proponiendo este sistema como ejemplo para posibles inspecciones en la totalidad de edificios patrimoniales de nuestra Comunidad.

Podemos observar como conclusión, que la termografía, junto con la tecnología con drones puede tener las siguientes aspectos a considerar:

- La termografía y fotogrametría son técnicas que sirven para una localización inicial de posibles puntos con problemas.
- Materiales y elementos ocultos, distintos materiales de construcción localización de grietas, localización de estructuras, localización de zonas húmedas, pérdidas de calor, zonas de acumulación de calor.
- Observación exhaustiva del grado de puntos de humedad en detalles constructivos, esculturas, etc.
- Viabilidad de calefacciones por suelo radiante y por bomba de calor en monumentos patrimoniales por disipación de calor en altura.
- Investigación de Puntos de corrientes de aire y puentes térmicos.
- Informes y peritaciones de edificios e infraestructuras de manera objetiva.
- Almacenaje de imágenes para poderlas tratar con posterioridad, permitiéndonos tener documentación gráfica.
- El sistema permite realizar un gran número de inspecciones en un tiempo limitado.
- Tiene la ventaja de proporcionar información a distancia, sin ser necesario el contacto con el edificio por lo que se pueden inspeccionar puntos inaccesibles.

Por todo ello, el estudio realizado con éstas técnicas puede ser viable para todo tipo de inspecciones en cualquier tipo de edificio y construcción, pudiéndose implementar en los planes de mantenimiento de monumentos y edificaciones patrimoniales.



## **CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

“...Lo que hacemos en la Vida

tiene un eco en la Eternidad...”

Russell Crowe



Llegamos al capítulo final de nuestra investigación con la intención de exponer las principales conclusiones, las limitaciones encontradas y, por último, las futuras líneas de investigación para estudios posteriores.

Este trabajo constituye un estudio sobre el uso de drones o RPAS como instrumento tecnológico, para la Inspección y rehabilitación de edificios patrimoniales, exponiendo el caso de la Iglesia de Nuestra Señora de la Merced de Burgos, como ejemplo de referencia.

## **6.1.- Conclusiones**

Las propuestas de futuro que hemos pretendido conseguir con este trabajo están relacionados, en primer lugar, con la investigación y recopilación de documentación en materia de drones, tanto a nivel de legislación vigente como en revistas y libros especializados, estudio que se ha llevado a cabo atendiendo a publicaciones nacionales e internacionales. En segundo lugar, nos hemos centrado en el informe de evaluación de edificios monumentales a través de drones o RPAS. Se ha desarrollado una propuesta para complementar la evaluación de edificios patrimoniales, por considerar que poseen características peculiares.

Otra de las propuestas de estudio ha sido exponer las medidas de seguridad en el manejo de drones, realizando reflexiones sobre su uso y manejo.

Exponer las oportunidades de la implementación de los drones en el campo de la Arquitectura, Rehabilitación e Ingeniería, ha sido otro de los objetivos que se marcaron al inicio del mismo. La posibilidad de la aplicación en un caso concreto de rehabilitación de patrimonio ha permitido lograr la meta propuesta.

A nivel general, es alto el grado de satisfacción de consecución de los objetivos propuestos. Por otra parte, las propuestas de futuro que realizamos, basándonos en este trabajo, se pueden dividir en tres. La primera y prioritaria es concienciar a la Administración, a las Universidades y Centros e Instituciones Tecnológicas de la revolución industrial 4.0 en la que estamos imbuidos, de lo cual no somos conscientes. Debemos priorizar en acercar al alumnado, tanto universitario como de formación profesional, y hacerles ver que los nuevos perfiles de empleo que se pueden crear, basándose en esta tecnología son enormes.

La segunda propuesta es desarrollar un curso pionero a nivel nacional e internacional, donde se establezcan, además de las premisas de formación oficial que establece la titulación específica de piloto por la Agencia Estatal de Servicios Aeronáuticos (AESA), las nuevas premisas legales que desde el 1 de diciembre de 2016 los Estados Miembros de la Unión Europea quieren homologar, para desarrollar una legislación única. Asimismo, dentro de la formación, se quiere preparar a especialistas en diferentes materias como en Agricultura de Precisión, Arquitectura e Ingeniería, Prototipado de drones, Manejo y Pilotaje, Emergencias y Salvamento, Seguridad, Ingeniería 4.0 y otras especialidades que conformarían una adecuada formación para nuestros futuros jóvenes, siendo pioneros en la Unión Europea al respecto.

Y la última es concienciar a las Administraciones que, al desarrollar Planes de Mantenimiento en todas las Infraestructuras y Edificios Monumentales, es posible reducir los costes de rehabilitación de grandes construcciones con la programación robótica, a través de la tecnología dron.

Se ha constatado la importancia de tener conocimiento sobre la tecnología de la rehabilitación y de la legislación del Patrimonio. La revisión de esta normativa, nos ha permitido pensar que es una legislación con un articulado arduo, que conlleva la realización laboriosa de gestiones que pueden motivar que las obras de rehabilitación se estanquen y, en consecuencia, se promueva que el Patrimonio se degrade aún más.

Las distintas patologías que se pueden detectar se podrían reparar si realmente se consigue saber el origen de las mismas, por lo que resaltamos la importancia de conocer, con la máxima previsión posible, el origen y la causa de las patologías. Es indudable la ayuda que prestan las nuevas tecnologías, para llevar a cabo tareas de precisión y rapidez, y más concretamente, con lo expuesto respecto a los Drones.

Hemos abordado la tipología de drones que existe, así como los componentes que hay para su prototipado y manejo. Al mismo tiempo, se ha tratado tanto de las aplicaciones existentes y la legislación vigente nacional e internacional, concretamente en Gran Bretaña e Italia y, en especial, Estados Unidos, por ser un referente en el uso de las nuevas tecnologías en el campo de los vehículos no tripulados o drones.

Es preciso destacar y especificar los componentes y electrónica de los drones, desde una visión global, su desarrollo y los procedimientos de su uso, convirtiéndoles en un instrumento indispensable en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la rehabilitación.

Es importante tener como referencia un caso concreto, como el de la Iglesia de la Merced de Burgos, en el que se pueda seguir todo el proceso de aplicación de estos aparatos, especificando y desarrollando un plan de mantenimiento de un edificio Patrimonial con el uso de RPAS o drones.

Un aspecto a destacar es que es preciso conservar, en lugares adecuados, planos, esquemas y otros documentos, ya que es necesario realizar diferentes consultas, antes de iniciar todo el procedimiento o plan.

Destacamos, como cuestión relevante dentro de la investigación realizada, el montaje y prototipado de un dron. Se ha desarrollado su montaje especializado para trabajos de Ingeniería, Arquitectura y Rehabilitación, siendo imprescindible incorporar un conocimiento exhaustivo de los drones y considerar la preparación de las personas para poder volar RPAS o drones.

Es preciso que se regule, definitivamente, la reglamentación de los drones en España con una legislación innovadora, actualizada, realista y no restrictiva. En relación a la legislación nacional para el uso de Drones, se debe trabajar hacia una normativa que permita desarrollar la investigación a través de drones, pudiéndose realizar inspecciones de toda clase de edificaciones por control remoto o GPS. La mejora en el diagnóstico de las patologías de las construcciones de Arquitectura e Ingeniería pasan por desarrollar una inspección donde las imágenes sean fotogramétricamente lo más perfectas posibles para conocer, sin lugar a dudas, las diferentes patologías que se puedan presentar.

Las recientes noticias sobre el colapso de diferentes edificios y construcciones abren una nueva etapa para el desarrollo de las inspecciones técnicas. Las tecnologías que existen pueden dar una visión general y exhaustiva del estado de nuestras edificaciones y haría que los propietarios de las viviendas fuesen conscientes de que la rehabilitación y el mantenimiento de sus edificios tienen una importancia vital. Es preocupante que sólo se actúe en edificios cuando la patología es muy grave o haya desembocado en un accidente como la caída o desprendimiento de aleros, petos, cornisas o parte de mampostería.

Los trabajos en estos aspectos harían ver, a los técnicos y a los propietarios de las edificaciones, el origen de los problemas en edificación y



actuar desde el inicio con las pautas terapéuticas de diagnóstico que se tienen para la rehabilitación.

Respecto al seguro de responsabilidad civil para el uso de RPAS/drones, ello conlleva que todos los usuarios que desarrollen trabajos con esta tecnología, deben cumplir con lo establecido en el Real Decreto-Ley 8/2014 entre lo que destacamos contar con pólizas de seguro y garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros, según los límites de cobertura establecidos por RD 377/2001 de 19 de enero, de navegación aérea y los establecidos en el Reglamento de la Comunidad Europea 785/2004 de 21 de abril.

Surge una problemática al respecto importante, si nos referimos a la rotura del aparato en sí. A tal efecto, está claro que para aquel usuario que no tenga licencia de vuelo como piloto, el seguro le será inválido, pues sin la licencia no se podrá volar, salvo con drones de prácticas con un mentor específico que posea licencia de vuelo y que tenga las dimensiones y peso específico indicado en el RD 377/2001 de 19 de enero sobre la navegación aérea, siempre y cuando la nave pese menos de 25kg; o los establecidos en el Reglamento europeo 785/2004 de 21 de abril, si la nave pesa más de 25kg.

Los seguros que se deben contratar para el manejo de drones-RPAS, para vuelos de vehículos tripulados remotamente, deben ser contratadas a través de empresas que aseguren la Responsabilidad Civil y su explotación. Con este seguro se cumple el Real Decreto-Ley 8/2014, dada su obligatoriedad, se está a cubierto ante reclamaciones por la actividad de vuelo con drones/RPAS frente a posibles daños materiales o personales de los que se pueda ser responsables.

La póliza de seguro contempla, capitales básicos, que se dividen según el peso del aparato, siendo 300.000 €, el límite por siniestro y año, para equipos de hasta 25 kg y para equipos por encima de los 25 kg, el límite por siniestro y año es de 900.000€. Por otra parte, se estima que el límite por víctima es de 90.000€ con una franquicia de 150€. El precio del seguro de responsabilidad civil de drones hasta 25 kg, es de 200€; y el de drones de más de 25 kg, es de 350€.

La empresa aseguradora deberá emitir un certificado en el que expresamente se indique que dicha aseguradora se encuentra autorizada por la Dirección General de Seguros en el ramo de responsabilidad civil de vehículos aéreos, y que se cumple con los requisitos establecidos en el art. 50.3 d 7º de la Ley 18/2014 de 19 de octubre, para cada una de las aeronaves y actividades declaradas por el operador, como:

- Actividades de investigación y desarrollo Industrial, Ingeniería, Rehabilitación y Arquitectura BIM.
- Tratamientos aéreos, fitosanitarios y otros que supongan esparcir sustancias en el suelo o la atmósfera, incluyendo actividades de lanzamiento de productos para extinción de incendios.
- Fotografía, filmaciones y levantamientos aéreos (levantamientos topográficos, fotogrametría y termografía).
- Investigación y reconocimiento instrumental: calibración de equipos, exploración meteorológica, marítima, geológica, petrolífera o arqueológica, enlace y transmisiones, emisoras, receptor, repetidor de radio o televisión.
- Observación y vigilancia aérea incluyendo filmación y actividades de vigilancia de incendios forestales.
- Publicidad aérea.
- Operaciones de emergencia, búsqueda y salvamento.
- Vuelos de prueba y de ocio. First Person View (FPV)

Consideramos que las empresas aseguradoras deberían, elaborar un protocolo donde observen que la contratación de un seguro para trabajar en el campo de los RPAS/drones tiene unas variables difíciles de cuantificar actualmente, por lo que, en este campo, los seguros deberían tener como finalidad la seguridad, que debe primar frente a la economía. Si se pudiera contratar un seguro asequible y económico que cubra el 100% de las

posibilidades de trabajo, mediante RPAS/drones, veríamos como, conjuntamente a la compra de un dron, se contrataría una póliza para su manejo y uso.

El uso de los drones nos lleva a destacar que las baterías de Li-Po de los RPAS o drones tienen una limitada duración y es preciso aumentar la capacidad de vuelo o llegar a buscar alternativas para que se encuentre otro material que suplante a las baterías de Li-po como es el grafeno.

En relación a la propia peligrosidad del dron, por la dificultad del manejo del aparato, nos lleva a plantear que se ha de tener un título homologado en toda Europa para que se pilote y maneje un RPAS/dron, con independencia de su edad.

## **6.2.- Limitaciones y futuras líneas de investigación**

La primera limitación que hemos tenido ha sido la dificultad en encontrar documentación de la iglesia de la Merced. La base histórica de la iglesia está desperdigada por multitud de archivos, y en consecuencia, hemos tenido limitaciones para conocer toda la información de la iglesia.

Las dificultades y limitaciones que he tenido para elaborar esta investigación radican principalmente, en la poca información escrita existente de drones o RPAS. Por otra parte, otra limitación ha sido encontrar y desarrollar un equipo para elaborar el plan de vuelo de la Iglesia de la Merced de Burgos.

Asimismo la inexistencia de trabajos previos en este ámbito también ha dificultado la redacción de la investigación. También queremos resaltar que actualmente AESA está cambiando la legislación con la intención de que no existan problemas para que esta industria pueda ser un motor económico.

En cuanto a las dificultades encontradas para desarrollar el vuelo del dron en la Iglesia de la Merced, se constata que el acercamiento del aparato al

perímetro del muro y al contorno de las bóvedas han sido maniobras de enorme dificultad.

Respecto a las limitaciones para el uso de la tecnología dron, son actualmente muchas, ya que la normativa legal es muy restrictiva para las aplicaciones que tiene esta industria. Asimismo, la escasa publicación de libros, artículos y revistas especializadas que muestren las investigaciones, novedades y hallazgos hacen que esta tecnología tenga mucho que avanzar.

Dada la constante y novedosa evolución en el campo de los drones/RPAS, proponemos varias líneas de desarrollo en investigaciones y trabajos posteriores:

- Usos alternativos de los RPAS/drones en diferentes campos, lo que puede conllevar una revolución en la preparación de técnicos en las universidades. En los próximos años se va reinventar el campo de la ingeniería y la arquitectura con este tipo de dispositivos. Las termografías, la fotogrametría, los renderizados e impresiones en 3D y la propia inspección en todo tipo de instalaciones eléctricas e industriales y en el mantenimiento de edificios van a priorizar un campo de investigación que abordará una especialización dentro de los grados universitarios y Ciclos de Formación Profesional. Si la industria 4.0 ha llegado hasta estos dispositivos, la sociedad en general, y la universitaria en particular, no pueden hacer oídos sordos ante el apogeo de los RPAS/drones, por lo que debemos orientar a los distintos grados universitarios hacia cursos de expertos, como el que proponemos para implantar esta nueva realidad.
- Construcción de modelos arquitectónicos y de Ingeniería “BIM”. (Building Information Model), mediante la obtención de medidas directas sobre la técnica “nube de puntos”, que realiza una exactitud y uniformidad de coordenadas para elaborar una adecuada volumetría en edificios y construcciones.

- Desarrollar y elaborar una documentación digital de las edificaciones, conjuntos arquitectónicos, así como herramientas que reduzcan el coste económico en la captura de datos y análisis de las edificaciones.
- Uso operativo de RPAS en agricultura de precisión. Las investigaciones se desarrollan hacia aplicaciones en la teledetección que es la capacidad de obtener información de un objeto, sin mantener contacto físico con él, mediante el estudio de la radiación electromagnética reflejada o irradiada por los objetos.
- Uso operativo del BIM-Drone, que es una de las líneas de investigación para desarrollar la inspección y el mantenimiento. Se pueden desarrollar vuelos con el propio móvil, es decir, que sea el propio controlador de vuelo quien recoja todos los datos con una precisión fotogramétrica.

El futuro de la industria del dron está en nuestras manos. Una mala gestión, por parte de nuestros representantes, puede hacer que esta tecnología no encuentre su lugar adecuado. Debemos ser la voz de la tecnología en el uso de los drones o RPAS en el siglo XXI.

Como conclusión final podemos decir que visto cómo el uso del dron o RPAS podrá revolucionar la investigación en un plazo corto de tiempo. No obstante, lo que sí debemos tener en cuenta son dos aspectos fundamentales: por un lado, se debe regular el aspecto legal diferenciando el ámbito educativo del profesional; y por otro lado, que se debería afrontar de manera intuitiva y dinámica en los centros educativos, en los que se recojan materias específicas donde se adentre el tema robótico de prototipado y manejo de drones, siendo, posteriormente, una posibilidad de especialización en grados o/y materias en las universidades, sin olvidar el desarrollo de Master de drones o RPAS.

Ante el auge, la necesidad y las diferentes posibilidades de uso de Drones, aprovechamos la ocasión para realizar la propuesta de un Curso de Experto en Prototipado y pilotaje de RPAS o drones (Anexo). Este programa tendrá las restricciones que AESA disponga con aspectos relativos a legislación nacional e

internacional para su pilotaje y su aplicación en los futuros campos que la sociedad estime para los drones.

Los drones han llegado a la rehabilitación y a la arquitectura para quedarse.







**ANEXO:**

**GUÍA DOCENTE**

**EXPERTO UNIVERSITARIO EN MANEJO DE DRONES**



## GUIA DOCENTE

### 1. CURSO

**CURSO EXPERTO UNIVERSITARIO EN MANEJO DE DRONES - RPAS**

Tiene como objeto, proporcionar al alumno, como futuro piloto de Drones y le permitan resolver los diferentes problemas y situaciones que se le presenten. La comprensión e implementación de los conocimientos, permitirán una propuesta, dando respuestas eficaces y diferentes a los que aparecen en la presente guía

### 2. Número de créditos ECTS

10 ects (250 horas)

### 3. Competencias

#### **Básicas:**

CB1.- Construir una conceptualización sobre el pilotaje de drones, integrando modelos de, que sirva como base para la intervención en distintos momentos y situaciones.

CB2.- Comprender e integrar en la labor profesional los fundamentos de la intervención basados en la ética y en la resolución de problemas.

CB3.- Conocer los actuales avances en investigación, buenas prácticas y modelos de intervención en el ámbito del pilotaje de Drones, con evidencia científica y saber aplicarlos.

CB4.- Poseer las habilidades profesionales necesarias para intervenir en diferentes entornos empleando los Drones.

CB5.- Crear espacios de reflexión, intercambio y análisis sobre las buenas prácticas capaces de promover la mejora en el pilotaje de Drones.

#### **Generales:**

CG1.- Desarrollar actuaciones que promuevan el pilotaje de Drones, atendiendo a los protocolos establecidos.

CG2.- Comprender las distintas situaciones y contextos que requieran intervención e identificar los recursos necesarios para su abordaje.

CG3.- Analizar y valorar la contribución de los Drones y soportes asociados a la intervención en su pilotaje.

CG4.- Promover una intervención basada en la aplicación de protocolos actualizados en el pilotaje de Drones

CG5.- Desarrollar iniciativas que promuevan las buenas prácticas en el uso de Drones.

#### **Específicas:**

CE2.- Identificar, seleccionar y emplear los Drones y dispositivos asociados en la práctica profesional relacionada con su pilotaje.

CE3.- Analizar e interpretar distintas situaciones de intervención, proponiendo los recursos más adecuados para cada una de ellas.

CE4.- Planificar y desarrollar un protocolo de pilotaje, basado en el uso de los Drones.

CE5.- Crear contextos y/o adaptar estrategias y apoyos a situaciones concretas de vuelo y pilotaje de Drones

CE6.- Mostrar una actitud reflexiva que favorezca la toma de decisiones.

CE7.- Trabajar en equipo.

CE8.- Mantener un proceso autoformativo de actualización permanente sobre el

conocimiento elaborado por otros dentro del propio campo de investigación.

#### **4. Programa de la asignatura (Descripción detallada de los contenidos)**

##### **4.1. Objetivos**

- Comprender y atender a las especificaciones de la Normativa de un Dron como HTA.
- Utilizar los conocimientos teóricos y prácticos en el sistema mecánico y eléctrico de un RPAS o Dron.
- Conocer y prestar la atención integral de un equipo multidisciplinar, aportando una visión global experta.
- Dominar las técnicas y procedimientos de la Emisora y receptor con telemetría.
- Conocer en profundidad los elementos de un Dron.
- Desarrollar la programación de autopiloto.
- Conocer las características de la navegación y de los procedimientos operaciones de la AESA.

##### **4.2.- Unidades docentes (bloques de contenidos)**

T1:Reglamentación: Marco Normativo  
T2: Conocimientos generales de la aereonave.  
T3: Performance del dron.  
T4: Meteorología.  
T5: Navegación y mapas.  
T6: Procedimientos operacionales.  
T7: Comunicaciones.  
T8: Fraseología aereonaútica aplicable.  
T9: Factores Humanos.  
T10: Conocimientos ATC.  
T11: Comunicaciones Avanzadas ATC.

##### **Módulos de Especialización:**

- M.1. Prototipado de Drones: Montaje y Mantenimiento.
- M.2. Arquitectura Patrimonio, y Rehabilitación.
- M.3. Agricultura de precisión.
- M.4. Automatización de Vuelos.
- M.5. Fotogrametría con Drones

#### **5. Metodología de enseñanza y aprendizaje**

Se ha programado un curso sencillo, cercano y directo. se busca la trasmisión directa de la experiencia, comunicando la realidad de las variables que inciden en las situaciones prácticas de vuelo en todos los ámbitos, lo que

permite al alumno posicionarse en las mismas con conocimiento prácticos adquiridos y transmitidos por sus verdaderos protagonistas, resolviendo situaciones complejas de vuelo y de los requisitos de seguridad.

El número máximo de asistentes es de 60 alumnos, que se agruparán en función del contenido a impartir en cada momento del curso, en grupos de 15 alumnos (G1-G2-G3-G4) ó subgrupos de 3 alumnos, para la realización de las prácticas de vuelo real.

El profesorado, con gran experiencia en drones, impartirá la docencia utilizando diferentes recursos de apoyo como: presentaciones en power point, videos, documentos, etc.

Las horas teóricas en el aula están igualadas a las horas de prácticas.

Las horas de prácticas tuteladas representarán el 50% de la carga lectiva, se reproducirán diferentes situaciones de vuelo, se desarrollarán talleres de prototipado, manejo de diferentes tipos de drones o RPAS, etc.

## 6. Sistemas de evaluación

Para superar la materia el alumnado deberá asistir al 80% de las clases teóricas y al 100 % de las prácticas. Así mismo deberá, al menos, sacar siete puntos sobre 10 en el examen teórico, en el práctico y en el trabajo final.

<b>Procedimientos</b>	<b>Peso en la calificación final</b>
Asistencia a clase	5 %
Realización de Trabajos	20 %
Examen teórico oficial de AESA	20 %
Examen práctico oficial de AESA	20 %
Prácticas Tuteladas de simulador de vuelo	15 %
Exposición Trabajo Final	20 %
<b>Total</b>	<b>100%</b>

## 7. Recursos de aprendizaje y apoyo tutorial

Videos, Presentaciones, Simuladores de vuelo, Prácticas de vuelo real con drones

## 8. Calendarios y horarios

1 semestre

## 9. Idioma en el que se imparte

ESPAÑOL



## **CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

“Libros...un sin fin de saber...”





- [1] Abasolo, A. (2010). *Arquitecturas en Rehabilitación. Técnicas Tradicionales y Actuales*, Edit: Munilla Lería.
- [2] Addleson, L. (1982). *Fallos en los edificios*, Edit: Consejo de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.
- [3] Archivo Municipal de Burgos. (1843). *Conventos desaparecidos, Nuestra Señora de la Merced de Burgos*. AMBU. [4] Audronis, Ty. (2014). *Building Multicopter Video, Drones* Edit. Practoks.
- [5] Barrón, A. (1994). *Fantasía y clasicismo. Debate sobre un retablo para el monasterio de la Merced de Burgos. Actas del X Congreso sobre Los Clasicismo en el Arte Español*. CEHA. UNED. pp. 211 - 217.
- [6] Baichtal, J. (2016). *Building Your Own Drones: A Beginners' Guide to Drones, UAVs, and ROVs-* BAY, H., ESSA, A., TUYTELAARS, T.; VAN GOOL, L., Speedep-Up Robust Features (SURF). Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- [7] Bellver, S. (2015) *Handbook del piloto de drones: legislación, documentación y consejos para volar seguro*. Edit: B. Escrihuela.
- [8] Bellver, S. (2015) *Libro de inspección y diario de vuelo del piloto de drones*. Edit: B. Escrihuela.
- [9] Blanco, A. (1948). Adición a los libros impresos burgaleses. Proyecto de recuerdos de la primera mitad del siglo XVII. *Boletín de la Institución Fernán González*, nº 104.
- [10] Bosarte, I. (1978). *Viaje artístico a varios pueblos de España*. Madrid, Ed. Turner.
- [11] Cabrelles, M. y Navarro, S., (2011) Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares. *La información geográfica y la gestión del Patrimonio*. nº 77, pp. 127-129. Universidad Politécnica de Valencia.
- [12] Comunidad de Madrid (2016). *Los drones y sus aplicaciones a la Ingeniería civil*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- [13] Chen, H. Wang, X. Li, Y.(2009) A survey of autonomous control for uav, *Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009. AICI '09. International Conference*, pp. 267 –271.

- [14] Decreto 176/1996, de 4 julio, BOCyL núm. 131 de 4 de Julio *Plan de Intervención en el Patrimonio Histórico de Castilla y León para el período 1996-2002.*
- [15] Dougherty, J. (2015) *El gran mundo de los drones.* Edit: Edimat
- [16] Dobrokhodov, V. Kaminer, I. Jones, K. Ghabcheloo, R. (2006) Vision-based tracking and motion estimation for moving targets using small UAVS: *American Control Conference,*.
- [17] Institución Fernán González (1950).El Siglo de Oro de Burgos. *Boletín Inst. Fernán González. Nº 110.*
- [18] Estatuto de Autonomía. (2007). BOCyL núm. 234 de 03 de Diciembre de y BOE núm. 288 de 01 de Diciembre de 2007 y B.O.E nº 86, del 10 de abril de 2013, según el Real Decreto 233/2013
- [19] Estella M. (1979). Obras escultóricas en el siglo XVI en los conventos de la Trinidad y de la Merced de Burgos. *Archivo Español de Arte, (CSIC), nº 205.*
- [20] Dougherty, J. M. (2015). *El gran mundo de los drones.* Edimat Libros.
- [21] Flórez, E (OSA) (1772). *España Sagrada, Tomo XXVII.* Madrid, Imp. Antonio de Sancha.
- [22] Eichler F.(1977). *Patología de la construcción,* Ed. Blume.
- [23] Freund, S. Xu, Sun, J. (2003) *Solution methodologies for the smallest enclosing circle problem,* Computational Optimization and Applications.
- [24] Funes, J. (2016). *Curso Avanzado de piloto de drones.* Editorial: Funes Navarro.
- [25] García, J. (1959). *Viajes de extranjeros por España y Portugal. Tomo II.* Madrid, Aguilar,
- [26] García, I. (1943). Del Burgos de antaño: Dos claros linajes burgaleses, Astudillo y Acuña. Historia del museo arqueológica de Burgos. *Boletín de la Institución Fernán González, nº 178, 1959.*
- [27] Gómez, J., (2012) *Introducción a la fotogrametría digital: El método general de la fotogrametría digital. Procesamiento avanzado de imágenes.* Universidad de Salamanca.
- [28] Eldrige, H, J. (1982) *Defectos comunes,* Ed. G.G.
- [29] Hall, E. (2015). *The Wonderful World of Quadcopters and Drones.* Edit.Hall

- [30] Huidobro, L. (1951). El arte isabelino en Burgos y su provincia. *Boletín de la Institución Fernán González*, nº 116.
- [31] Hsia, K.-H Lien, S.-F. Su, J.-P (2010) *Height estimation via stereo vision system for unmanned helicopter autonomous landing*, in: *Computer Communication Control and Automation (3CA)*, International Symposium on, Vol. 2, 2010, pp. 257 –260.
- [32] Ibáñez, A. C. (1990). *Burgos y los burgaleses en el siglo XVI*. Burgos, Ayuntamiento.
- [33] Isood, C. S. (2015). *Buying and Flying the DJI Phantom Quadcopters*. Edit: Kiddle
- [34] Trill, J y Bowyer, J.T (1981) *El caso de la esquina rota y otros problemas constructivos*, Ed.G.G.
- [35] Kubota, Y. Iwatani, Y. (2011). *Dependable take off and landing control of a small-scale helicopter with a wireless camera*, in: *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, IEEE International Conference on, pp. 1279 –1284.
- [36] Lemieux, J. (2016). *Drone Entrepreneurship. 30 Business you can start*. Edit Reviews.
- [37] Lerma, J.L. (2002). *Fotografía moderna: analítica y digital*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- [38] Ley del Tesoro artístico, Defensa, Conservación y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional 1933 y su reglamento de 1936.
- [39] Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León.
- [40] Ley 16/1985 del 25 de Junio del Patrimonio Histórico Español
- [41] López, T. (1968). Nuestra Señora de la Merced, iglesia de los Mercedarios burgaleses. *Boletín de la Institución Fernán González*. n. 170, p. 69-73.
- [42] López, T. (1932). Monasterios y fundaciones burgalesas de redención de cautivos en el siglo XVI. *Boletín de la Comisión Provincial de monumentos históricos artísticos*. XI, nº 41, 4¼
- [43] López, I. (1969) Historia del Real Colegio de la Facultad Reunida de medicina y cirugía. *Burgense: Collectanea Scientifica*, nº 10.
- [44] Lozano A.G (2003) *Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico*. Edit. Técnicos Consultores.
- [45] Lowe, D. (2003) *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*.

- Computer Science Department, University British Columbia, Vancouver (Canada).
- [46] Llull, J. (2005) *Evolución del concepto y de la significación social del patrimonio cultural*. Revista: Arte, individuo y sociedad, nº 17, pp. 175-204, Universidad Complutense de Madrid.
- [47] Madoz, P. (1984). *Diccionario Geográfico, Estadístico, Histórico de España y sus posesiones de ultramar. Tomo 2. Burgos*. Madrid, Ed. Ámbito.
- [48] Mallick, M. (2007) *Geolocation using video sensor measurements*, in: Information Fusion, 10th Intern. Conference on, 2007, pp. 1 –8.
- [49] Martínez, M. (1954) *Intento de diccionario biográfico y bibliográfico de autores de la provincia de Burgos*. Edición facsímil de: Madrid, Imprenta y Fundación de Manuel Tello.
- [50] Martínez, M. (1954). En torno a la catedral de Burgos: II Colonias y Siloes. *Boletín de la Institución Fernán González*, nº 128.
- [51] Monjo, J (2000) *Técnicas de diagnosis sobre el concepto de causa, en patología de la construcción* Editorial UPM
- [52] Nougé, A. (1973). Sobre la Merced de Burgos. *Boletín de la Institución Fernán González*, Año LI, nº 180, 1º Trim. (pp. 553-565).
- [53] Orden de 3 de Octubre de 1777 se crea la Real Academia de la Historia y la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.
- [54] Osaba, B. (1968). Restauración de la iglesia de la Merced, de los Padres Jesuitas. *Boletín de la Institución Fernán González*, XLVI, 1º Semestre. (pp. 74-87)
- [55] Osaba, B. (1978). Restauración iglesia de la Merced, padres jesuitas. *Boletín Institución Fernán González*, nº 170.
- [56] Palacios, B. (2003). Historia de la ciudad de Burgos, de sus familias y de su Santa Iglesia. *Boletín de la Estadística Municipal de Burgos*. Burgos, Biblioteca Nacional (MSS 2443), Madrid.
- [57] Patología de fachadas urbanas, (1987) Dpto. de Construcción, E.T.S.A. de Valladolid. Universidad de Valladolid.
- [58] Patología, Conservación y Restauración de Edificios, (1991) Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Comisión de Asuntos Tecnológicos.

- [59] Patrimonio Cultural de España. *Revista Nº6. Patrimonio en riesgo: seísmos y bienes culturales* (2012) Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
- [60] Plácer, G. (1982). *Iglesia y convento de la Merced de Burgos, Estudios Mercedarios*. enero-marzo. (pp 43-62).
- [61] Plan Nacional de Conservación Preventiva para el Patrimonio Arquitectónico (2012 – 2015) PN 5692, fols. 456.
- [62] Pérez, C., (2015) *Aplicaciones de la fotogrametría convergente en la restauración y rehabilitación de edificios. Grupo energía, edificación y patrimonio. E.U. Arquitectura técnica. U.P.M. - Manual of Photogrammetry*. Ed. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- [63] Ponz, A. (1972). *Viaje de España, Tomo XII*. Edición facsímil de la ed.. Madrid, Ibarra (pp. 72-73) Ediciones Atlas.
- [64] Quintero, S. Papi, F. Klein, D. Chisci, L. Hespanha, J. (2010) *Optimal UAV coordination for target tracking using dynamic programming, in: Decision & Control (CDC) 49th IEEE Conf on*, 2010, 4541 –4546.
- [65] International Centre for the Study of the Preservation of Cultural Property. Reunión Internacional Vaanta (2000). European Preventive Conservation Estrategy-ICCROM
- [66] Revista Computer Vision and Image Understanding, vol. 110, pp. 346-359. (2009).
- [67] Rodríguez, M. (1989). *Santuarios marianos mercedarios en España*. León, Ed. Lancia.
- [68] Miguel, A, y Fujita M. (2006) Take off and landing control using force sensor by electrically-powered helicopters. *Advanced Motion Control. 9th IEEE International Workshop*, pp. 62 –65.
- [69] Universidad de Salamanca, (2012). Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Edit USAL
- [70] Theodorakopoulos, P. Lacroix, S. (2008) *A strategy for tracking a ground target with a uav, in: Intelligent Robots and Systems, IROS. IEEE/RSJ International Conference on*, 2008, pp. 1254 –1259.
- [71] Valle, F. del. (1990). *Los jesuitas en la Merced; cien años de historia, Burgos 1890-1990*. Burgos, edit: Aldecoa.
- [72] Varas-M.J, Martínez-Garrido M.I, Fort, R. (2014) *Monitoring the thermal-*

*hygrometric conditions induced by traditional heating systems in a historic Spanish church (12th–16th C)” Energy and Buildings 75: 119–132.*

- [73] Weissbach, D. – Kathryn, T. (2016) *Drones in sight: rapid growth through M&A’s in a soaring new industry*. Strategic Dir. vol.32
- [74] Zhan, P. Casbeer, D. Swindlehurst, A. (2005) A centralized control algorithm for target tracking with UAVs, Signals, Systems and Computers, *Conference Record of the Thirty-Ninth Asilomar Conference on, 2005, pp. 1148 – 1152.*

### **Referencias web.**

- [75] [www.ciencia-tecnología.com](http://www.ciencia-tecnología.com)
- [76] [www.deutschebausaniierung.de](http://www.deutschebausaniierung.de)
- [77] [www.knapen.blogspot.com](http://www.knapen.blogspot.com)
- [78] [www.edilia.com](http://www.edilia.com)
- [79] [www.agisoft.com](http://www.agisoft.com)
- [80] [www.edilibresciani.com](http://www.edilibresciani.com)
- [81] [www.stshumedades.es](http://www.stshumedades.es)
- [82] [www.bruselas.net](http://www.bruselas.net)
- [83] [www.testo.com](http://www.testo.com)
- [84] [www.muroterm.com](http://www.muroterm.com)
- [85] [www.geekytheory.com](http://www.geekytheory.com)
- [86] [www.droningpage.com](http://www.droningpage.com)
- [87] [www.abottravel.com](http://www.abottravel.com)
- [88] [www.usatoday.com](http://www.usatoday.com)
- [89] [www.erlerobotic.com](http://www.erlerobotic.com)

