



UVa

**MÁSTER EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA – UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

PROYECTO FIN DE MÁSTER

**TOMA DE DATOS FOTOGRAMÉTRICOS, RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL, REALIDAD AUMENTADA Y
DIFUSIÓN EN LA RED DE LA IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN.**

MOMBUEY (ZAMORA)



Isabel Luis Rivas

Tutor: Juan José Fernández

Co-tutor: José Martínez Rubio

Septiembre 2013

TOMA DE DATOS FOTOGAMÉTRICOS, RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL, REALIDAD AUMENTADA Y
DIFUSIÓN EN LA RED DE LA IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN.
MOMBUEY (ZAMORA)





RESUMEN

El presente proyecto trata de explicar la reconstrucción virtual del patrimonio cultural mediante la fotogrametría, a través del caso de estudio de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción de Mombuey (Zamora).

Para ello hemos utilizado la técnica de haces convergentes, frente a otro tipo como la estereoscopia, ya que en ésta las condiciones geométricas no son tan restrictivas y únicamente es necesario que exista recubrimiento entre las imágenes para que mediante algoritmos matemáticos implementados en programas especializados, generar el modelo tridimensional 3D, a partir de fotografías 2D.

El trabajo se ha realizado en dos fases: la toma fotográfica y el procesamiento de las imágenes en el laboratorio.

Las imágenes capturadas han sido tanto terrestres como aéreas, estas últimas utilizando un vehículo aéreo no tripulado, UAV.

El modelo de la Iglesia se ha obtenido mediante el software Photoscan, que se basa en algoritmos del tipo Structure From Motion y Multi View Stereo.

Además, hemos realizado una visita virtual a partir de la captura, tanto interior como exterior, de fotografías panorámicas esféricas, junto con la creación de una página web como medio de divulgación de los productos obtenidos.

Se aborda el uso de la nueva tecnología de realidad aumentada como una línea de trabajo futuro.



RECONOCIMIENTOS

Gracias a la ayuda prestada por parte de todas las personas, que directa o indirectamente, han contribuido a la realización de este proyecto. Especialmente a,

- Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica – Universidad de Valladolid. José, David, Luis, Jorge y Paco.
- Manuel Benavides. Párroco de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción de Mombuey.

Y por supuesto,

A mi familia.



INDICE

RESUMEN	3
RECONOCIMIENTOS	4
INDICE.....	5
INDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	11
CONTEXTO GEOGRÁFICO	12
RESEÑA HISTÓRICA.....	13
IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN	14
Descripción.....	14
Planimetría	17
ANTECEDENTES DE HECHO	20
Fotogrametría	20
Divisiones de la fotogrametría	21
METODOLOGÍA.....	24
Reconstrucción virtual de la Iglesia.....	24
Toma fotográfica terrestre.....	24
Toma fotográfica aérea.....	27
Procesamiento de las imágenes.....	35
Visita virtual de la iglesia.....	51
Toma fotográfica panorámica esférica	51
Procesamiento de las imágenes.....	53
Creación de visita virtual.....	58
DIFUSIÓN EN LA RED Y REALIDAD AUMENTADA	62

CONCLUSIONES 68

BIBLIOGRAFÍA 69



INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Imagen de la Torre de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción.	11
Ilustración 2. Ubicación del Municipio de Mombuey	12
Ilustración 3. Muro exterior de la capilla meridional con la inscripción del año de construcción, 1723.....	14
Ilustración 4. Balcón volado.	15
Ilustración 5. Ornamentación del capitel.....	15
Ilustración 6. Detalle del Buey.....	16
Ilustración 7. Virgen románica s. XIII y Cristo crucificado s. XIII-XIV.	16
Ilustración 8. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.	17
Ilustración 9. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.	18
Ilustración 10. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.	19
Ilustración 11. Cámara oscura.....	20
Ilustración 12. Restituidor analógico.....	22
Ilustración 13. Restituidor analítico.	22
Ilustración 14. Restituidor digital.	23
Ilustración 15. Técnica de fotogrametría convergente.....	25
Ilustración 16. Cámara y objetivo utilizados en la toma de fotografías terrestres.....	26
Ilustración 17. Toma de fotografías terrestres, técnica convergente.....	27
Ilustración 18. Zepelín autocontrolado.....	28
Ilustración 19. Multicóptero 'Arturito'.	28
Ilustración 20. Cámara y objetivo para la toma fotográfica aérea multicóptero.....	30
Ilustración 21. Herramienta GeoMap Tool.	31
Ilustración 22. 'Waypoints' del Plan de Vuelo.....	32

Ilustración 23. Estación de tierra.....	32
Ilustración 24. Microdrone modelo md4-1000.....	33
Ilustración 25. Cámara y objetivo utilizado en la toma aérea, microdrone.....	34
Ilustración 26. Toma de fotografías con el multicoptero.....	34
Ilustración 27. Carga de las fotografías en Photoscan.	36
Ilustración 28. Aplicación de máscaras.	37
Ilustración 29. Cuadro de diálogo. Alinear Fotos.	38
Ilustración 30. Alineación de las fotos.	38
Ilustración 31. Orientación y posición de las cámaras.	39
Ilustración 32. Emparejamiento de las imágenes.	40
Ilustración 33. Calibración de cámara.....	41
Ilustración 34. Optimizar.....	41
Ilustración 35. Herramientas 'Redimensionar Región' y 'Rotar Región'.	42
Ilustración 36. Creación de marcadores.....	42
Ilustración 37. GPS Trimble 5800 RTK.....	43
Ilustración 38. Localización puntos de apoyo.....	43
Ilustración 39. Opciones Puntos de Apoyo.....	44
Ilustración 40. Visualización de listados.....	44
Ilustración 41. Listado con los valores de error.	45
Ilustración 42. Errores de alineación.....	46
Ilustración 43. Modelo geométrico a color.....	47
Ilustración 44. Modelo geométrico monocromático.	48
Ilustración 45. Modelo malla de alambre.	48
Ilustración 46. Modelo 3D de la Iglesia texturizado.....	50
Ilustración 47.Ortofoto de la planta de la Iglesia.....	50
Ilustración 48. Instrumentos utilizados para la toma de fotografías panorámicas.	52

Ilustración 49. Captura de toma de fotografías panorámicas en el interior de la Iglesia.	53
Ilustración 50. Fotografía para eliminación de trípode.....	54
Ilustración 51. Creación de rejilla.....	54
Ilustración 52. Herramienta clonar.	55
Ilustración 53. Eliminación del trípode.	55
Ilustración 54. Añadimos imágenes.	56
Ilustración 55. Puntos de control.	57
Ilustración 56. Revisión panorámica esférica.....	57
Ilustración 57. Resultado final panorámica esférica.	58
Ilustración 58. Diseño de Aplicación Tourweaver.	59
Ilustración 59. Visualización de las panorámicas y creación de 'hotspot'.	59
Ilustración 60. Creación de botones y ventanas emergentes.....	60
Ilustración 61. Archivos generados en la carpeta de la visita virtual.....	60
Ilustración 62. Resultado final Visita Virtual.	61
Ilustración 63. Resultado final Visita Virtual - Pantalla completa.	61
Ilustración 64. Ref. García Fernández, J., 2013, 'La cultura digital para la puesta en valor del patrimonio: generación de productos patrimoniales con alcance educativo.' Tesis doctoral pendiente de publicación, Universidad de Valladolid.....	62
Ilustración 65. Sitio web del Proyecto 'Iglesia Nuestra Señora de la Asunción'.	63
Ilustración 66. Información sobre la Localización de la Iglesia.	64
Ilustración 67. Código Qr de la página del proyecto.	64
Ilustración 68. Marca RA.	65
Ilustración 69. Detección de la marca.....	66
Ilustración 70. Visualización del modelo 3D sobre la marca.....	66
Ilustración 71. Visualización del modelo en Viewer.....	67
Ilustración 72. Ejemplos de realidad aumentada.....	67

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se viene comprobando la necesidad de registrar el patrimonio cultural, gráfica y numéricamente, bien para su estudio, rehabilitación o conservación.

Uno de los métodos utilizados para este fin es la fotogrametría, terrestre o aérea, como uno de los procedimientos más adecuados para realizar el inventario de los bienes.

La Fotogrametría se puede definir como “el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas y modelos de energía radiante derivados de sistemas sensores”¹.

Es una técnica inocua, de rápida ejecución y con una gran cantidad de información obtenida en poco tiempo.

Al principio se realizaba en formato analógico, pero en la actualidad se opta por la fotografía digital, ambos soportes pueden coexistir, ya que cuanto más información haya mejor documentación se realizará. Además, estos datos son permanentes, por lo que se generan archivos digitales que registran el estado en el que se encontraba el monumento, en el momento de la toma, para posteriores estudios o análisis.

La técnica fotogramétrica se ha visto mejorada con la introducción de la aplicación de los escáneres láser.

¹ Manual of Photogrammetry, Ed. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

OBJETIVOS

El siguiente trabajo se enmarca dentro del Proyecto Fin de Master en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura.

En el master se nos ha enseñado las posibilidades de las nuevas tecnologías en geomática para el desarrollo de proyectos de ingeniería o arquitectura. En el periodo de clases teóricas, a través de las diferentes materias, hemos aprendido como se realiza la captura de datos, el procesamiento de éstos y su posterior aplicación en el ámbito profesional.

En este trabajo, pondremos en práctica los conocimientos adquiridos, con el objetivo principal de obtener el modelo tridimensional de la Iglesia, para de esta manera conseguir registrar el patrimonio gráficamente.

Para ello, realizaremos la toma fotográfica, combinando la fotogrametría terrestre y aérea, y procesaremos las imágenes, con el software necesario, para generar el modelo 3D.

Además, capturaremos imágenes del interior y el exterior de la Iglesia, para generar fotografías panorámicas esféricas que utilizaremos en la creación de una visita virtual.

Como medio de divulgación de los productos finales realizaremos una página web y se abordará la nueva tecnología de realidad aumentada.

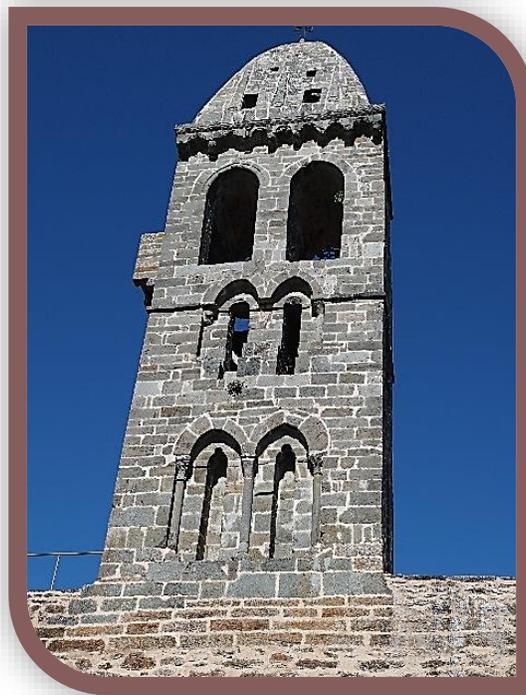


Ilustración 1. Imagen de la Torre de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción.

CONTEXTO GEOGRÁFICO

Mombuey se encuentra localizado en el noroeste de la provincia de Zamora en la comarca de la Carballeda, siendo su núcleo principal. Se sitúa a 83 km de la capital y a unos 20 km al este de Puebla de Sanabria, y junto a unas de las principales vías de comunicación de la región, la nacional N-525 y la autovía de las Rías Bajas que enlaza con Galicia, la A-52.

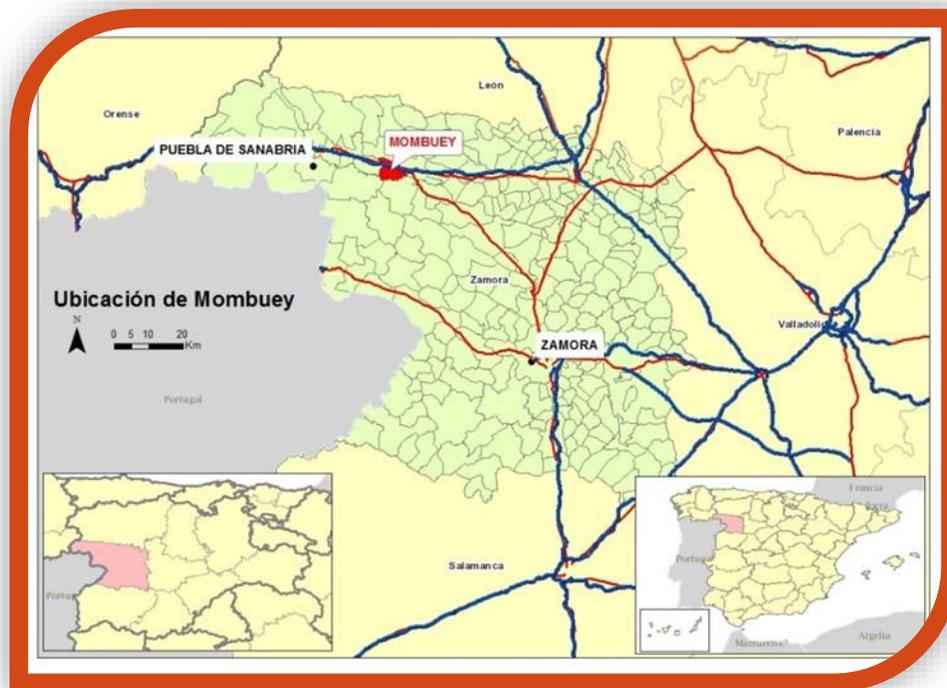


Ilustración 2. Ubicación del Municipio de Mombuey

RESEÑA HISTÓRICA

Existen referencias históricas de la zona, ya en el siglo VI, como límite geográfico de la Diócesis de Braga. A este lugar se le cita como 'Monte Bove' o 'Monte del Buey', este topónimo se debe a una elevación montañosa cercana a la localidad.

El actual Mombuey surgió en los siglos XII-XIII, tras la construcción de la Torre e Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción, por parte de los templarios. Fue ocupado por pobladores de un núcleo vecino llamado San Martín del Yermo, que acudieron a este lugar por el reclamo de la Iglesia, por ser un enclave estratégico de caminos y al ser esta una zona más favorable para el cultivo, por la presencia de fuentes agua.

La Torre funcionaba como atalaya militar, ya que fue erigida a la vera de la cañada real sanabresa, que era paso de ganado trashumante con destino a las montañas de la vecina comarca de Sanabria, y del camino sur de Santiago de Compostela.

Los templarios eran una orden monástico-militar, nacida en el siglo XI para dar albergue y protección a los peregrinos que acudían a Tierra Santa, frente a los ataques de los árabes. Se trasladaron a la península, tras la derrota en las Cruzadas, y se localizaron en la villa para seguir con su misión en defensa de los peregrinos.

Una vez desaparecida la orden del Temple en el siglo XIV, la villa fue incorporada a realengo, siendo concedida en 1371, por Enrique II, a Gómez Pérez de Valderrábano linaje del Señorío de Alcañices. En el siglo posterior, pasa a la familia Losada y a los Marqueses de Biance, tiempo en que es cabeza de partido, circunscripción que incluía una gran parte de la comarca de Carballeda.

En tiempos de Carlos III se otorgó a la villa, por privilegio del Consejo de Castilla, la celebración de un mercado semanal, lo que hizo de Mombuey el núcleo más importante de la comarca.

Actualmente, ya no se celebra el concurrido mercado, pero continúa la feria de San Martino. Tiene lugar a principios de noviembre y congrega, anualmente, a los vecinos de los municipios cercanos, que van a comprar y vender los productos de la tierra, principalmente ajos, guindillas y pimientos.

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN

Descripción

La Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción o de Santa María, como también se la conoce, está levantada en mampostería, presenta planta de cruz latina debido a las reformas que sufrió durante los siglos XVIII y XIX, aunque mantiene parte de los restos románicos en la zona de los pies, como la portada de arco apuntado y doblado sobre jambas escalonadas.

El arco de la capilla mayor se data en 1700 y la capilla meridional en 1723. A principios del siglo XIX se abre una ventana en el muro meridional de la cabecera y a finales, en 1891, se construye el pórtico abierto, que protege la portada de la Iglesia.

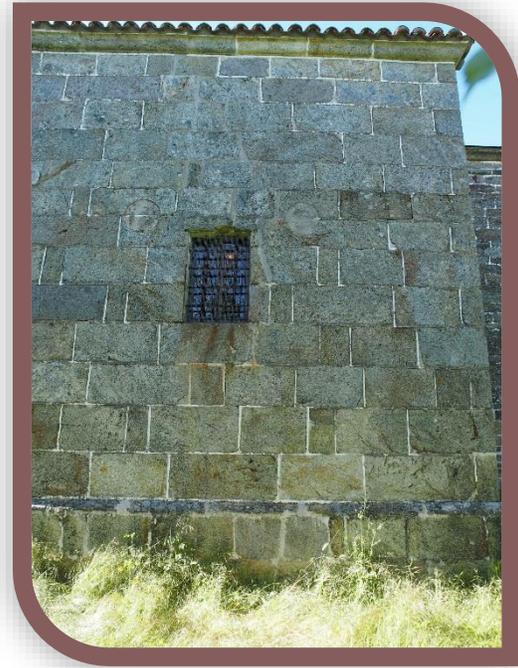


Ilustración 3. Muro exterior de la capilla meridional con la inscripción del año de construcción, 1723.

Es sin embargo la torre del siglo XIII, la que caracteriza al edificio, al constituir uno de los ejemplos más representativos del estilo románico tardío, de transición al gótico, como lo indican sus arcos ojivales, única en su género lo que dificulta su exacta caracterización.

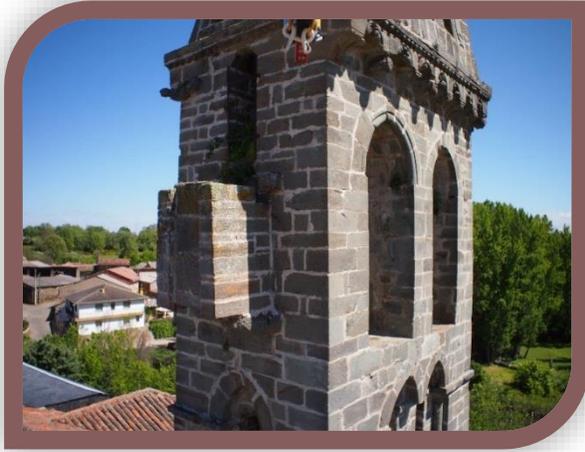
Es de planta cuadrada y estrecha (4 x 2,5 m.), está construida en sillería de piedra arenisca de tonalidad gris-verdosa, extraída de una cantera cercana sita en el lugar llamado Valdarmeño.

Actualmente, se accede a la torre por una escalera añadida de piedra, antiguamente se utilizaba una escalera de mano.

Está dividida en cuatro niveles, el inferior o zócalo ubicado en el hastial, sobre él se alzan los otros tres, acabados por un remate a modo de capitel con cuatro planos curvos que conceden a la torre templaria su elegancia y singularidad.

En cada uno de los pisos se abren unos vanos, siempre parejas en los frentes anchos y simples en los estrechos, están guarnecidos por arcos apuntados sobre esbeltas columnillas con capiteles adornados con hojas. Están comunicados interiormente por una escalera de madera, antiguamente

de piedra, hasta el tercero, en el que dos amplios arcos agudos lo taladran a lo ancho dejando cabida a las campanas.



El capitel cierra la construcción, se accede a él a través de un balcón volado de piedra, ubicado en el tercer piso, que permite el acceso a la estancia abovedada y servía de matacán para defensa de la entrada.

Ilustración 4. Balcón volado.

La ornamentación ofrece un especial interés. En el capitel y sobre cada frente se repite un adorno en bajorrelieve, imitando un lienzo plegado, de significado desconocido, que se repiten en los pliegues del manto de la Virgen románica y del Cristo crucificado.

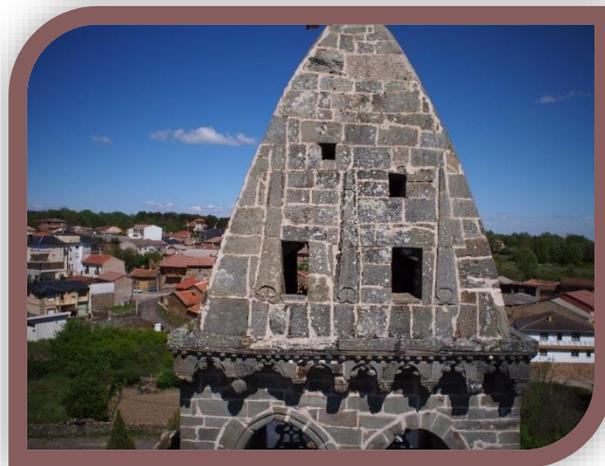


Ilustración 5. Ornamentación del capitel.

Rodeando toda la base de éste, arranca una cornisa adornada de bolas, que se repite en varias iglesias de la zona como Sejas de Sanabria. También pueden observarse flores, hojas y motivos antropomorfos. Destaca el busto de un buey, que hace alusión al topónimo originario del nombre del pueblo: Monte del Buey.



La Torre fue declarada Monumento Nacional por decreto del 3 de Junio de 1931 y la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción el 22 de Diciembre de 2011.

Ilustración 6. Detalle del Buey.

La Virgen románica, es una imagen en piedra policromada del siglo XIII. Fue descubierta en 1987 sobre el dintel de una ventana, abierta en el muro oriental, y detrás de un retablo barroco, y sobre dos ángeles policromados, de la misma época. La Virgen aparece con el Niño sobre su rodilla izquierda, y sobre la mano derecha una manzana, representando a la Virgen como Madre de la Vida. En la túnica se puede observar el mismo motivo ornamental del capitel de la torre.

De época más tardía, se conserva una imagen de Cristo crucificado, una talla románica de manera que se data entre los siglos XIII y XIV.

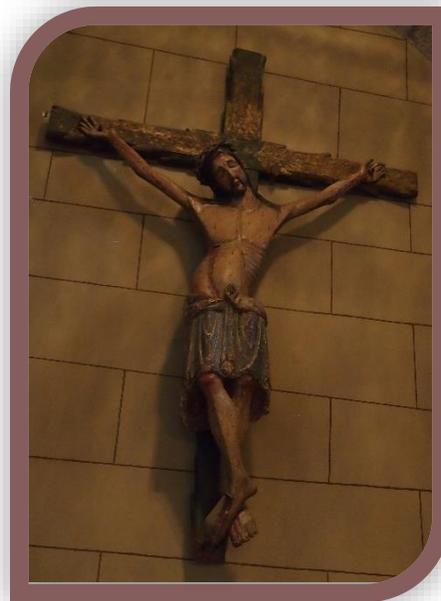


Ilustración 7. Virgen románica s. XIII y Cristo crucificado s. XIII-XIV.

Planimetría

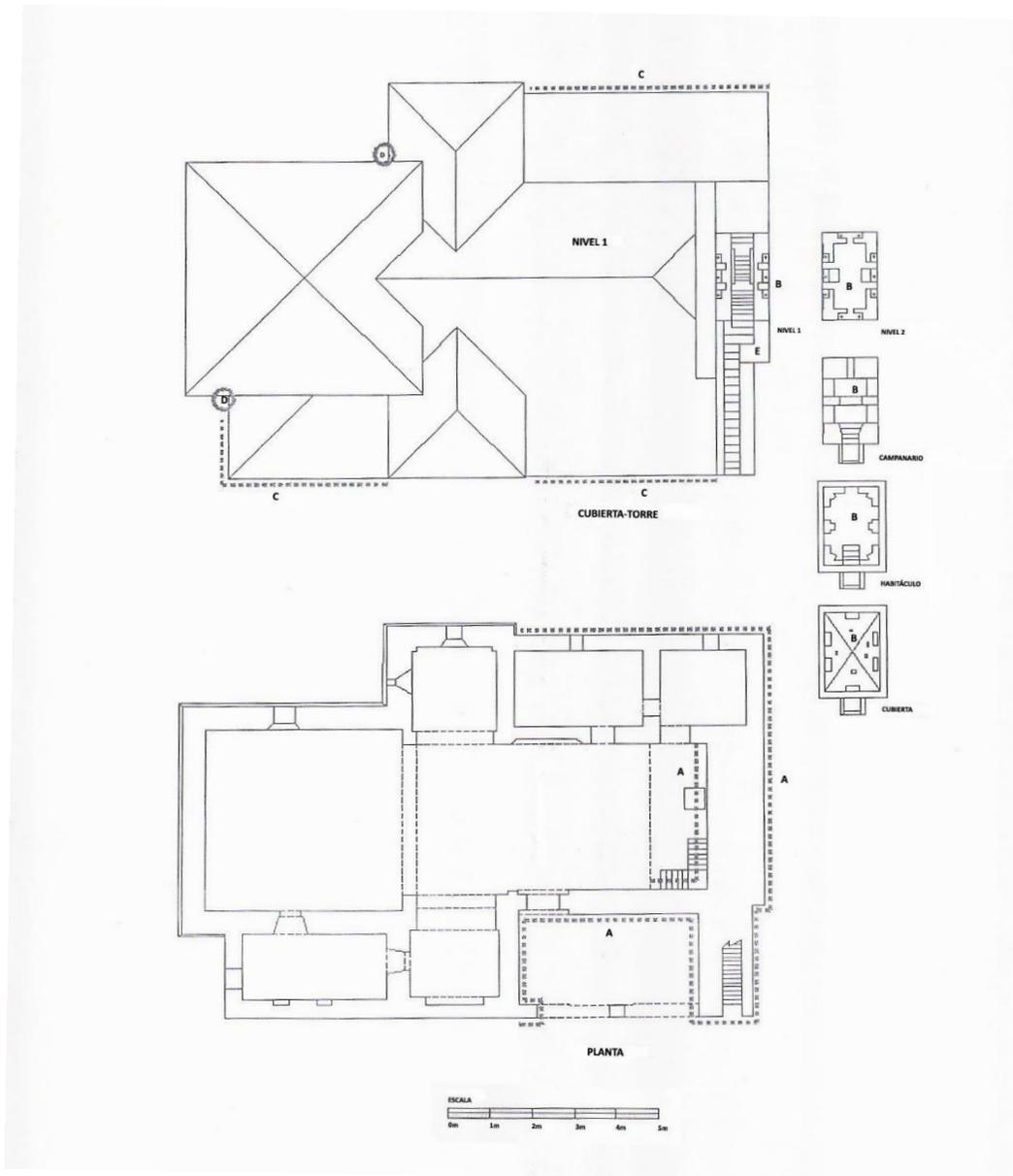


Ilustración 8. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.

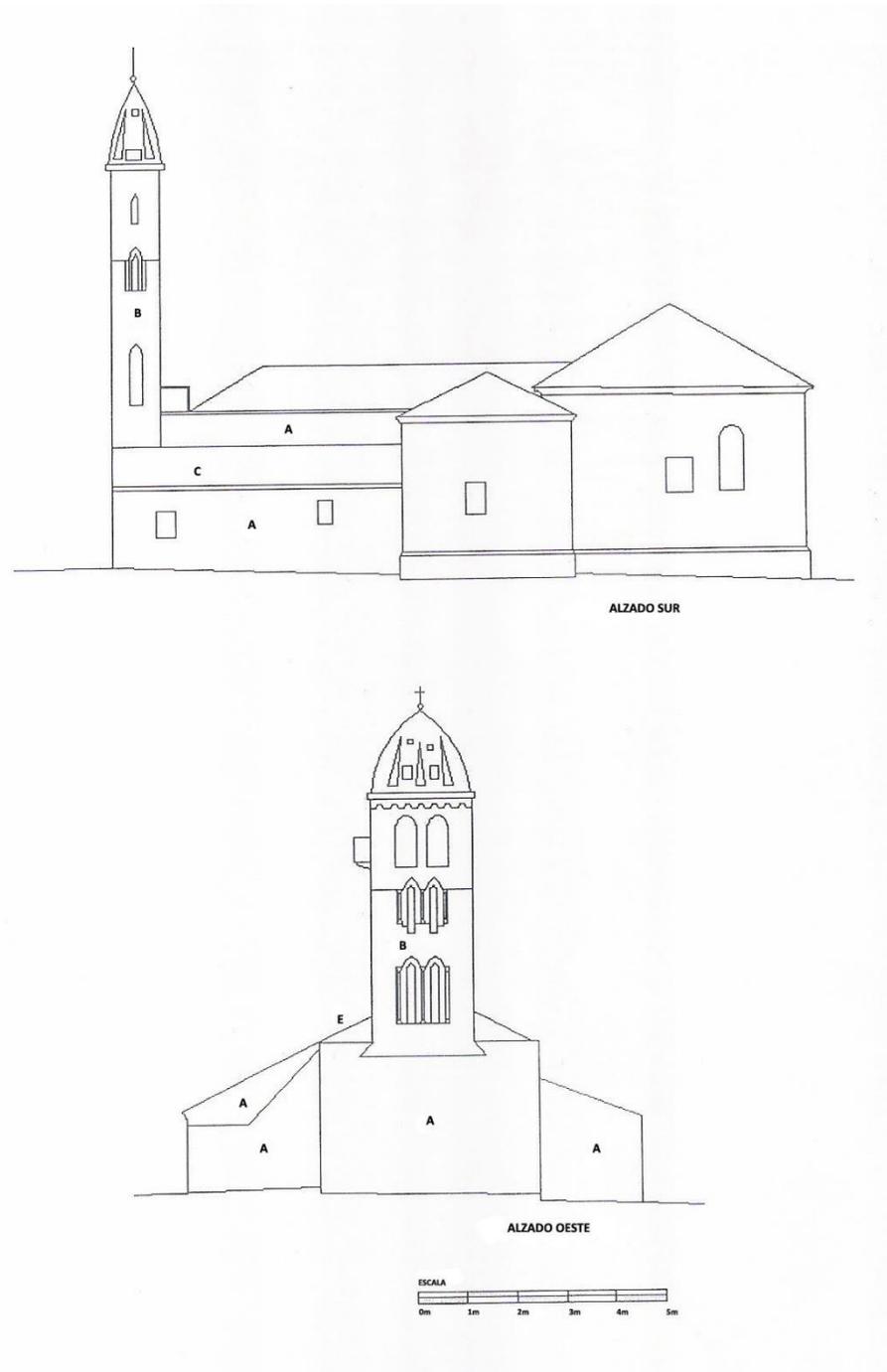


Ilustración 9. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.



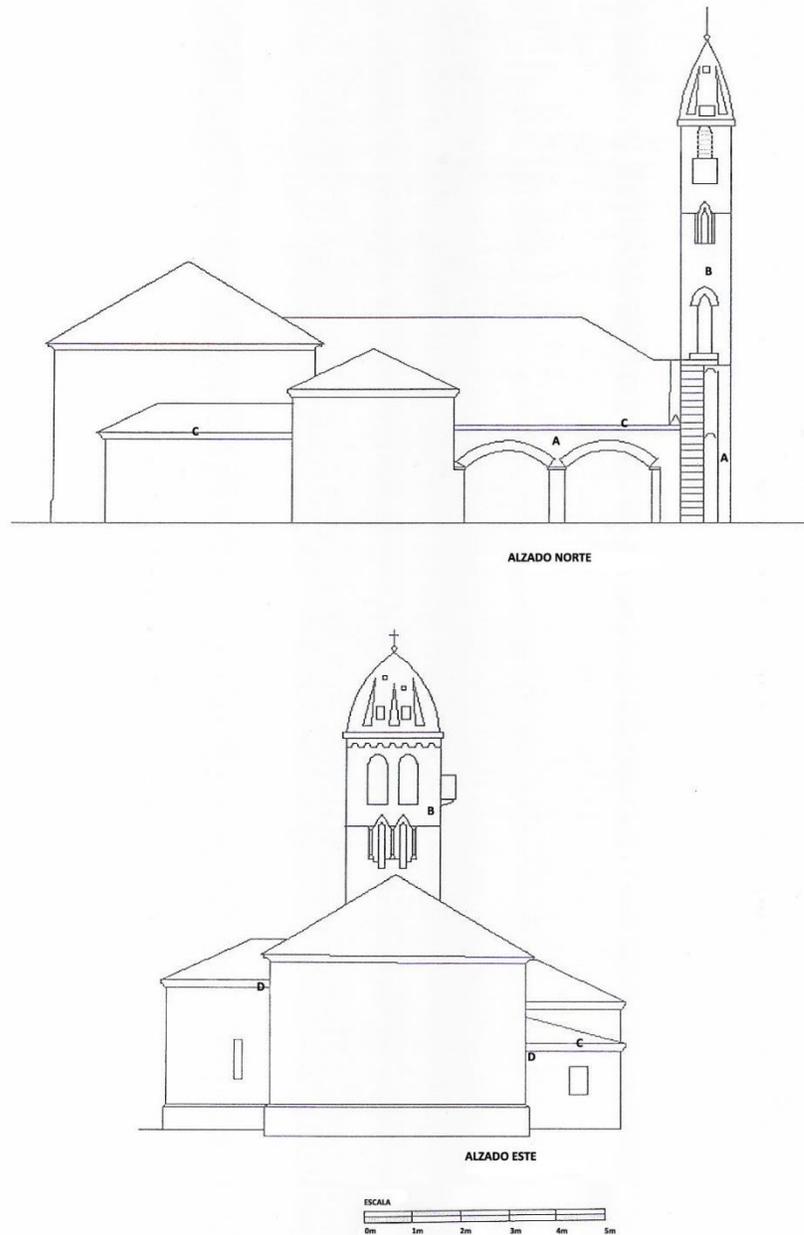


Ilustración 10. Planimetría de la Iglesia. Ref. 'Memoria valorada de Reparaciones en la Iglesia de Santa María. Mombuey (Zamora)'.



ANTECEDENTES DE HECHO

Fotogrametría

La fotogrametría es la disciplina resultado de la combinación de la óptica, la fotografía y las matemáticas, surge como ciencia en 1840. Se ocupa de la obtención de información métrica a partir de imágenes fotográficas. Ésta ciencia se basa en la relación geométrica que se verifica entre los puntos del objeto (3D), los puntos del objeto (2D) y el punto de vista (objetivo de la cámara).

La aparición de la cámara oscura constituyó la base de la cámara fotográfica. Se trata de una caja cerrada oscura, con un pequeño orificio por el que entra una pequeña cantidad de luz que proyecta, en la pared opuesta, la imagen invertida de la escena exterior.

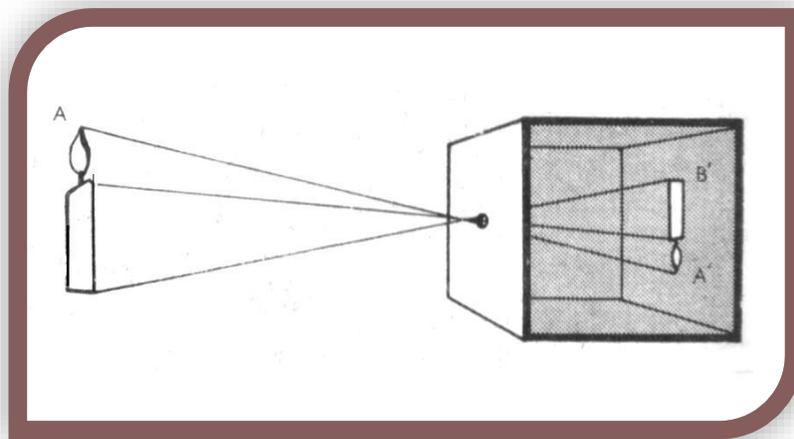


Ilustración 11. Cámara oscura.

En la cámara fotográfica una lente permite concentrar mucha más luz que en la cámara oscura, esta luz queda grabada en una película fotosensible, ubicada en la pared opuesta.

El avance de la fotogrametría va ligado a los adelantos que se producen en la ciencia. El inicio empieza con el descubrimiento de la fotografía en 1839 por parte de Arago. Posteriormente, el en 1849 el ingeniero francés Aimeé Laussedat, considerado el fundador de la fotogrametría terrestre, utiliza la fotografía para obtener planos topográficos, diseña y hace construir el primer fototeodolito.

En 1859 el arquitecto alemán Meydenbauer utiliza intersecciones a partir de fotografías para el levantamiento de edificios, a esta técnica la denominó fotogrametría.

El empleo de la fotogrametría en la producción de bases cartográficas introdujo la utilización de imágenes aéreas, surgiendo una nueva forma de toma: las aeronaves, éste desarrollo tuvo lugar en las primeras décadas del siglo XX.

La fotogrametría aérea es más compleja que la terrestre, ya que se desconoce la orientación y la posición de la cámara en el momento de la captura. El primero en abordar este problema fue Von Gruber en 1924, surgiendo la fotogrametría analógica.

Durante el periodo de las dos guerras mundiales, se produjo un gran avance en el desarrollo de instrumentos y métodos de trabajo fotogramétricos, consolidándola como la técnica para la obtención de cartografía. La fotografía aérea empezó a desplazar a la terrestre e impulsó la automatización de los trabajos.

A partir de 1960, con el desarrollo de los ordenadores, la disciplina sufrió un gran impulso. Es el inicio de la fotogrametría analítica, apareciendo el restituidor analítico.

En los años 90, aparecen los primeros restituidores digitales, como consecuencia de los avances en la informática; desarrollo de ordenadores más potentes, mayor capacidad de almacenamiento y nuevas técnicas de procesamiento de las imágenes digitales.

La fotogrametría presenta grandes ventajas frente a las técnicas tradicionales de levantamiento. El tiempo de trabajo de campo es reducido, se obtienen grandes mediciones de forma indirecta y las facilidades en la ejecución del proceso de toma. Además, las fotografías permiten obtener planos precisos y aportan información visual de todo el conjunto.

Divisiones de la fotogrametría

Se divide en tres, dependiendo del tipo de fotografía usada:

Fotogrametría terrestre: La fotografía es tomada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica está en horizontal y paralelo al terreno. Actualmente, es la técnica más utilizada en disciplinas como la arquitectura y la arqueología.

Fotogrametría aérea: Fotografías obtenidas desde vehículos aéreos; el eje óptico de la cámara fotográfica está, casi siempre, perpendicular al terreno. Es la modalidad que más se utiliza para la

creación de cartografía. En los últimos años, la fotografía aérea de pequeño formato está cobrando importancia, debido a sus ventajas de accesibilidad.

Fotogrametría espacial: utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites.

Dependiendo del método empleado se distinguen tres tipos de fotogrametría:

Fotogrametría analógica: utiliza un restituidor de tipo óptico o mecánico, la orientación interior y exterior se realiza de forma manual, para crear el modelo estereoscópico.



Ilustración 12. Restituidor analógico.



Ilustración 13. Restituidor analítico.

Fotogrametría analítica: se combina la utilización de restituidores analógicos con computadoras. Las mediciones y la toma de información se realizan manualmente, pero a través de procesos matemáticos se calcula la orientación interior y exterior de forma analítica y se procesa el levantamiento del modelo a partir de programas informáticos.



Ilustración 14. Restituidor digital.

Fotogrametría digital: todo el proceso se realiza de manera automática a través del escaneado de fotografías analógicas para su posterior uso en formato digital, o ya directamente tomadas con cámaras digitales. Estos datos son procesados en los ordenadores a partir de programas especializados que calculan, a partir de algoritmos matemáticos, los datos de orientación y generan modelos digitales del terreno 3D, ortoimágenes, etc.

METODOLOGÍA

Reconstrucción virtual de la Iglesia.

La fotogrametría es una técnica de medición indirecta, ya que las mediciones no se realizan sobre el objeto, sino sobre las imágenes realizadas del mismo. Con la aparición de la fotogrametría digital, se ha pasado de utilizar la estereoscopía a la fotogrametría convergente. Esto ha sido posible por la creación de algoritmos que resuelven las condiciones de colinealidad y coplanaridad que se producen en la toma fotográfica y por las nuevas técnicas de correlación de imágenes que permiten la identificación de puntos homólogos de forma automática.

Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo es la reconstrucción virtual de la iglesia a partir de un modelo en tres dimensiones. Los modelos 3D, son cada vez más demandados en la documentación del patrimonio cultural, permiten el análisis de formas y dimensiones, y la reconstrucción de escenarios a través del tiempo. Actualmente, gracias a los avances tecnológicos, se obtienen modelos foto realísticos de gran calidad, a partir de soluciones basadas en escáner láser y cámaras de alta resolución.

Nuestro trabajo se basará en la fotogrametría, tanto terrestre como aérea, para realizar el levantamiento de la iglesia y utilizaremos la técnica de haces convergentes para la toma de imágenes.

Toma fotográfica terrestre

Utilizaremos la fotogrametría convergente para realizar la reconstrucción de la Iglesia. Esta técnica es una de las más adecuadas para acometer la documentación, restauración y rehabilitación del patrimonio, porque con pocos medios se podrán obtener modelos tridimensionales de gran precisión. Se pueden utilizar cámaras ópticas o digitales, no se requiere un restituidor, únicamente un ordenador con características medias y el software correspondiente. La toma de fotografías es muy flexible, sin apenas planificación previa, lo que le hace ser un método fácil y rápido.

La introducción de procesos informáticos en la rectificación por medio de filtros o reconocimiento de contornos, ha facilitado el trabajo, haciendo que el tiempo de computación sustituya al proceso analítico, por lo que ya no es tan necesario una toma de datos exacta.

Para realizar la toma de fotografías convergentes, determinaremos la distancia al objeto, en función del tamaño del pixel que deseemos obtener, a veces por la ubicación del bien tendremos limitaciones de espacio. Además, nos desplazaremos perpendicularmente al objeto, procurando que entre toma y toma exista recubrimiento de al menos el 60%.

A continuación, realizaremos las fotografías a todas las fachadas de la Iglesia de manera que exista recubrimiento total, tal como se muestra en la ilustración 15.

Para la realización de las tomas tendremos que seguir unas recomendaciones:

- Deberá de aparecer la misma parte de la fachada en al menos dos fotografías, aunque se recomienda en tres o más.
- Cada toma se realizará a una distancia de 1 metro, intentando mantener la misma en todo el recorrido fotográfico.
- No deberemos de realizar dos fotografías desde la misma posición, para evitar aberraciones en el modelo.
- Evitaremos la existencia de ocultamientos, por lo que es preferible realizar más fotografías de las necesarias.

FOTOGRAMETRÍA CONVERGENTE

Vistas en planta

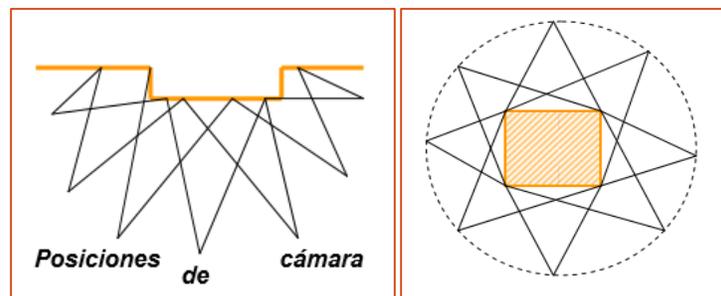


Ilustración 15. Técnica de fotogrametría convergente.

Instrumentos utilizados para las fotografías terrestres:

- Cámara Olympus EPL-3 Pen Lite.
- Objetivo Zuiko 12-50 mm, 1:3.5 – 6.3 mm. Modo gran angular.



Ilustración 16. Cámara y objetivo utilizados en la toma de fotografías terrestres.

Parámetros de uso:

- Modo A: Prioridad de Diafragma
- Diafragma/Apertura 7.1
- Tiempo de exposición
 - Exterior 1:160
- Enfoque: Autofocus
- Distancia focal: 12 mm
- Estabilización de imagen apagada

Existen varios programas, tanto comerciales como de código abierto, capaces de realizar la reconstrucción virtual y generar el modelo 3D, nosotros trabajaremos con Photoscan, de la compañía rusa Agisoft.



Ilustración 17. Toma de fotografías terrestres, técnica convergente.

Toma fotográfica aérea

La fotogrametría aérea es aquella que utiliza fotografías tomadas desde una cámara aerotransportada, pero este tipo de vuelos no son válidos para el levantamiento arquitectónico, ya que se producen a una gran altitud y con rangos de escalas fuera de los parámetros necesarios, más dirigidos a la producción de cartografía.





Ilustración 18. Zepelín autocontrolado.

Estas limitaciones se solventaron con la inclusión de nuevos aparatos de vuelo más pequeños, para la toma de fotografías cercanas a los edificios, como zepelines. Pero tenían limitaciones, tales como las condiciones climatológicas, y la correcta localización de la toma de las fotografías resultaba prácticamente imposible.

Posteriormente, se utilizaron los aviones de radiocontrol con cámaras fotográficas, mejoraban el rendimiento de los anteriores, pero el gran avance en fotogrametría aérea cercana serían los helicópteros. Éstos eran capaces de levantar una carga de hasta 5 kilogramos, y mantener una posición aérea fija desde la que realizar las fotografías. Los principales problemas que presentaba eran: el manejo del helicóptero era complicado, producían vibraciones provocadas por los rotores y se necesitan dos personas para realizar el vuelo, una controlando el helicóptero y otra la cámara.

La toma de fotografías desde un UAV de radiocontrol, nos ofrece mayores posibilidades en la toma de datos. Mediante un vehículo aéreo no tripulado, podremos realizar fotografías cercanas a los monumentos que nos darán como resultado, modelos tridimensionales completos y a color del edificio objeto del levantamiento.



Ilustración 19. Multicóptero 'Arturito'.

Plan de vuelo

Para la toma de las fotografías aéreas verticales de la Iglesia utilizamos el helicóptero radiocontrolado, 'Arturito' del Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la Universidad de Valladolid.

Características:

Es un Multicóptero de 8 hélices, octokoptero, de la marca alemana Mikrokopter. 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: 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.

Componentes principales:

- 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.



Ilustración 20. Cámara y objetivo para la toma fotográfica aérea multicoptero.

El vuelo se puede realizar de forma automática o manual, mediante un mando de radiocontrol. Hemos de tener en cuenta las condiciones meteorológicas del día de vuelo, ya que con velocidades de viento superiores a 6m/seg no se podrá realizar.

Para la manera automática, deberemos de crear un vuelo programado mediante el programa Mktools, software propio de la compañía del helicóptero.

Los pasos a seguir son:

- Localización de la zona de vuelo: deberemos de utilizar una fotografía calibrada de satélite, con coordenadas geográficas. Con la herramienta GeoMap Tool, accesible desde internet, podemos generar una fotografía aérea georreferenciada del área a volar y exportarla a nuestro ordenador.

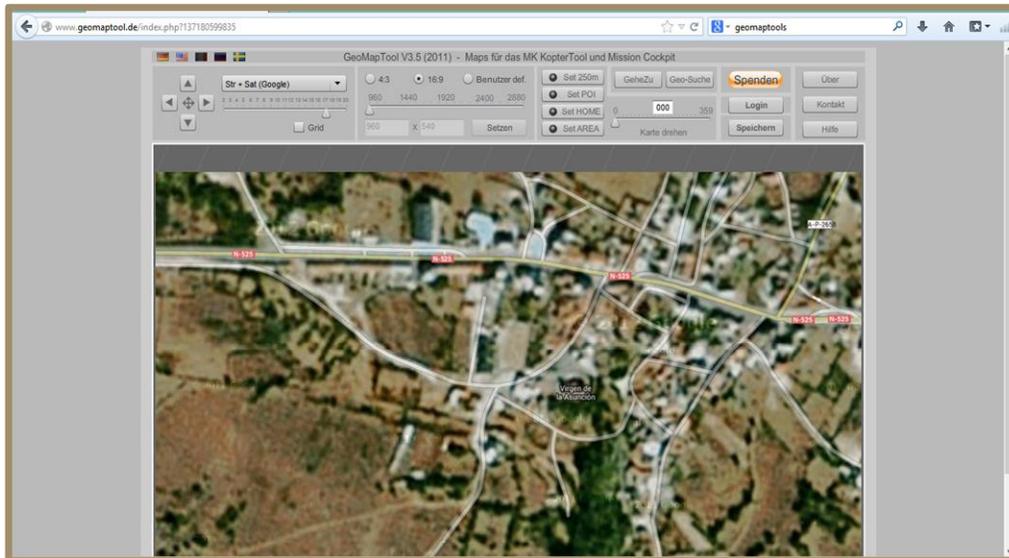


Ilustración 21. Herramienta GeoMap Tool.

- Importar la imagen en el gestor de Planes de Vuelo de la herramienta Mktools, en la sección de vuelo Gps.
- Generar los Puntos de Control, marcaremos los puntos sobre los que queremos que se realice el vuelo, de manera manual pinchando sobre la fotografía aérea y dándole opciones de altura velocidad y tiempo de vuelo, y seleccionando la acción que queremos que realice en cada uno de los puntos de control: fotografía vertical, fotografía orientada, panorámica,... En modo automático, mediante un gestor de 'Waypoints', estos puntos podrán ser modificados en la lista de control.
- Enviar los puntos de control al helicóptero. Se realizará a través de las conexiones disponibles, Wi232, bluetooth o el puerto USB. Los puntos se guardan en la memoria del aparato hasta que se eliminen o sobrescriban. No se podrá guardar más de un plan de vuelo cada vez, pero si se pueden guardar para posteriores usos, en el apartado de gestión de planes de vuelo del programa.

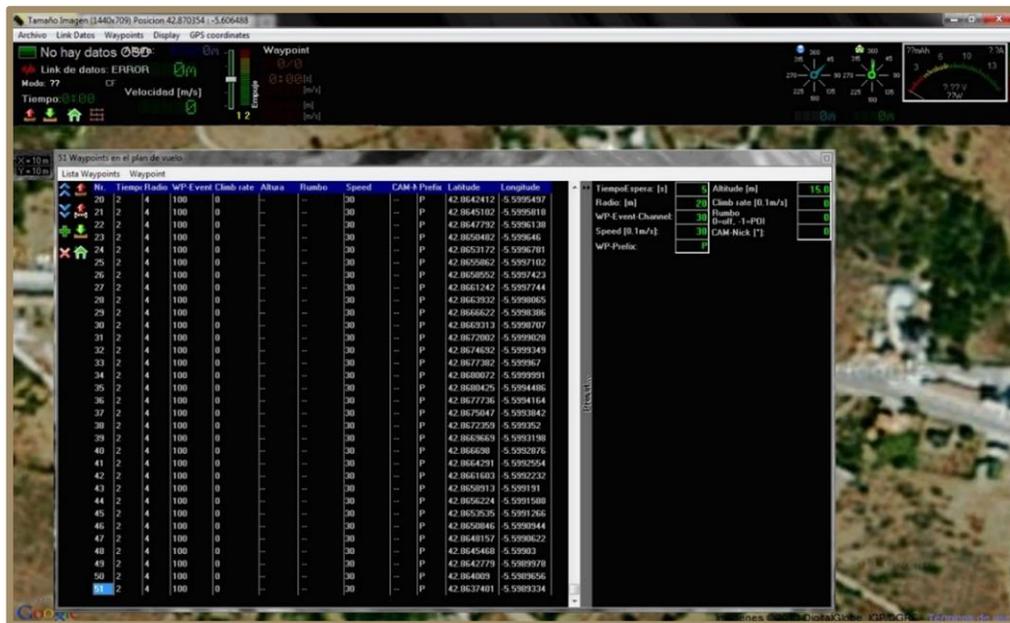


Ilustración 22. 'Waypoints' del Plan de Vuelo.

En nuestro caso, el vuelo se realizó de manera manual, realizando toma vertical de la cubierta de la Iglesia e imágenes cercanas a la torre. Antes de comenzar, deberemos de tener cerca varias baterías, ya que duran una media de 8 – 10 minutos, y es necesario volver a tierra para cambiarlas.



Ilustración 23. Estación de tierra.

Para realizar el vuelo es necesaria la presencia de dos personas, una controlando el helicóptero 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.

Fue necesario un segundo vuelo, ya que antes de finalizar toda la toma de fotografías el helicóptero se quedó sin batería y cayó al suelo.

Utilizamos un drone, modelo md4-1000 del Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica, de la compañía microdrones de forma manual por lo que no tuvimos que programar el vuelo.



Ilustración 24. Microdrone modelo md4-1000

Es un vehículo aéreo no tripulado, con una plataforma de vuelo radio-controlada a la que se le pueden incorporar como carga útil diferentes tipos de sensores ópticos: cámaras de vídeo, cámaras fotográficas de espectro visible, infrarrojo, etc., e incluso otro tipo de sensores.

Realiza vuelos totalmente automáticos programados, controlados de modo remoto y de forma manual.

Especificaciones técnicas:

- Velocidad de ascenso 7.5 m/s
- Velocidad de crucero 15 m/s
- Empuje vertical máx. 118 N
- Peso del vehículo 2650 g.
- Peso carga recomendada 800 g.
- Peso carga máx. 1200 g.
- Peso de despegue máx. 5550 g.
- Dimensiones:
 - o Entre ejes rotores 1030 mm
 - o Entre puntas palas 1730 mm
 - o Altura 495 mm
- Tiempo de vuelo (según carga) Hasta 70 min.
- Baterías 22.2 V, LiPo: 12.2/18.3 Ah.

Condiciones de funcionamiento (recomendadas):

- Temperatura 0 – 40 °C
- Humedad máx. 80 %
- Viento (toma de imágenes) 6 m/s
- Radio de vuelo (en vuelo RC) 1000 m
- Radio de vuelo (vuelo programado) >1000 m

- Techo de altitud >1000 m
- Altitud de despegue máx. 4000 m

La cámara utilizada en este vuelo fue una Olympus E-PM1 con un objetivo M-Zuiko 12 mm f 2.0, el número de imágenes producidas fueron 43 con una altura de vuelo de 35 metros.



Ilustración 25. Cámara y objetivo utilizado en la toma aérea, microdrone.

La obtención del modelo tridimensional se realizará con el programa Agisoft Photoscan, a partir de las fotografías tomadas, tanto terrestres como aéreas de la Iglesia.

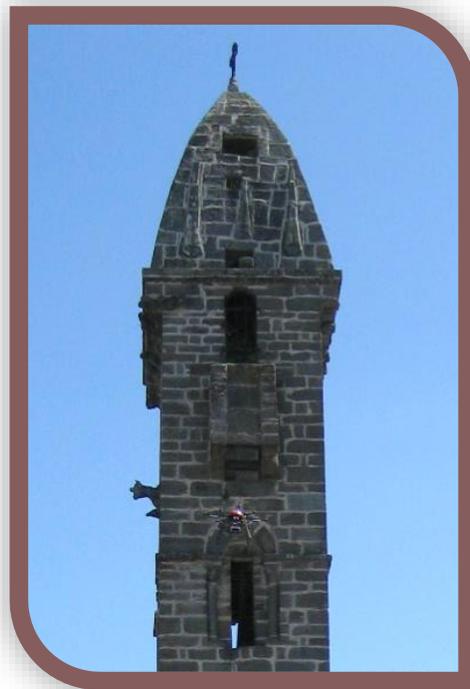


Ilustración 26. Toma de fotografías con el multicoptero.

Procesamiento de las imágenes

Photoscan 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 reconstruir 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.
- 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'.
- Reconstruye la superficie a través de dos posibles procesamientos:
 - o Método suave y lento que genera mapas de profundidad para generar la malla del objeto.
 - o 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 un trozo de la imagen, creando así un atlas de textura.

Todo el proceso que realiza Photoscan está automatizado.

El procesado de las imágenes se realiza de la siguiente manera, los pasos son:

- Importar las fotografías

Cargaremos todas las imágenes que nos ofrezcan un recubrimiento completo de la Iglesia, éstas 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:

- Toma fotográfica exterior
- Toma fotográfica aérea multicóptero
- Toma fotográfica aérea microdrone

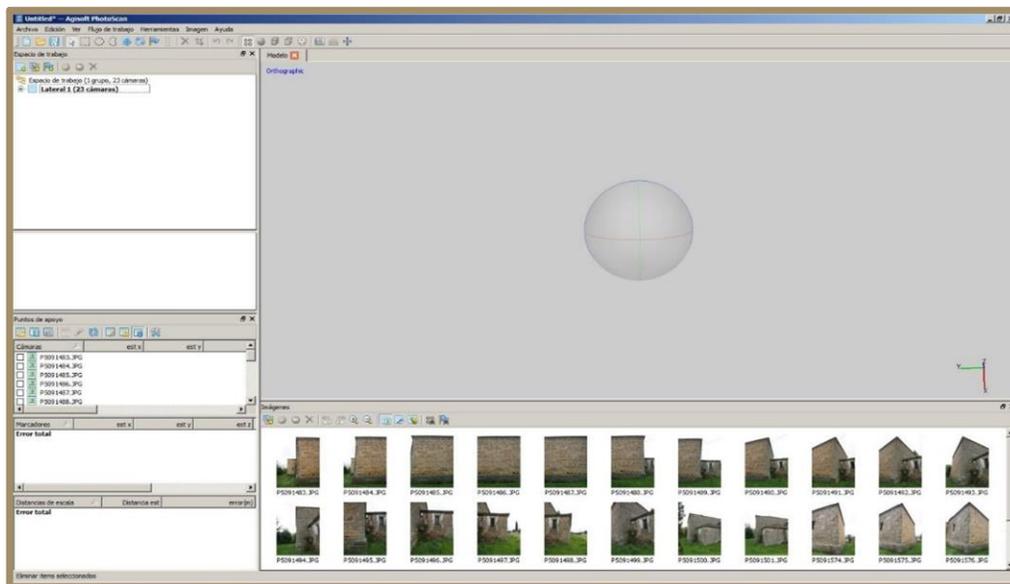


Ilustración 27. Carga de las fotografías en Photoscan.

- Filtrado de las imágenes

Aplicaremos máscaras a las fotografías para prescindir de áreas, que no sean de interés y que pueden confundir al programa o dar resultados incorrectos. Esto reducirá el tiempo de ejecución del proceso de alineación.



Ilustración 28. Aplicación de máscaras.

- Alineación de las fotografías

Para realizar la alineación deberemos de seleccionar la opción 'Orientar Fotos' del menú 'Flujo de trabajo'.

El software identifica puntos característicos comunes ('Matching') en varias imágenes, por defecto 40.000 y los empareja. Podemos aumentar los puntos de búsqueda por foto en el menú → 'Herramientas' → 'Preferencias'.

Se produce una calibración de las fotografías obteniendo la posición y orientación relativa de las mismas. Si no queremos que nos haga la calibración y que nos mantenga los valores iniciales podemos ir al menú → 'Herramientas' → 'Calibración de cámara' y marcar la opción 'Fijar Calibración'.

En el proceso de alineación el programa utiliza varios algoritmos que detectan los puntos y obtiene la orientación y posición de las imágenes.

En este paso hay que tener cuidado ya que al realizar el proceso con gran variedad de imágenes y con diferentes focales, el software nos puede devolver resultados de alineación erróneos.

En el cuadro de diálogo, podemos elegir entre varias opciones:

- Nivel de Precisión:

Alta: < 200 imágenes

Media: > 200 imágenes

Baja: Alto número de fotos

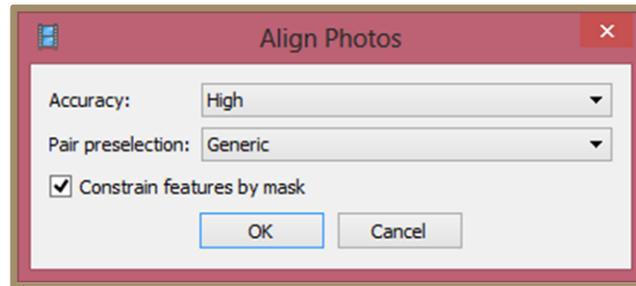


Ilustración 29. Cuadro de diálogo. Alinear Fotos.

- Preselección de emparejamiento de imágenes:

< 50 imágenes

○ Desactivado

> 50 imágenes

○ Genérico: hace una copia de las imágenes en pequeño y hace el efecto masivo.

○ Puntos de apoyo: selecciona las coordenadas de cámara.

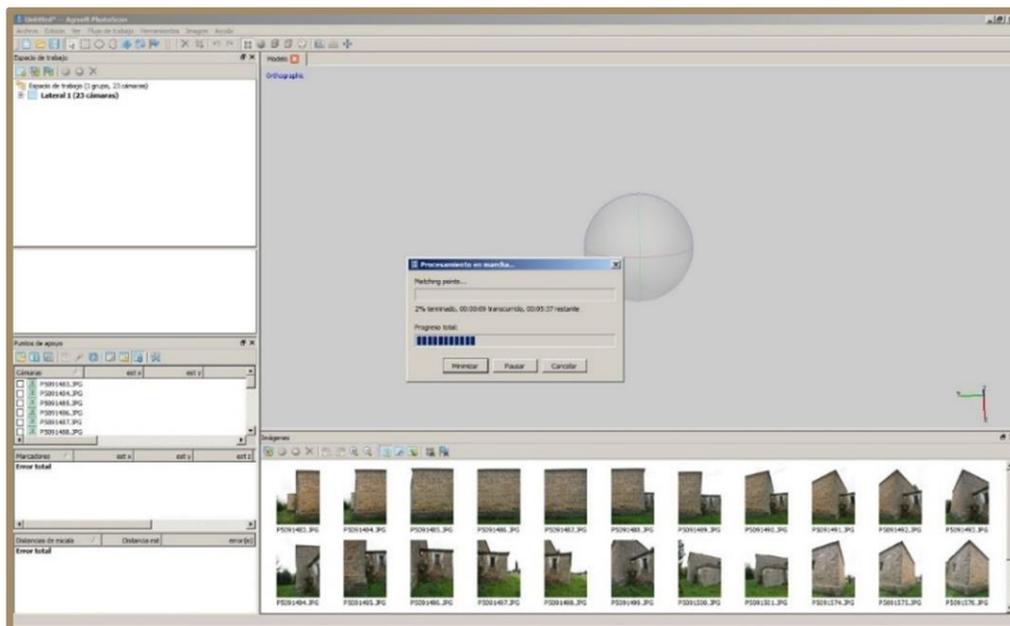


Ilustración 30. Alineación de las fotos.

Una vez realizado el proceso se puede ver la nube de puntos 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.

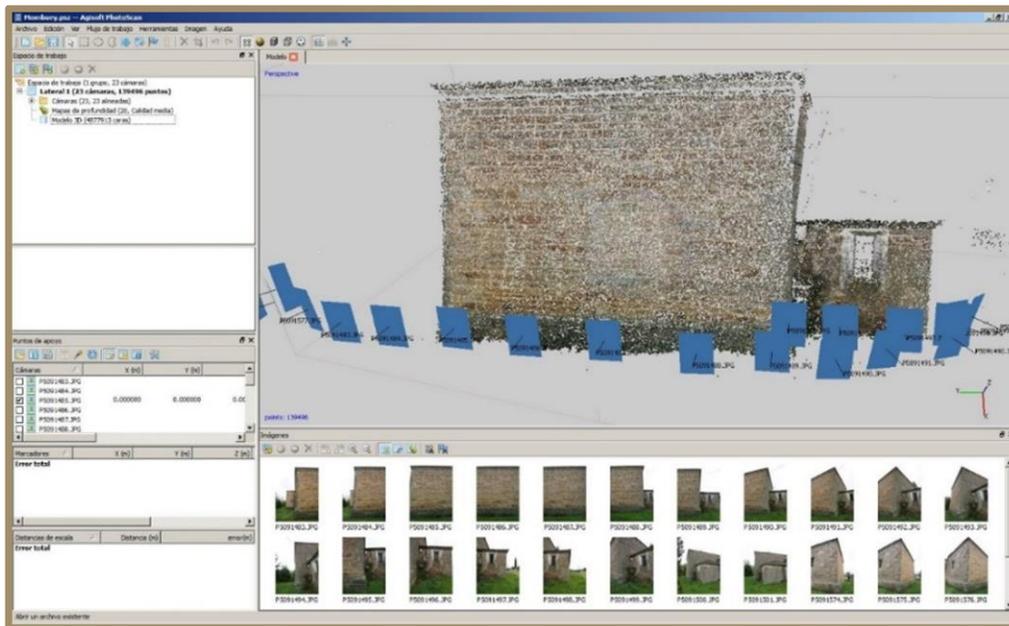


Ilustración 31. Orientación y posición de las cámaras.

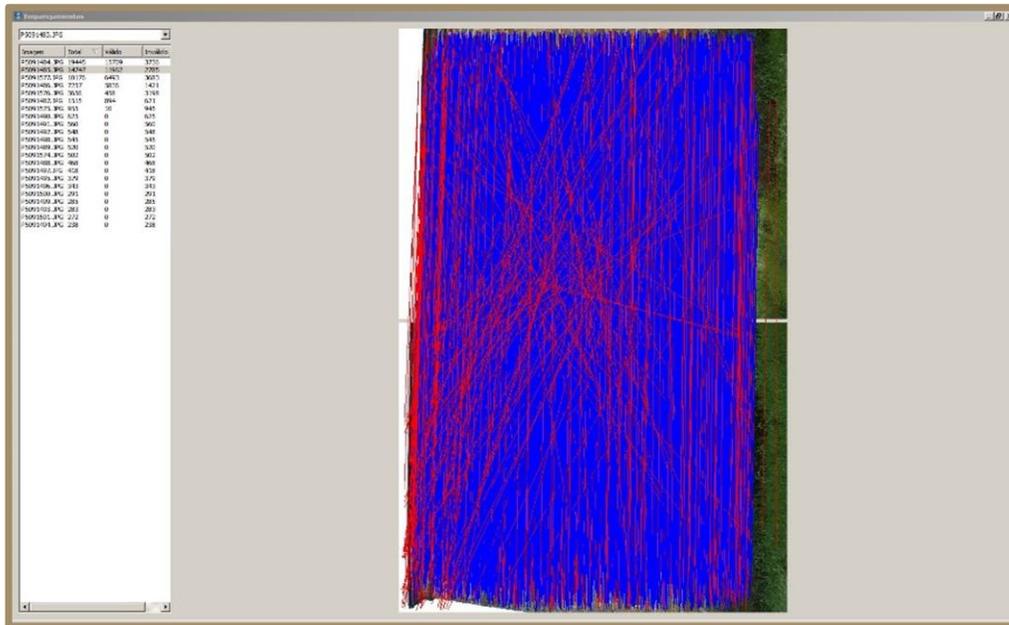


Ilustración 32. Emparejamiento de las imágenes.

- Calibración de la cámara

Según el manual del programa, los datos se extraen de los ficheros EXIF, por lo que no sería necesario realizar ningún proceso de calibración.

Se podría realizar la calibración de la cámara con aplicaciones que existen en el mercado como Agisoft Lens o Photomodeler e importar en Photoscan los resultados obtenidos.

También, si se conocen los datos de calibración, pueden ser introducidos manualmente. Los parámetros que se permiten modificar son:

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.

Para visualizar los datos EXIF hay que ir a: 'Herramientas' → 'Mostrar datos EXIF' y para los datos de calibración: 'Herramientas' → 'Calibración de Cámara'.

Por defecto todas las fotografías, en los datos de calibración de la cámara, aparecen agrupadas, deberemos dividir las. Para ello con el botón derecho del ratón seleccionaremos la opción 'Dividir

agrupaciones', para que cada imagen tenga sus parámetros. En nuestro caso es necesario ya que hemos realizado la toma fotográfica con la opción de enfoque automático.

Para que las imágenes tomen los valores ajustados deberemos de seleccionar la herramienta Optimizar en el marco 'Puntos de apoyo'.

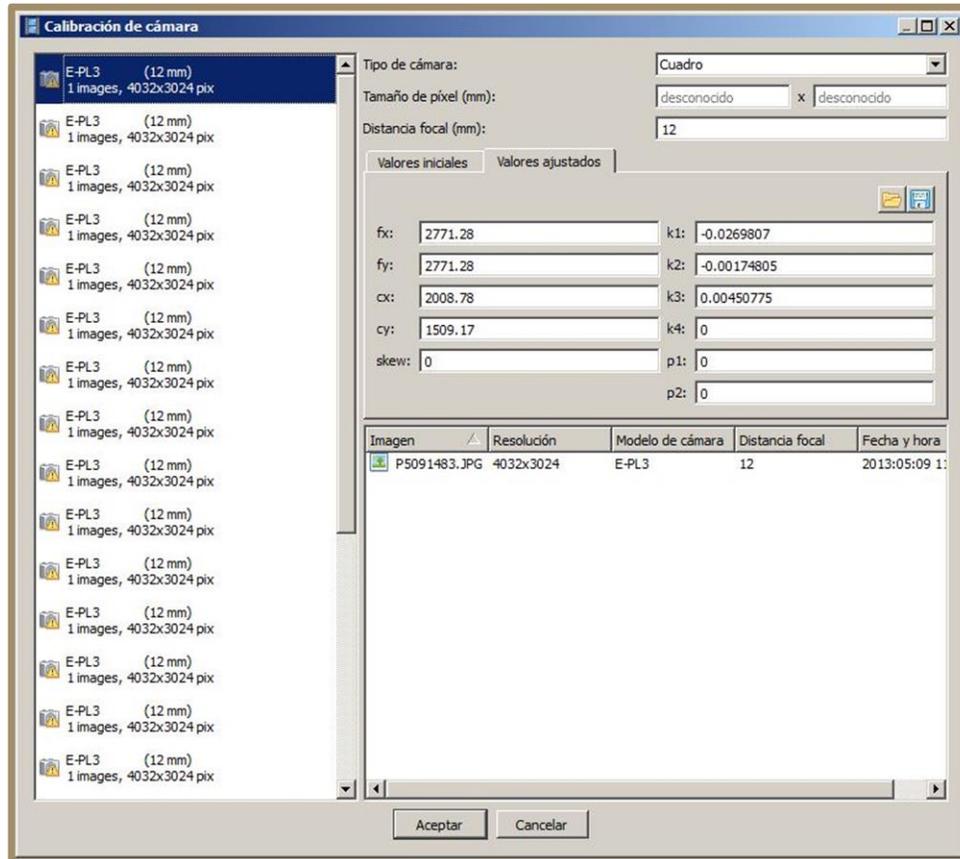


Ilustración 33. Calibración de cámara.

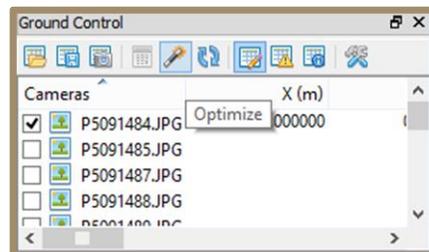


Ilustración 34. Optimizar.

- 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 'Redimensionar Región' y 'Rotar Región'.



Ilustración 35. Herramientas 'Redimensionar Región' y 'Rotar Región'.

- 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.

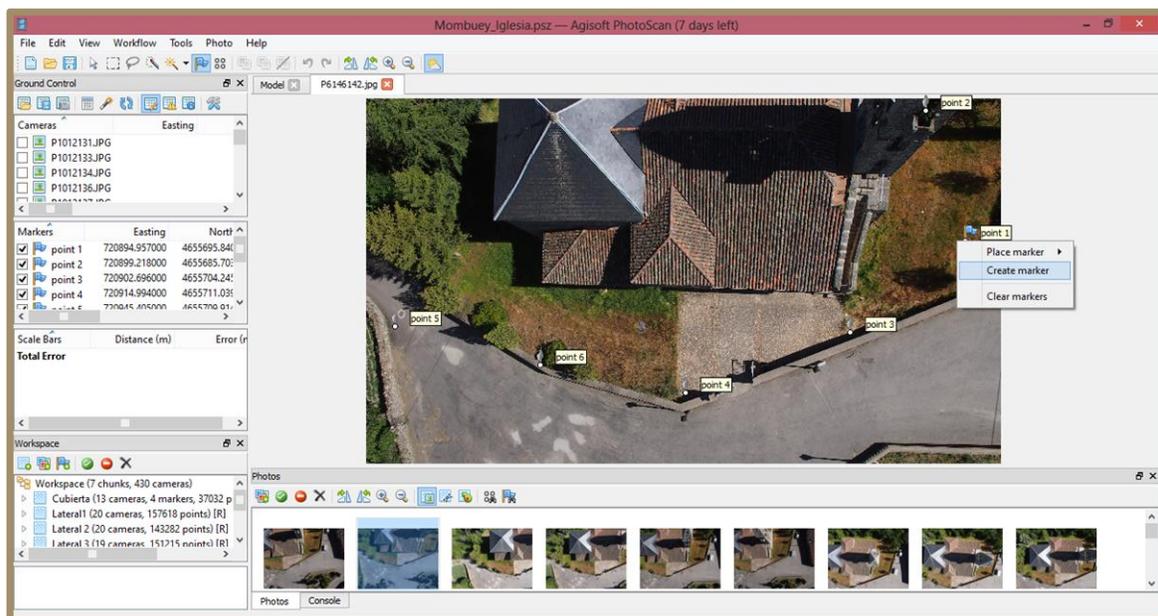
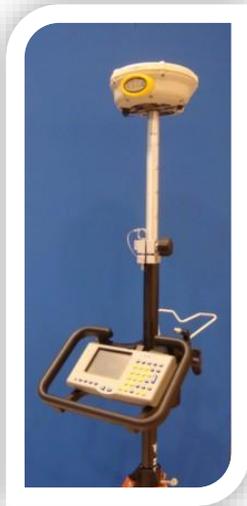


Ilustración 36. Creación de marcadores.

Para referenciar el modelo a coordenadas reales al menos tres puntos se deben introducir, pueden ser coordenadas locales euclidianas o georreferenciadas.

El programa soporta un amplio rango de sistemas de coordenadas geográficas y proyectadas.



En nuestro caso hemos optado por georreferenciar el modelo utilizando puntos de apoyo, colocamos ocho dianas, de las cuales tomamos sus coordenadas con el gps Trimble 5800 RTK, para que al hacer las fotografías aéreas de la Iglesia se visualicen en las imágenes. Para poder introducir los puntos de apoyo en coordenadas, primero tenemos que establecer el sistema de coordenadas, en nuestro caso ETRS89 UTM zone 29N (EPSG:25829).

Ilustración 37. GPS Trimble 5800 RTK



Ilustración 38. Localización puntos de apoyo

Antes de realizar la transformación, podemos indicarle el nivel de precisión de las coordenadas con

la herramienta 'Ajustes'  del menú 'Puntos de Apoyo'.

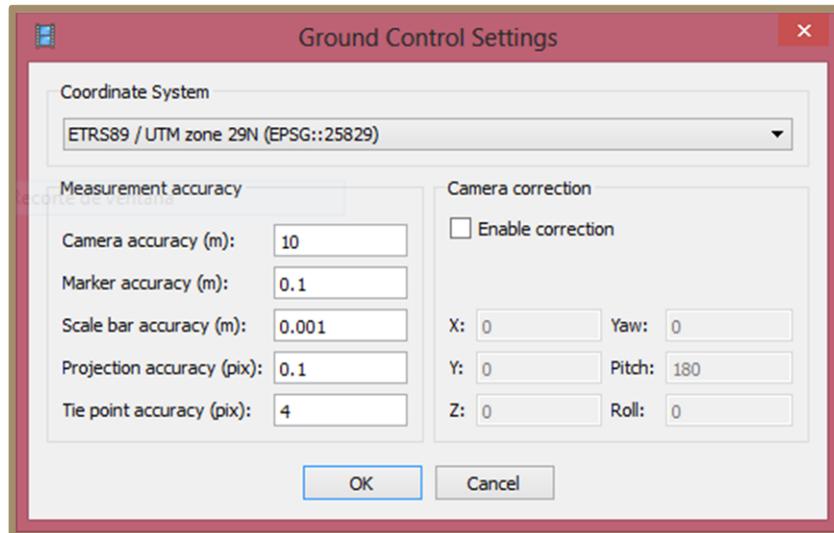


Ilustración 39. Opciones Puntos de Apoyo

Para realizar la transformación al sistema de coordenadas especificado deberemos de 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'.



Ilustración 40. Visualización de listados.

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.

Marcadores	Este err (m)	Norte err (m)	Alt. err (m)	error(m)	Proyecciones	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> POINT1	-0.008947	0.008633	0.014247	0.018909	26	0.378
<input checked="" type="checkbox"/> POINT2	-0.019177	-0.004073	0.006939	0.020796	18	0.292
<input checked="" type="checkbox"/> POINT3	-0.008191	-0.006551	-0.012831	0.016572	18	0.384
<input checked="" type="checkbox"/> POINT4	0.004576	0.026295	0.031181	0.041044	23	0.427
<input checked="" type="checkbox"/> POINT5	-0.002260	0.029381	-0.017788	0.034420	21	0.691
<input checked="" type="checkbox"/> POINT6	0.011746	-0.029327	-0.010017	0.033142	23	0.412
<input checked="" type="checkbox"/> POINT7	-0.015578	-0.019066	0.001968	0.024700	32	0.711
<input checked="" type="checkbox"/> POINT8	0.037835	-0.005290	-0.013705	0.040587	16	0.238
Error total	0.017150	0.019171	0.015797	0.030187		0.493

Ilustración 41. Listado con los valores de error.

También se podría escalar el modelo conociendo una distancia entre dos puntos.

- Creación del modelo geométrico

Este proceso es automático, se generará la malla del modelo. En el cuadro de diálogo deberemos seleccionar los parámetros de reconstrucción.

- Tipo de objeto:

Arbitrario: para modelar cualquier objeto.

Bajo relieve/terreno: para modelos de superficie plana como terrenos o relieves bajos.

- Tipo de geometría:

Factor de tensión en la malla.

Rasgos acusados.

Rasgos suaves.

Creación de la malla en los puntos.

Puntos de paso.

- Calidad:

Mínima, Baja, Media, Alta y Extra alta.

Antes de realizar la geometría deberemos de comprobar que los puntos generados en la alineación se encuentran bien orientados, para ello orientamos todos los grupos en el menú 'Flujo de trabajo' → 'Orientar grupos'. Hay tres métodos posibles de alineación: basada en puntos, en marcadores o en cámaras.

En nuestro caso, al realizar este proceso comprobamos que existían errores de alineación en las imágenes terrestre, esto pudo deberse al uso del enfoque automático en la toma fotográfica, se veía duplicidad en la torre de la Iglesia. Para solucionarlo decidimos añadir marcadores que identificaran puntos homólogos en las imágenes, y señalarlos en todas las fotografías que apareciesen de los distintos grupos. Una vez realizado este paso, orientamos los grupos a partir del método basado en marcadores y manteniendo seleccionado el grupo de la toma fotográfica aérea, realizada con el microdrone, dónde se encontraban los marcadores con coordenadas georreferenciadas.

Antes de procesar la geometría, fusionamos todos los grupos para realizar el modelo completo de la Iglesia. Existen dos maneras de unir los 'chunks' a partir de los marcadores o de los modelos.

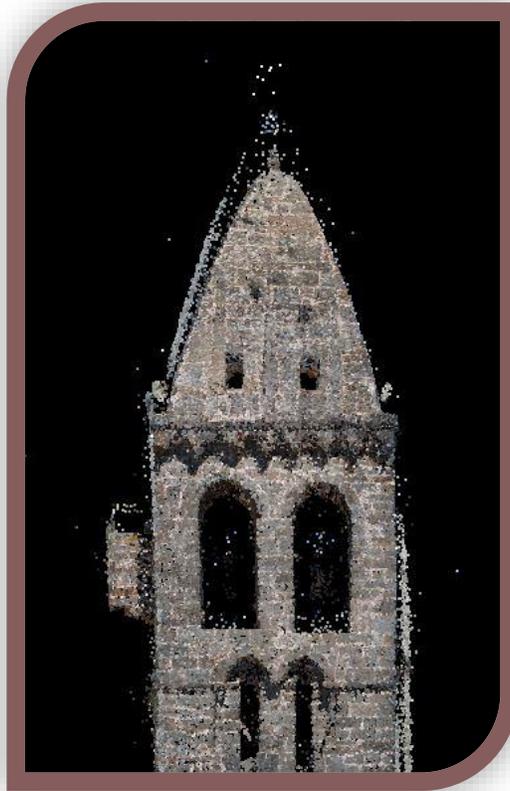


Ilustración 42. Errores de alineación.

La creación de la geometría es el proceso que más tiempo tarda en realizarse, y depende de la memoria del ordenador y del nivel de calidad que elijamos.

Utilizamos para esta fase los ordenadores del laboratorio, al ser más potentes, ya que con el personal fue imposible al quedarse colgado.

Al finalizar, se obtiene el modelo sombreado a color, monocromático y la malla de la Iglesia.



Ilustración 43. Modelo geométrico a color.

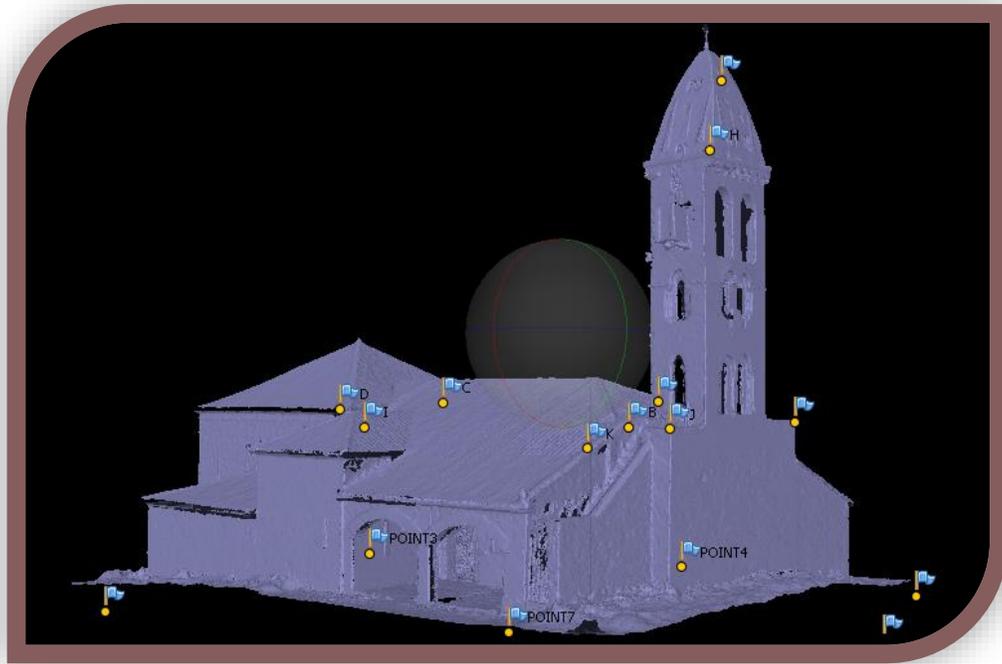


Ilustración 44. Modelo geométrico monocromático.

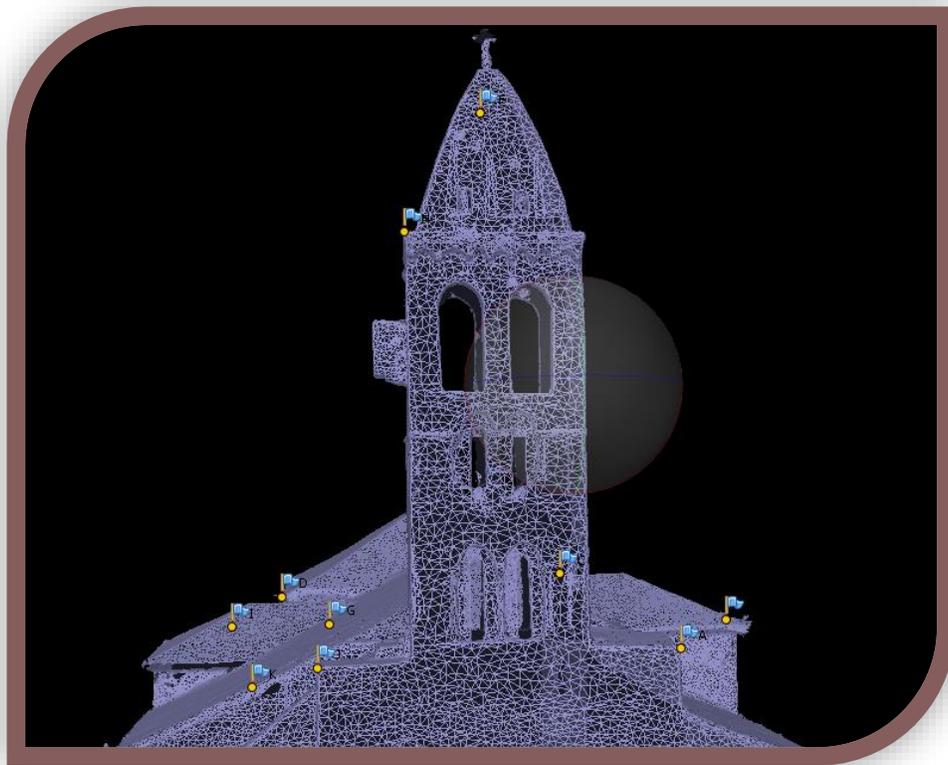


Ilustración 45. Modelo malla de alambre.



- 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.
 - Específico: utiliza una mapa de texturas parametrizado, se puede usar para reconstruir el atlas de textura utilizando una resolución diferente o para generar el atlas del modelo parametrizado en un programa externo.
- 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.
- Cerrar agujeros
- Dimensiones del mapa de textura.
- Intensidad de color.



Ilustración 46. Modelo 3D de la Iglesia texturizado.

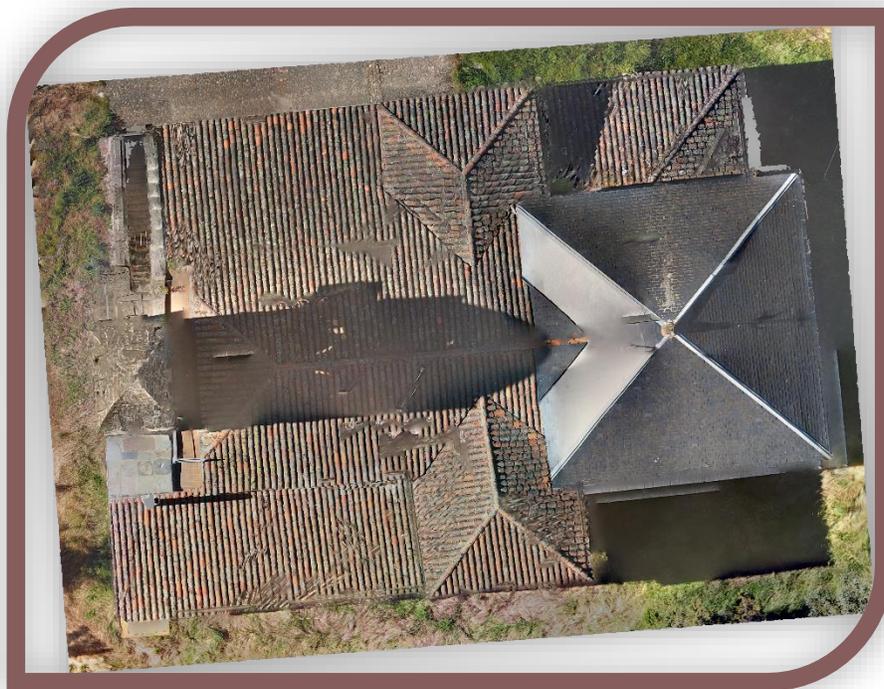


Ilustración 47. Ortofoto de la planta de la Iglesia.



Visita virtual de la iglesia.

Las visitas virtuales o recorridos virtuales son una forma fácil e interactiva de ver un espacio en todas las direcciones con sólo mover el ratón, por medio de las fotografías panorámicas esféricas, que permiten observar el espacio fotografiado en 360°x180°.

Se han convertido en un recurso muy atractivo visualmente y con un alto nivel de interactividad. El usuario percibe el espacio esférico de una forma totalmente natural, tal como es en la realidad, con la sensación de estar allí.

Toma fotográfica panorámica esférica

Para generar una fotografía panorámica esférica es necesario realizar una serie de fotografías desde un mismo punto de vista.

Los instrumentos utilizados para realizar estas fotografías fueron los siguientes:

- Cámara réflex digital SLR Nikon D700.
- Objetivo Nikkor 14-24mm de f2.8G.
- Trípode manfrote.
- Rótula nodal Ninja.





Ilustración 48. Instrumentos utilizados para la toma de fotografías panorámicas.

Las fotografías se realizaron en formato RAW², para tener un control total del color e iluminación durante el revelado digital realizado con el software Adobe Lightroom.

Cada fotografía panorámica está formada por 18 fotos, 8 fotografías con una inclinación de -30° respecto al plano horizontal y separadas entre sí 45° , 8 fotografías con una inclinación de 30° respecto al plano horizontal y separadas entre sí 45° , 1 fotografía cenital y 1 fotografía del suelo.

Todas las fotografías tienen que tener zonas comunes para poder unir las entre sí. Para el montaje de estas fotografías panorámicas se utilizó el software PTGui.

² El formato de imágenes RAW es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen tal y como ha sido captada por el sensor digital de la cámara fotográfica y una mayor profundidad de color (36-48 bits/pixel). El archivo RAW se puede definir como el negativo digital.



Ilustración 49. Captura de toma de fotografías panorámicas en el interior de la Iglesia.

Procesamiento de las imágenes

La unión de las fotografías en PTGui se hace mediante la búsqueda de puntos homólogos entre todas las fotos, de esta manera se consigue generar la geometría esférica de la foto. Esta búsqueda de puntos homólogos se puede hacer de manera automática, pero es aconsejable revisarlos y si fuera necesario añadir alguno más, para que las fotos encajen bien entre sí.

Antes de iniciar el proceso de unión, hemos de eliminar el trípode en las fotografías que aparezca. Utilizaremos el programa Photoshop y con la herramienta clonar retocaremos las imágenes. Esta herramienta permite copiar determinados motivos o partes de una imagen en ésta misma o en otra.

Retoque de imágenes

Los pasos a seguir con el software Photoshop son:

1º. Abrimos la imagen en el programa

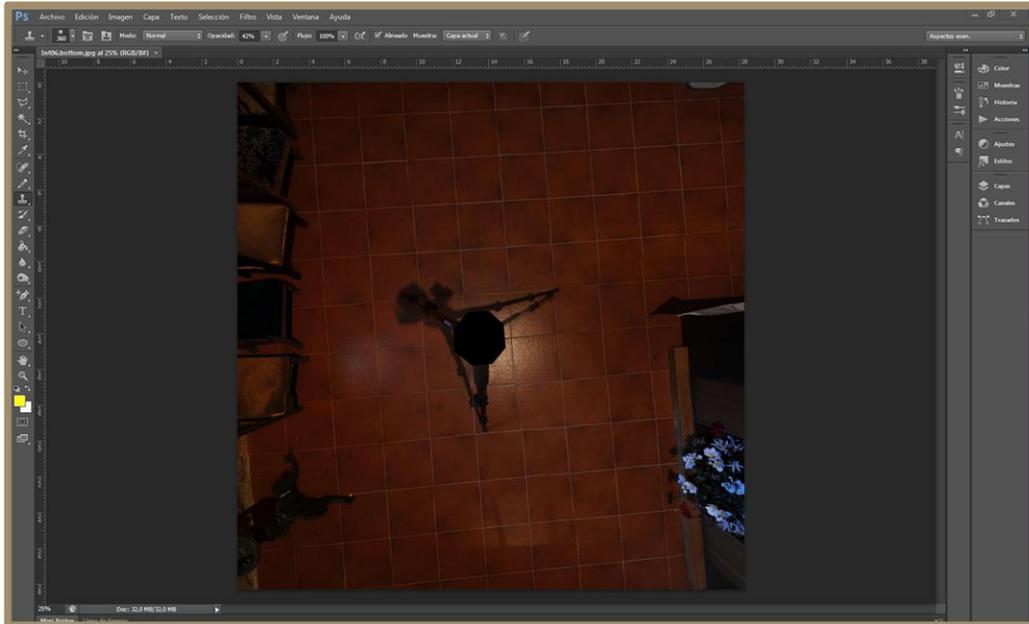


Ilustración 50. Fotografía para eliminación de trípode.

2º. Enmarcamos la zona a clonar con una rejilla.

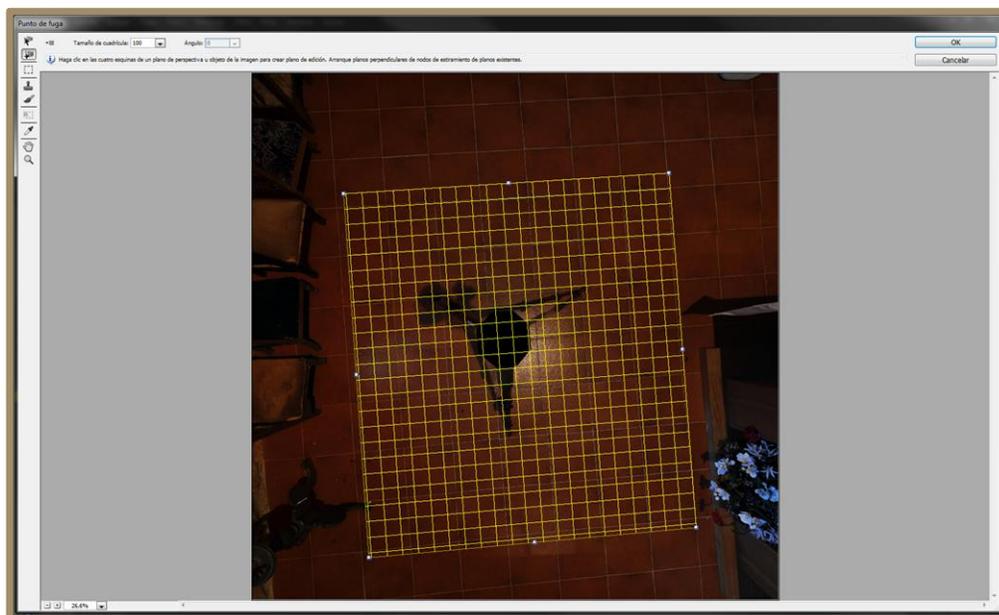


Ilustración 51. Creación de rejilla.

3º. Empezamos el retoque digital con la herramienta de Clonar.

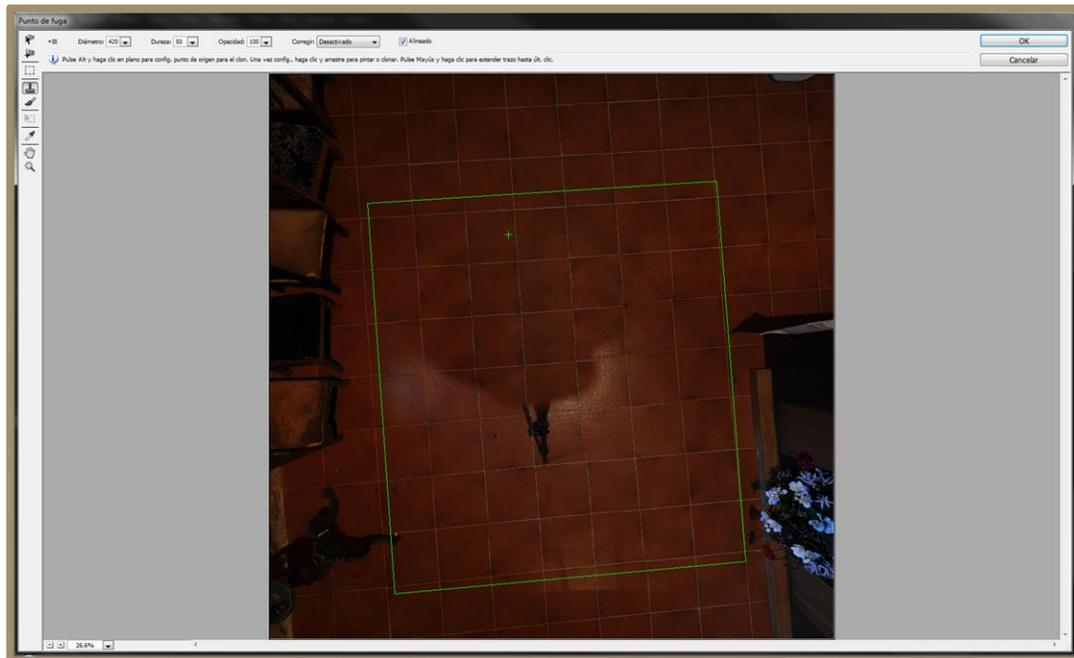


Ilustración 52. Herramienta clonar.

4º. Resultado final.

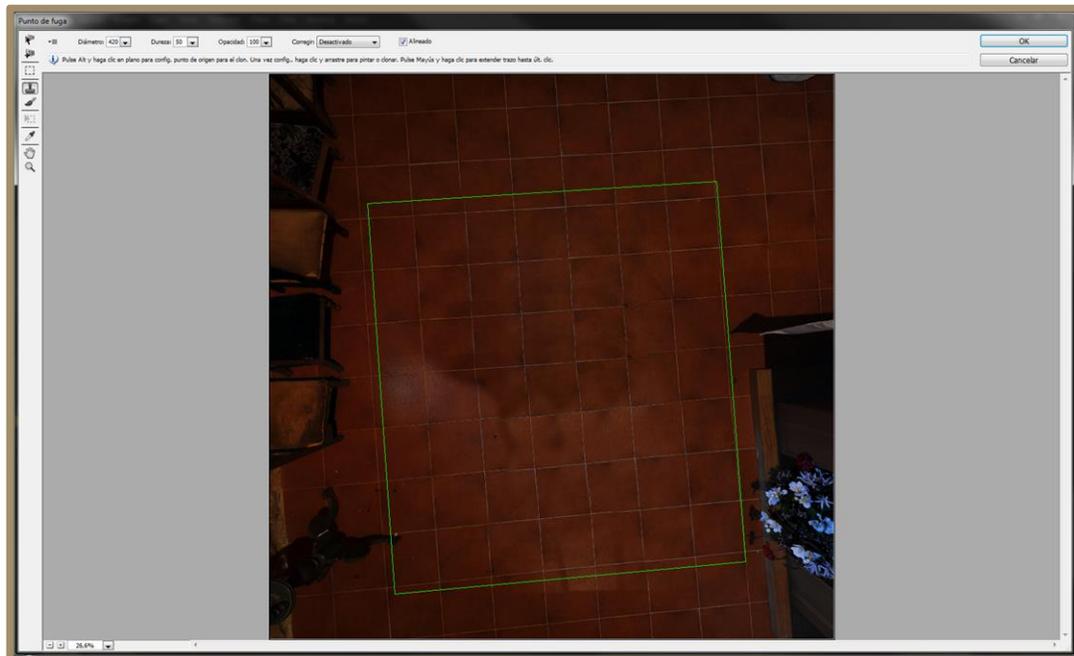


Ilustración 53. Eliminación del trípode.

Creación de fotografía panorámica

El software PTGui es una de las herramientas más destacables para crear panoramas, es un producto de la compañía holandesa New House Internet Services.

La creación de las fotografías panorámica se realiza de la siguiente manera, los pasos son:

1º. Añadimos las imágenes, en la pestaña 'Sources Images', con las que crearemos la panorámica.

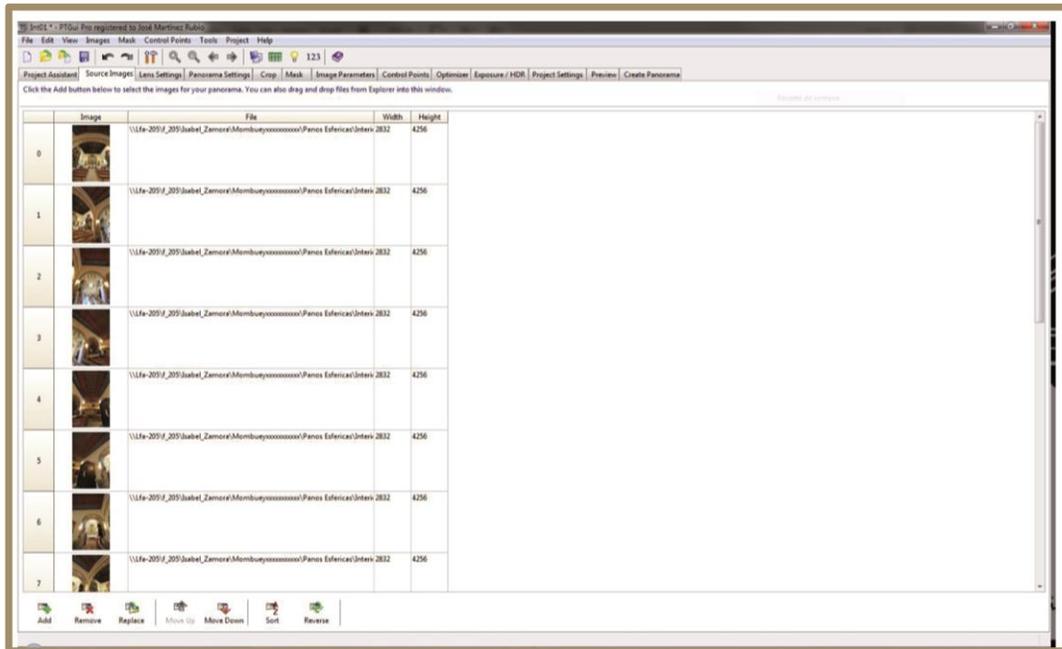


Ilustración 54. Añadimos imágenes.

2º. Identificaremos los puntos homólogos para unir las imágenes entre sí, en la pestaña 'Control Points'.

3º. Optimizamos las uniones y eliminamos los puntos con mayor error, en la pestaña Optimizer.

4º. Revisamos la panorámica esférica.

5º. Por último, guardamos nuestra imagen panorámica en formato jpg.

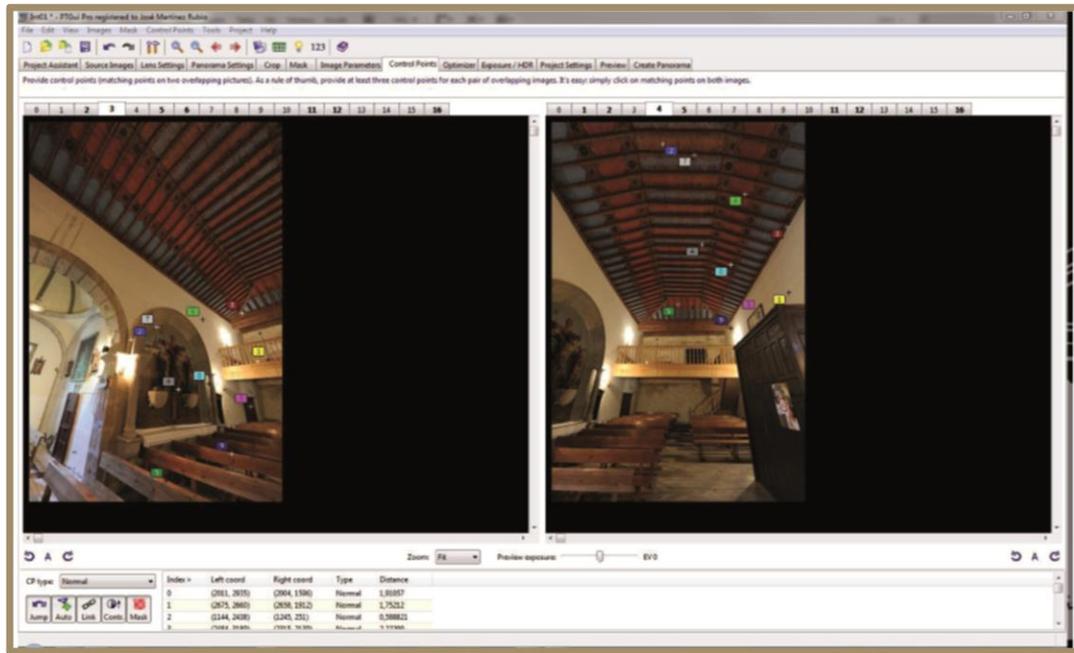


Ilustración 55. Puntos de control.



Ilustración 56. Revisión panorámica esférica.



Ilustración 57. Resultado final panorámica esférica.

Creación de visita virtual

Para la realización de la visita virtual hemos utilizado Tourweaver 5.00, es un programa especialmente desarrollado para diseñar e implementar entornos panorámicos en Flash, de la empresa Panorama Technologies Corporation Ltd. (denominada Easypano).

Ayudándonos de las herramientas y efectos que permite implementar el software, hemos creado una visita virtual muy interactiva, en la que el usuario, de forma sencilla, descubre todos los espacios de la Iglesia.

Los pasos para generar el 'tour virtual' son:

- 1º. Abrimos la aplicación y elegimos el diseño del proyecto o visita.
- 2º. Indicamos las propiedades del visor de escena, tales como, ancho y alto, estilo de la barra de progreso, color de fondo,...
- 3º. Agregamos a la escena las fotografías panorámicas, generadas con el programa PTGui.

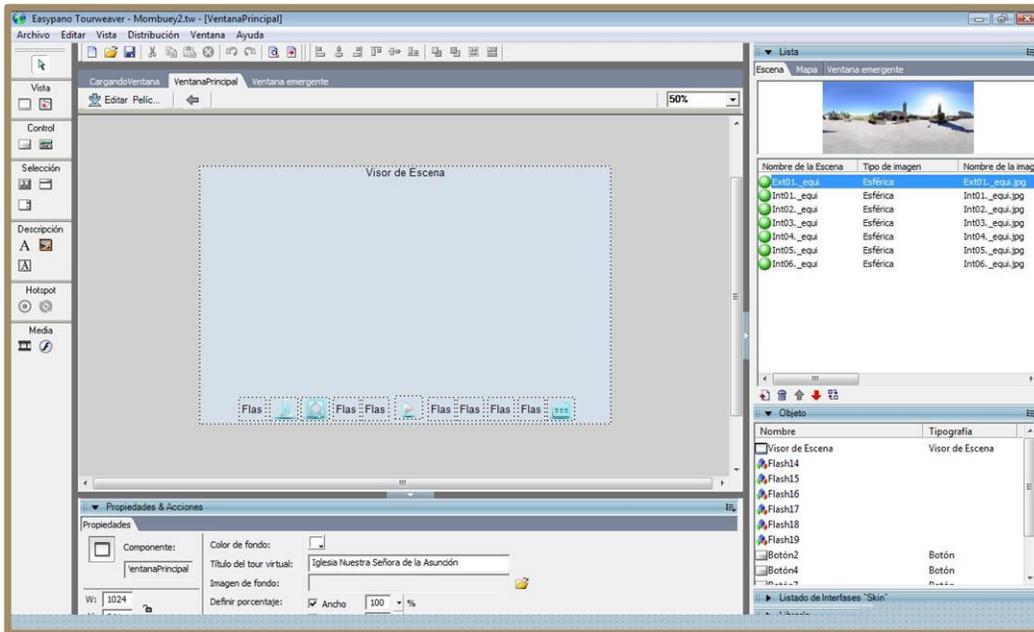


Ilustración 58. Diseño de Aplicación Tourweaver.

- 4º. En la ventana de propiedades, de cada fotografía panorámica, le podemos indicar el tipo de escena, en nuestro caso esférica, el tipo de transición, la velocidad, la duración, incluir un sonido,...
- 5º. Para poder hacer interactiva la visita, en cada escena incluiremos 'hotspot' o un punto de acceso, para pasar de una a otra. También, podemos incluir elementos de tipo flash para incluir audio, vídeo, imagen; y texto para añadir información.

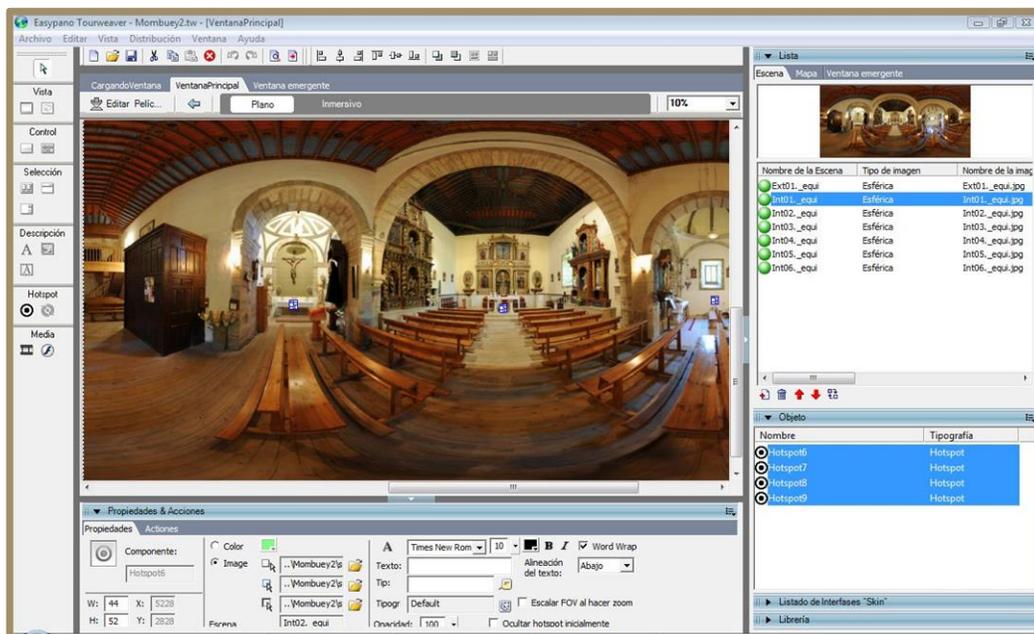


Ilustración 59. Visualización de las panorámicas y creación de 'hotspot'.

6º. Podemos añadir botones y ventanas emergentes al visor de escena para facilitar la interactividad.

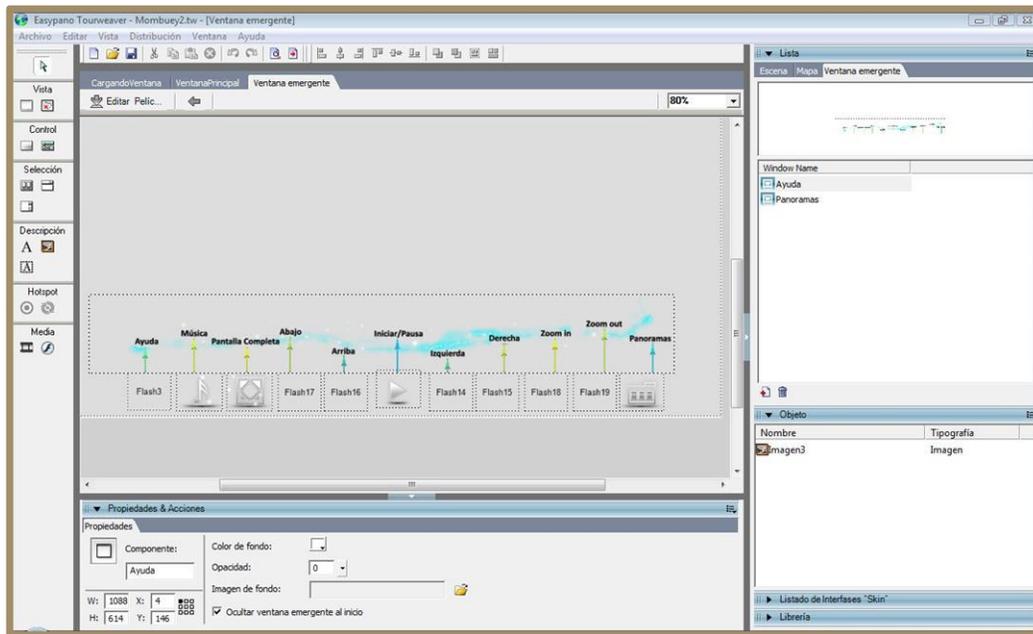


Ilustración 60. Creación de botones y ventanas emergentes.

7º. Para generar la visita virtual desde el menú 'Archivo' elegiremos la opción 'Publicar' y podemos seleccionar las propiedades de configuración de la publicación, como el nombre, el directorio de salida, generar archivos para el disco de 'autorun',... Se creará una carpeta con todos los ficheros necesarios para ver la visita virtual: jpg, html, swf,...

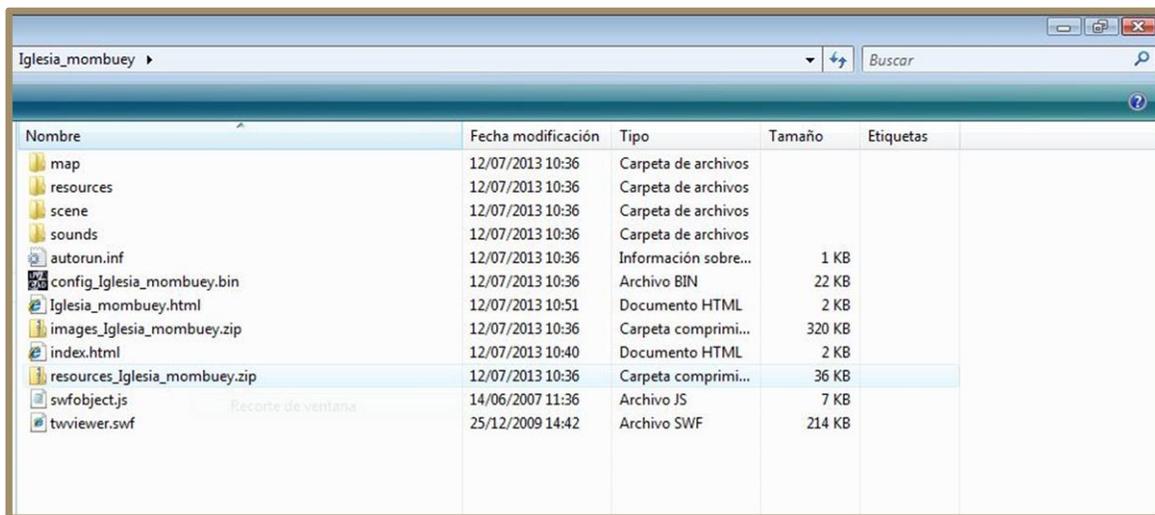


Ilustración 61. Archivos generados en la carpeta de la visita virtual.



Ilustración 62. Resultado final Visita Virtual.



Ilustración 63. Resultado final Visita Virtual - Pantalla completa.

DIFUSIÓN EN LA RED Y REALIDAD AUMENTADA

La documentación Patrimonial para la generación de documentación técnica y la difusión del Patrimonio es una herramienta fundamental para conservar, gestionar y analizar los bienes culturales.

Podemos definir el patrimonio cultural como “el conjunto de manifestaciones u objetos nacidos de la producción humana, que una sociedad ha recibido como herencia histórica, y que constituyen elementos significativos de su identidad como pueblo. Tales manifestaciones u objetos constituyen testimonios importantes del progreso de la civilización y ejercen una función modélica o referencial para toda la sociedad”³.

En este contexto, se enmarca el principal objetivo de este proyecto, registrar gráficamente la Iglesia, a través de la reconstrucción virtual de la misma, a partir de las diferentes tecnologías que existen en la actualidad, para su posterior protección, gestión e interpretación.



Ilustración 64. Ref. García Fernández, J., 2013, 'La cultura digital para la puesta en valor del patrimonio: generación de productos patrimoniales con alcance educativo.' Tesis doctoral pendiente de publicación, Universidad de Valladolid.

³ Lull, (2005, 181)

Una vez que tenemos los productos finales generados: el modelo 3D y la visita virtual; tenemos que difundirlos para de esta manera poner en valor el patrimonio, ya sea desde el punto de vista educativo o turístico, y uno de los mejores medios es la difusión en la red de los bienes para acercarlos a la sociedad.

En la nueva era de la tecnología y de la red de internet son muchos los medios que podemos utilizar para realizar la difusión del trabajo realizado, tales como: blogs, redes sociales, foros, páginas web, vídeos,...

En nuestro proyecto hemos decidido generar una página en internet en la que mostrar todos los productos generados, el modelo tridimensional, la visita virtual, una galería de imágenes e información sobre la ubicación e historia de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción, para de esta manera acercarla a los diferentes usuarios, ya sean técnicos, vecinos o turistas.

A partir de la aplicación Google Sites, hemos creado un sitio web en dónde hemos colgado toda la información del proyecto y la hemos publicado en internet, y compartido el enlace en distintas redes sociales como Google+ y Facebook.

Enlace: <https://sites.google.com/site/iglesiamombuey/>



Ilustración 65. Sitio web del Proyecto 'Iglesia Nuestra Señora de la Asunción'.



Ilustración 66. Información sobre la Localización de la Iglesia.

Otro medio que hemos pensado que podría facilitar el acceso a la página web generada, de una forma más sencilla es a través de la creación de un código Qr, éste podría ser impreso en folletos de la Iglesia, en carteles de información turística y con un simple móvil acceder de forma casi instantánea, sin necesidad de escribir la dirección, al portal web

Los códigos Qr (Quick response code, 'código de respuesta rápida') es una matriz de puntos o un código de barras bidimensional, que permiten almacenar diferentes contenidos, como enlaces url, posiciones gps, mensajes,... La aparición de aplicaciones para teléfonos móviles que leen códigos 'Qr', está favoreciendo la expansión y el uso de éstos, siendo cada vez más su inclusión en todo tipo de objetos, revistas, alimentos, páginas web, anuncios,...

El uso de este código, frente a otros como los BIDI (barras dimensionales), se debe a que es de código abierto y sus derechos de patente no son ejercidos.



Ilustración 67. Código Qr de la página del proyecto.

La nueva tecnología de realidad aumentada, se aborda en este trabajo como una de las posibles líneas futuras de difusión de la Iglesia.

La realidad aumentada consiste en la creación de una realidad mixta en tiempo real, mezclando elementos físicos del mundo real con elementos virtuales. La principal diferencia con la realidad virtual, es que no sustituye la realidad física, sino que los datos informáticos aparecen junto al mundo real. Con la ayuda de dispositivos (móviles, tablets, ordenador, gafas virtuales) y la nueva tecnología (visión por ordenador y reconocimiento de objetos) el entorno físico se convierte en interactivo.

Están surgiendo nuevos programas especializados en realidad aumentada, como el software libre Aumentaty, desarrollado por LabHuman de la Universidad Politécnica de Valencia, cuyo principal objetivo es proporcionar un conjunto de soluciones en el campo de la realidad aumentada, principalmente para el sector de la educación. Han desarrollado herramientas de edición y visualización gratuitas, para que todos los usuarios, se inicien en la creación de contenidos en realidad aumentada. Ya cuenta con dos programas, uno para la creación Aumentaty Author y un visor que permite visualizar y compartir los objetos creados por el anterior, Aumentaty Viewer.

Hemos realizado pruebas con dichos programas y hemos comprobado que con unos sencillos pasos hemos creado nuestro primer contenido en realidad aumentada.

Los pasos a seguir son:

- 1º. Ejecutamos el programa Author.
- 2º. Seleccionamos una de las marcas disponibles y la imprimimos.

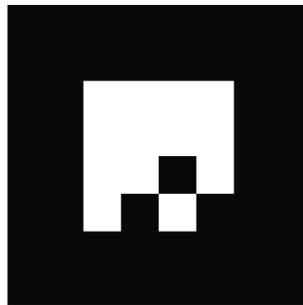


Ilustración 68. Marca RA.

- 3º. Activamos la cámara para escanear la marca o seleccionamos una imagen.
- 4º. Apuntamos la cámara hacia la marca, se coloreará de naranja cuando el programa la detecte.

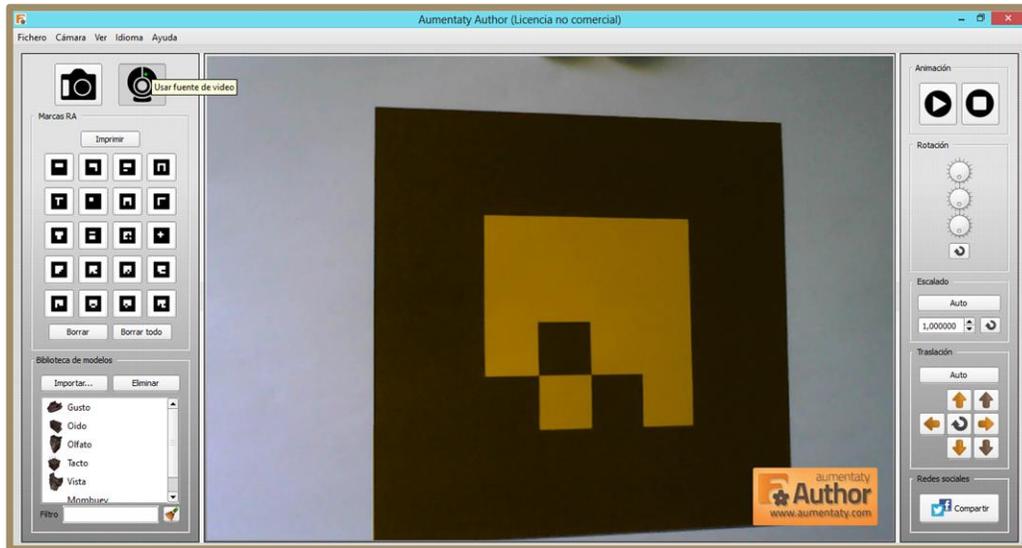


Ilustración 69. Detección de la marca.

5º. Importamos un modelo a la biblioteca, admite diferentes formatos de modelado 3D, para ello es necesario que hayamos exportado el modelo de la Iglesia.

6º. Asignamos el modelo a la marca, arrastrándolo a la rejilla de marcas a la marca que hemos impreso. Se visualizará el modelo 3D sobre la marca en la pantalla.

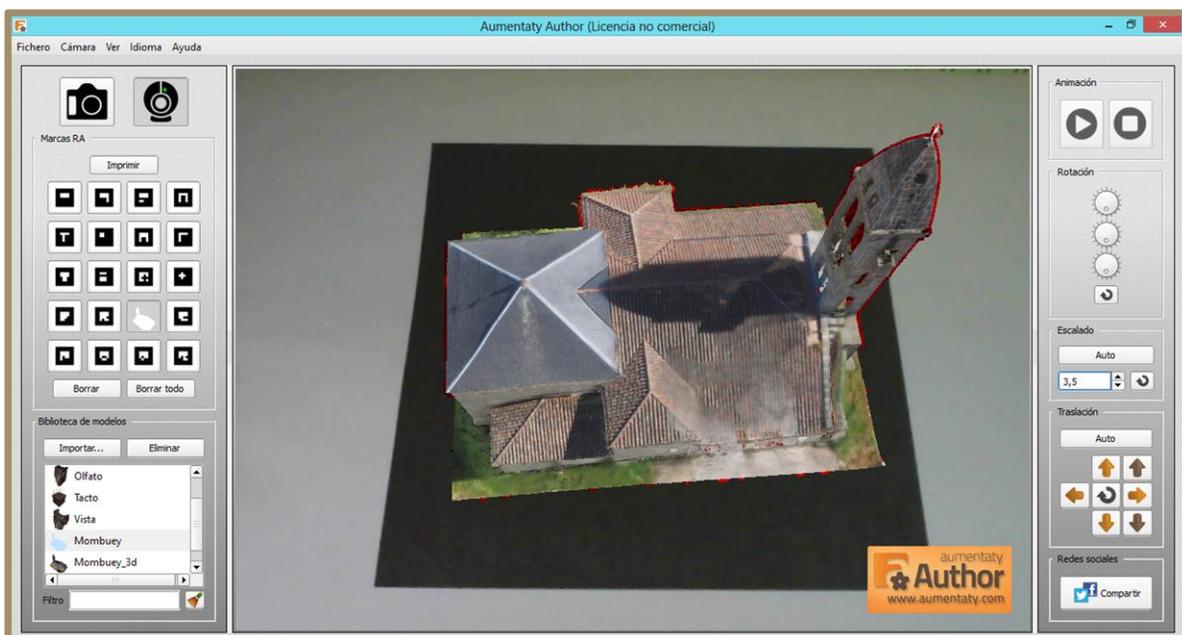


Ilustración 70. Visualización del modelo 3D sobre la marca.

- 7º. Podemos ajustar el modelo a la escena modificando la posición, orientación y escala.
- 8º. Podemos guardar los trabajos realizados y recuperarlos en Fichero → Cargar escena.
- 9º. Exportaremos la escena para visualizarla en Viewer seleccionando Fichero → Exportar a Viewer.

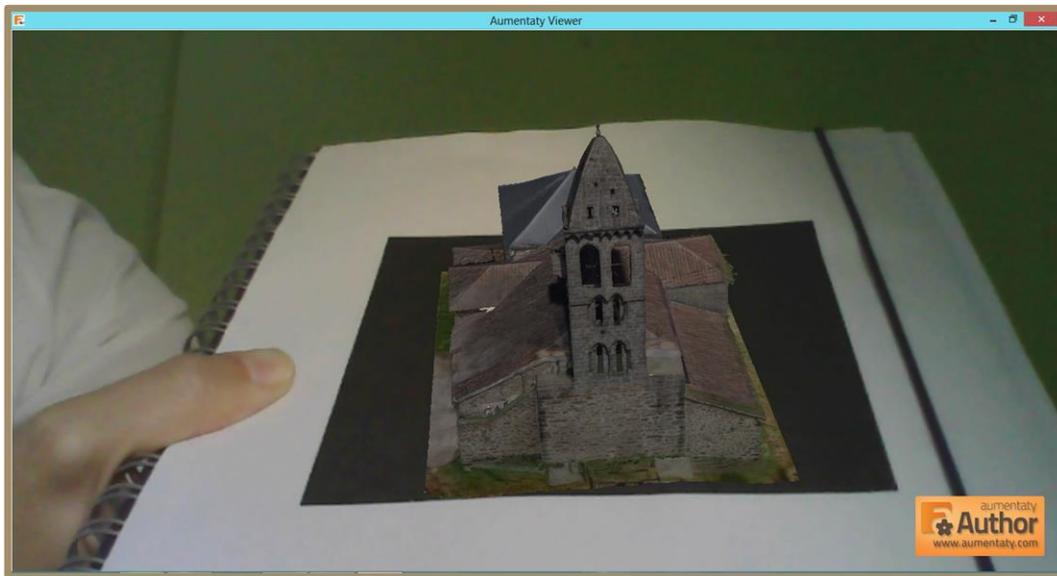


Ilustración 71. Visualización del modelo en Viewer.

Los resultados no tienen gran calidad, ya que hemos utilizado un modelo con una gran reducción de malla para agilizar el proceso ya que el interés era comprobar el uso del programa, aunque consideramos que es una tecnología muy atractiva y que en el futuro se tenderá a crear mayores contenidos de realidad aumentada.

En el proyecto se podría incluir códigos de realidad aumentada en folletos de información, para que desde los dispositivos móviles se pudieran capturar y visualizar el modelo tridimensional de la Iglesia.



Ilustración 72. Ejemplos de realidad aumentada.

CONCLUSIONES

Durante la realización de este trabajo hemos comprobado el fácil uso de las nuevas tecnologías en geomática, en especial del uso de la fotogrametría, en proyectos de ingeniería y arquitectura.

La fotogrametría nos ha parecido un método de análisis de estructuras tridimensionales muy eficaz, rápido e inocuo, se obtiene un volumen de información muy elevado en poco tiempo, con pocos medios y sin producir ningún daño al bien. Su uso en el estudio del Patrimonio es fundamental, ya que permite obtener documentación sobre el estado del bien a analizar y lograr una reconstrucción virtual del mismo de gran precisión y realísticos. Además, a través de la documentación generada se pueden elaborar planes de conservación o de restauración.

En las fases de trabajo, hemos llegado a la conclusión que antes de iniciar el trabajo de campo es recomendable realizar la calibración de la cámara que vayamos a utilizar y determinar los parámetros de la toma fotográfica tales como la distancia al objeto, el enfoque, el tiempo de exposición, la distancia focal,... ya que de esta manera evitaremos posibles errores en el procesado de las imágenes. También, tenemos que tener en cuenta el volumen de datos que vamos a capturar, por lo que es necesario saber con qué hardware vamos a realizar los trabajos, para saber si van a soportarlo.

El desarrollo de software específico y la aparición de nuevos algoritmos ponen en valor el uso de la fotogrametría frente a otros medios como los topográficos y los láseres escáner, aunque el uso combinado con estos últimos permite mejorar los resultados.

La creación de visitas virtuales y el uso de la nueva tecnología en realidad aumentada cumplen a la perfección la labor de difusión del patrimonio, ya que de una forma sencilla, rápida y directa hacen que el bien llegue a los usuarios y que interactúen con él. De esta manera, el patrimonio se acerca a la sociedad y lo identifican como un bien cultural que hay que proteger para que perdure en el tiempo.



BIBLIOGRAFÍA

- BENAVIDES, M.; ANTA LORENZO, L., *Mombuey (Zamora)*. Ed. Patronato de Turismos Diputación de Zamora. 1989.
- GÓMEZ LAHOZ, J., *Introducción a la fotogrametría digital: El método general de la fotogrametría digital*. Apuntes de la Asignatura 'Procesamiento avanzado de imágenes.' Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Salamanca, 2012.
- BAY, H., ESSA, A., TUYTELAARS, T.; VAN GOOL, L., *Speedep-Up Robust Features (SURF)*. Revista Computer Vision and Image Understanding, vol. 110, pp. 346-359. 2009.
- LERMA GARCÍA, J.L., *Fotografía moderna: analítica y digital*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 2002
- LERMA GARCÍA, J.L.; CABRELLES, M.; SEGÚN, A.E.; NAVARRO, S., *Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares*. Grupo de investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia. Revista: 'La información geográfica y la gestión del Patrimonio.', nº 77, pp. 127-129. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 2011.
- LLULL PEÑALBA, J., *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. 2005.
- LOWE, D., *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. Computer Science Department, University British Columbia, Vancouver (Canada), 2003.
- PÉREZ ZAPATA, C., *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.

Referencias web:

- Agisoft Photoscan
<http://www.agisoft.ru>
- Código Qr, artículo publicado en la Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Código_QR

- Románico Digital, portal sobre arte románico.
<http://www.romanicodigital.com>
- Realidad aumentada, artículo publicado en la Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada
- Easypano, software para visitas virtuales.
<http://www.easypano.com/es>
- Aumentaty, El valor de la realidad aumentada.
<http://www.aumentaty.com/es>
- Microdrones UAV
<http://www.microdrones.com>

