



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

MODELIZACIÓN 3D MEDIANTE TÉCNICAS GEOMÁTICAS DE LA TUMBA QH31 DE LA NECRÓPOLIS DE QUBBET EL-HAWA (ASUÁN, EGIPTO)

Alumno: Javier Cobo Carrillo

Tutor: Prof. D. José Luis Pérez García
Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría

Jaén, Noviembre de 2019



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Don José Luis Pérez García, tutor del Proyecto: Modelo 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán-Egipto), que presenta Javier Cobo Carrillo, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Noviembre de 2019

El alumno:

FDO: JAVIER COBO CARRILLO

Los tutores:

FDO: DON JOSÉ LUIS PÉREZ GARCÍA

RESUMEN

En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se presenta la Modelización 3D mediante técnicas geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto). Con el objetivo de trabajar en la mejora y optimización de esta modelización, se combinan diferentes técnicas geomáticas como son, el escáner láser 3D y la fotogrametría, con el fin de unir las ventajas de dichas técnicas y metodologías de trabajo, al tiempo que se minimizan los inconvenientes que estas puedan presentar. Se han trabajado las distintas fases metodológicas del proceso para ambas técnicas mediante las aplicaciones y software necesarios y disponibles, con el fin de obtener productos con calidad métrica para una correcta documentación gráfica del monumento. Además, se plantean las modificaciones necesarias en dichos productos y formatos de salida para facilitar una difusión de dicha documentación para hacer accesible esta información al resto de la sociedad.

Palabras claves: técnicas geomáticas, escáner láser 3D y fotogrametría.

ABSTRACT

In this Final Degree Project (TFG), 3D Modeling is presented using geomatic techniques from QH31 Tomb of the Qubbet El-Hawa Necropolis (Aswan, Egypt). With the aim of working on the improvement and optimization of this modeling, different geomatic techniques are combined, such as the 3D laser scanner and photogrammetry, in order to combine the advantages of these techniques and working methodologies, while minimizing the inconveniences that these may present. The different methodological phases of the process for both techniques have been worked through the necessary and available applications and software, in order to obtain products with metric quality for a correct graphic documentation of the monument. In addition, the necessary modifications to these products and output formats are proposed to facilitate the dissemination of said documentation to make this information accessible to the rest of society.

Keywords: geomatic techniques, 3D laser scanner and photogrammetry.

INDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Estructura del documento.....	18
1.2. Descripción del proyecto	20
1.3. Antecedentes.....	21
1.4. Justificación	23
1.5. Motivación y objetivos.....	25
1.5.1. Objetivos formativos	25
1.5.2. Objetivos específicos.....	26
1.6. Descripción del fenómeno bajo estudio.....	27
1.6.1. Situación geográfica	27
1.6.2. Topografía	28
1.6.3. Geología.....	29
1.6.4. La necrópolis QH31	29
Capítulo 2. METODOLOGÍA	39
2.1. Topografía	41
2.2. Escáner láser 3D	44
2.2.1. Tipos de escáner	44
2.2.2. Esquema general de la metodología de escáner láser.....	48
2.3. Fotogrametría	51
2.3.1. Etapas del proceso fotogramétrico	51
Capítulo 3. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	57
3.1. Recursos materiales y software.....	59
3.1.1. Recursos materiales	59
3.1.2. Softwares.....	63
3.2. Definición del sistema y marco de referencia	67
3.3. Proceso topográfico.....	68
3.3.1. Extracción de datos	71
3.4. Trabajos con Escáner Láser	71
3.4.1. Planificación de la toma y el sistema de referencia	71
3.4.2. Captura de la información.....	72
3.4.3. Orientación o registro de los escaneos.....	73
3.4.4. Proceso de extracción de información	78
3.5. Proceso fotogramétrico.....	82
3.5.1. Tomas fotográficas	82
3.5.2. Orientación fotogramétrica	83

3.5.3. Obtención de superficies	90
3.5.4. Creación de Ortoimágenes	96
3.5 Fusión de datos fotogramétricos y TLS	101
Capítulo 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	105
Capítulo 5. CONCLUSIONES	117
5.1. Técnicas geomáticas	120
5.2. Obtención de productos finales	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
Anexo I. Reseña para poligonación	127
Anexo II. Reseñas puntos de control.....	133
Anexo III. Tabla de coordenadas locales para la georreferenciación global...	139
Anexo IV. Tabla de coordenadas globales obtenidas por la georreferenciación	145
Anexo V. Reseñas puntos de apoyo (2º Orden).....	151
Anexo VI. Planos	179

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la estructura del documento del proyecto.	18
Figura 2. Google Earth donde se encuentra ubicado de Qubbet El-Hawa.	27
Figura 3. Vista aérea la ciudad Asuán.	27
Figura 4. Vista panorámica de la necrópolis de Qubbet El-Hawa.	28
Figura 5. Vista desde la terraza superior de la necrópolis de QH.	29
Figura 6. Vista aérea de la necrópolis de Qubbet El-Hawa.	30
Figura 7. Plano en planta y alzado del exterior del conjunto funerario. ¹	31
Figura 8. Conjunto funerario QH31, QH32 y QH33. ²	32
Figura 9. Puerta de entrada a la capilla del complejo funerario QH31.	33
Figura 10. Sección longitudinal y planta del complejo funerario QH31. ⁴	35
Figura 11. Itinerario.	42
Figura 12. Intersección Inversa.	42
Figura 13. Radiación.	43
Figura 14. Medición de tiempo de vuelo.	45
Figura 15. Medición por desfase.	46
Figura 16. Medición por triangulación.	47
Figura 17. Clasificación de los sistemas.	47
Figura 18. Esquema general del escáner láser.	48
Figura 19. Diagrama de fases del proceso fotogramétrico.	52
Figura 20. Fotogrametría convergente.	53
Figura 21. Otra técnica de fotogrametría.	53
Figura 22. Ejemplo del principio de colinealidad.	54
Figura 23. Ecuación de colinealidad.	54
Figura 24. Equipo Leica System 1200.	59
Figura 25. Equipo Leica FlexLine TS06.	60
Figura 26. Diana.	60
Figura 27. Cámara compacta Sony ILCE 5000.	61
Figura 28. Esquema de una cámara compacta.	61
Figura 29. Rotación vertical y horizontal.	62
Figura 30. Equipo Faro Focus 3D X130 HDR.	62
Figura 31. Software Scene.	63
Figura 32. Software Maptek I-Site Studio.	64
Figura 33. Software Agisoft PhotoScan.	64
Figura 34. Software Cloud Compare.	64
Figura 35. Software QSIG.	65
Figura 36. Software Unity.	65
Figura 37. Software Microsoft Word.	65
Figura 38. Software Microsoft Excel.	66
Figura 39. Base B0052 situada en acceso a tumba 32.	67
Figura 40. Método de poligonación.	69
Figura 41. Colocación y medida de la diana.	70
Figura 42. Método de radiación.	70
Figura 43. Coordenadas de puntos de control en archivo ASCII txt.	71
Figura 44. Croquis de las estaciones de escáner láser.	72
Figura 45. Procesamiento y registro automático.	74
Figura 46. Creación de una nube de puntos.	75
Figura 47. Generación de una nube de puntos densa.	75
Figura 48. Coordenadas locales de un punto (TLS).	76

Figura 49. Vista general de los puntos de control de 2º orden.	76
Figura 50. Proceso de transformación de pares de puntos coincidentes.	77
Figura 51. Vista de un punto con sus coordenadas globales.	78
Figura 52. Resultado final tras la limpieza de la nube de puntos.....	78
Figura 53. Falta de compleción por los huecos en el bloque piedra.....	79
Figura 54. Falta de RGB y huecos en la cripta.....	79
Figura 55. Modelo de superficie.....	80
Figura 56. Vista hueco de la estatua.....	80
Figura 57. Falta RGB y compleción por los huecos de las estatuas 1, 2 y 3.....	81
Figura 58. Falta RGB y compleción por los huecos de las estatuas 4, 5 y 6.....	81
Figura 59. Puntos de control.....	84
Figura 60. Parámetros de calibración de la cámara.....	86
Figura 61. Nube de puntos de enlace.....	87
Figura 62. Nube de puntos densa.....	90
Figura 63. Malla con sombreado.....	91
Figura 64. Malla con textura.....	91
Figura 65. Modelo 3D con textura en la cámara de ofrendas.....	92
Figura 66. Modelo 3D con textura en la estatua 1.....	93
Figura 67. Modelo 3D con textura en la estatua 2.....	93
Figura 68. Modelo 3D con textura en la estatua 3.....	94
Figura 69. Modelo 3D con textura en la estatua 4.....	94
Figura 70. Modelo 3D con textura en la estatua 5.....	95
Figura 71. Modelo 3D con textura en la estatua 6.....	95
Figura 72. Modelo 3D con textura de bloque piedra.....	96
Figura 73. Vista superior de bloque piedra.....	96
Figura 74. Croquis de la planta.....	97
Figura 75. Vectores definidores del plano de proyección.....	97
Figura 76. Ortoimagen de estatua 1.....	98
Figura 77. Ortoimagen de estatua 2.....	98
Figura 78. Ortoimagen de estatua 3.....	98
Figura 79. Ortoimagen de estatua 4.....	99
Figura 80. Ortoimagen de estatua 5.....	99
Figura 81. Ortoimagen de estatua 6.....	99
Figura 82. Ortoimagen de cripta (lienzo 1).....	100
Figura 83. Ortoimagen de cripta (lienzo 2).....	100
Figura 84. Ortoimagen de cripta (lienzo 3).....	100
Figura 85. Comparación de nube de puntos con ambas técnicas de la E1.....	101
Figura 86. Comparación de ambas técnicas en la cripta.....	102
Figura 87. Vista lateral derecha de las tres estatuas (estatua 4, 5 y 6).....	103
Figura 88. Vista lateral izquierda de las tres estatuas (estatua 1, 2 y 3).....	103
Figura 89. Vista de la cripta.....	103
Figura 90. Vista inferior de bloque de piedra.....	104
Figura 91. Captura de un producto en PDF 3D sin textura.....	107
Figura 92. Captura de un producto en PDF 3D con textura.....	108
Figura 93. MDT junto las curvas de nivel del terreno en la sala hipóstila.....	109
Figura 94. Creación de un MDT del complejo funerario QH31.....	109
Figura 95. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 1).....	110
Figura 96. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 2).....	110
Figura 97. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 3).....	110
Figura 98. Modelo Digital de Terreno de la planta.....	111

Figura 99. Producto cartográfico general formado por MDE y Ortoimágenes. ...	112
Figura 100. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 1).	112
Figura 101. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 3).	113
Figura 102. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 2).	113
Figura 103. Recorrido virtual 3D aplicado en el software Unity.	114

INDICE DE TABLAS

Tabla. 1. Dimensión de la entrada del hipogeo. ³	34
Tabla. 2. Dimensión (en planta) de la capilla QH31 del complejo funerario. ⁵	36
Tabla. 3. Dimensión general de la sala hipóstila del complejo funerario. ⁶	37
Tabla. 4. Dimensiones del santuario. ⁷	38
Tabla 5. Clasificación según el sistema de medida.	44
Tabla. 6. Característica del instrumento Leica System 1200.	59
Tabla. 7. Característica del instrumento Leica TS06.	60
Tabla. 8. Especificaciones de la cámara Sony ILCE 5000.	61
Tabla 9. Informe de registro de escaneos.	74
Tabla 10. Informe de errores.	77
Tabla 11. Número de fotografías de cada monumento.	83
Tabla 12. Puntos de apoyo de cada monumento.	86
Tabla 13. Número de puntos enlace de cada monumento.	87
Tabla 14. Errores de puntos de control de estatua 1.	88
Tabla 15. Errores de puntos de control de estatua 2.	88
Tabla 16. Errores de puntos de control de estatua 3.	88
Tabla 17. Errores de puntos de control de estatua 4.	88
Tabla 18. Errores de puntos de control de estatua 5.	89
Tabla 19. Errores de puntos de control de estatua 6.	89
Tabla 20. Errores de puntos de control de bloque piedra.	89
Tabla 21. Errores de puntos de control de cripta.	89
Tabla 22. Número de puntos de la nube densa de cada monumento.	90
Tabla 23. Número de caras obtenidas de cada modelo 3D.	92
Tabla 24. Coordenadas que definen los diferentes vectores de los planos.	97
Tabla 25. Ventajas e inconvenientes de ambas metodologías.	121

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas geomáticas son el conjunto de técnicas que tratan del estudio, adquisición, almacenaje, organización, análisis, diseminación, gestión y explotación de información espacial referenciada.

La topografía convencional es una de las técnicas geomáticas y se basa en medir puntos tridimensionales y a partir de la conexión de estos puntos se pueden crear posteriormente otras entidades más complejas. Sistemas como el GPS y la estación total, con medios de observación como la radiación, el itinerario o la poligonación permiten trabajar en espacios grandes sin limitación de tamaño.

Otra técnica geomática es la fotogrametría. Esta técnica se base en el procesado de imágenes fotográficas capturadas con unos requerimientos geométricos. A partir de este procesado fotogramétrico se obtienen productos cartográficos de diferente índole. Al tratarse en técnicas basadas en la fotografía, y teniendo en cuenta que la cámara fotográfica es uno de los instrumentos auxiliares más importantes en los trabajos de registro, ya que este se puede hacer con gran rapidez y de manera automática, son técnicas muy útiles para la documentación del patrimonio.

La técnica basada en el escáner láser es otra de las metodologías utilizadas en el presente trabajo. Es una técnica de registro basada en la captura o medida de millones de puntos en corto periodo de tiempo. Por este motivo, esta técnica es muy útil y utilizada en la documentación del patrimonio. Si bien las cámaras fotográficas capturan información RGB de los objetos con gran calidad, el escáner lo hace con la información geométrica de los mismos, por lo que la función de ambas técnicas y metodologías de trabajo, es muy interesante y útil en la modelización 3D virtual de cualquier tipo de entorno a estudiar. Esto hace que esta fusión tenga un gran potencial en lo relativo a la documentación del patrimonio cultural en general y arquitectónico en particular.

En este Trabajo Fin de Grado se utilizan estas diferentes técnicas geomáticas para la documentación gráfica a partir del modelo tridimensional de la tumba QH31 de la necrópolis de Qubbet El-Hawa en la ciudad Asuán (Egipto). Analizando al final del mismo las correspondientes ventajas e inconvenientes de unas y otras, y las

ventajas de la fusión de las mismas para la obtención de modelos 3D y productos cartográficos derivados de los mismos.

1.1. Estructura del documento

El presente documento del Trabajo Fin de Grado se ha estructurado en diferentes capítulos para de una manera clara abordar los diferentes objetivos planteados en el mismo.

El documento está compuesto por cinco grandes bloques, correspondientes a los capítulos uno, dos, tres, cuatro y cinco, y una pequeña parte destinada a la parte de bibliografía y anejos. A continuación se presenta de forma esquematizada un gráfico con los cinco capítulos que conforman el presente documento:

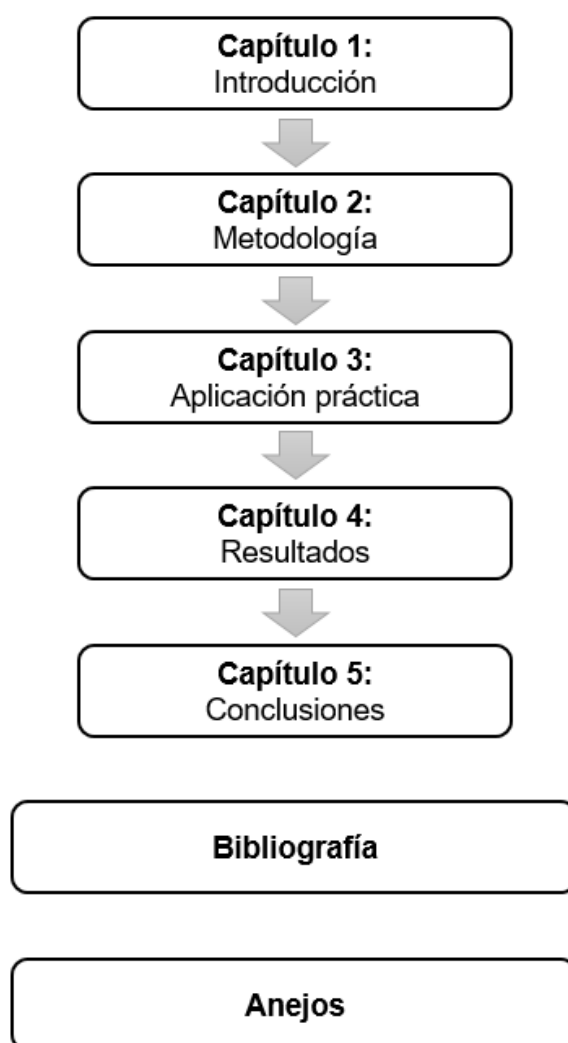


Figura 1. Diagrama de la estructura del documento del proyecto.

En líneas generales, el contenido de cada uno de estos cuatro capítulos se puede resumir de la siguiente manera:

- Capítulo 1. Introducción: Donde se recogen todos los temas introductorios como los antecedentes, objetivos y justificación.
- Capítulo 2. Metodología: Recoge los fundamentos teóricos básicos relacionados de las técnicas geomáticas utilizadas en alguna de las fases de ejecución de este proyecto, como son la topografía clásica y los métodos de poligonación y radiación; la fotogrametría de objeto cercano y el escáner láser terrestre o TLS.
- Capítulo 3. Aplicación práctica: En él se recoge la aplicación de las técnicas antes descritas aplicadas al caso práctico que se presenta en este proyecto, como es el complejo funerario AH31 de la necrópolis Qubbet El-Hawa. Con el procesado de los datos capturados en la campaña de 2018.
- Capítulo 4. Resultados: En este capítulo se presentan los distintos resultados obtenidos, tanto directos de cada una de las técnicas utilizadas como derivados de la posterior fusión de ambas.
- Capítulo 5. Conclusiones: Contiene los comentarios personales y las conclusiones extraídas de la aplicación práctica de la metodología empleada y sus resultados. Haciendo hincapié en las ventajas e inconvenientes, si existieran, de la aplicación de estas técnicas en este tipo de trabajos de documentación.
- Bibliografía y anejos: los dos últimos apartados están reservados para la bibliografía utilizada para la realización del trabajo aquí expuesto, y los diferentes anejos necesarios para presentar con más detalle algunos resultados parciales o finales obtenidos, así como información auxiliar de interés como reseñas de puntos utilizados.

1.2. Descripción del proyecto

En este proyecto se ha abordado en diferentes etapas involucradas en los trabajos geomáticos para la documentación tridimensional mediante fotogrametría y técnicas de TLS del complejo funerario QH31 de la necrópolis de Qubbet El-Hawa. Estas se pueden agrupar en tres fases

- Captura de información.
- Procesado de la información.
- Resultados y conclusiones.

La primera etapa o de captura de la información comienza con el análisis de la zona de trabajo y con la implementación de la red que transferirá el sistema de referencia al levantamiento. Posteriormente, se densificará la red en el interior de la zona para finalmente llevar a cabo las capturas necesarias tanto desde el punto de vista fotogramétrico como del escáner láser terrestre. El autor de este proyecto no lleva a cabo la realización de esta etapa.

En la segunda etapa, se lleva a cabo todo el procesado de los datos brutos, orientando los diferentes bloques fotogramétricos y de TLS, para posteriormente obtener los diferentes productos primarios y los consecuentes productos derivados. Para ello se trabajará de manera independiente con cada conjunto de datos y posteriormente se fusionarán los resultados para poder obtener productos derivados de dicha fusión.

Por último, la tercera etapa consistirá en la preparación de los diferentes productos fotogramétricos y cartográficos, de cada una de las técnicas y se analizarán las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, así como el resultado de la fusión de ambas.

1.3. Antecedentes

La topografía ha ido evolucionando a lo largo de la historia y ha estado ligada a la astronomía, astrología y las matemáticas. La geometría para los griegos era la medición de la tierra. La topografía ya existió según la documentación histórica en Egipto desde el año 1400 a.C. cuando ese país dividió su terreno en parcelas con el fin de cobro de impuestos; a estos “topógrafos” antiguos se les denominaba “cordeleros” porque usaban cuerdas (con marcas a ciertos intervalos) para poder realizar sus mediciones. En la época romana también se introducirían muchos avances en cuanto a la topografía, realizando grandes proyectos como trazado de ciudades, campos militares y caminos. Los tres instrumentos más utilizados por los romanos fueron: el odómetro, la groma y el chorobate.

La fotogrametría es la ciencia que puede determinar las características métricas y geométricas de los objetos además de sus situaciones espaciales a partir de la captura de imágenes fotográficas tomadas por medio de sensores terrestres, aéreos o satelitales. La consecución de estas características se produce una vez que se ha establecido, mediante la aplicación del modelo matemático concreto, una relación geométrica entre las imágenes y la situación real en el momento de la toma. La fotogrametría se aplica sobre todo en el ámbito cartográfico, sin embargo, hay otros ámbitos en los que se aprovecha, a día de hoy, de las ventajas que la fotogrametría terrestre (fotogrametría de objeto cercano) o bien aérea ofrecen. Estos ámbitos principales de uso de la fotogrametría pueden ser:

- Bienes Culturales (documentación, catalogación y monitorización).
- Gobierno de un territorio o de una ciudad (actualización de las cartografías, construcciones ilegales, dimensiones de cuadras y edificios, etc.).
- Monitoreo del ambiente (cambios que surgen en el territorio por causa del hombre o de contextos naturales como los deslizamientos de tierra y avalanchas).

La fotogrametría se data en la mitad del siglo XIX, pero solo a finales de los años 90 ha habido cambios importantes a causa por la introducción de sensores digitales y la posibilidad de utilizar las nuevas tecnologías de la informática para el

procesamiento de las imágenes. A los principios del siglo XXI tenían problemas en el procesamiento de datos “mediante las anticuadas técnicas del Manual Data Processing” que afectaron la disminución de interés en las técnicas fotogramétricas a cambio se evolucionaron en el desarrollo de los escáneres láser. En el año 2005 y 2006 la fotogrametría vuelve a su nivel de uso tras años de estancamiento gracias a las nuevas fórmulas y la realización de algoritmos de automatización que permiten, trabajando en softwares especiales, y de ahí generan nubes de puntos densas con una exactitud similar que los sensores activos.

1.4. Justificación

Las técnicas y los instrumentos para la documentación digital del patrimonio tienen dos exigencias principales: por un lado fijar con claridad, exactitud y precisión los campos de aplicación de los mismos y por otro cumplir los acuerdos previos para conseguir el funcionamiento correcto de los instrumentos de captura de datos 3D más utilizados en el ámbito en la documentación del patrimonio. Para ello se ha de analizar con exigencia cuáles son sus puntos fuertes y sus puntos débiles, y posteriormente analizar las técnicas de modelación 3D a partir de los datos obtenidos por medio de estos levantamientos digitales.

La evolución de las metodologías de levantamiento y de modelado digital en 3D, con el apoyo de nuevos sistemas que tienen la capacidad de visualización de los datos digitales, ha supuesto un importante avance para los trabajos de arqueología, que tiene como algunas de sus finalidades, la restauración, la documentación, la catalogación y la divulgación. Con todo esto se puede plantear trabajar con distintas técnicas, metodologías y productos para la representación gráfica. Los productos se permiten diferenciar por su valor métrico, lo que hace que con estas representaciones del objeto documentado en tres dimensiones, se puedan obtener infinidad de medidas y productos derivados al disponer del objeto documentado en su totalidad.

Las herramientas y las técnicas utilizadas en este trabajo han sido el escáner láser 3D y la fotogrametría de objeto cercano. Aunque se trata de técnicas de captura similares, la fotogrametría es una técnica de observación indirecta mientras que el escáner láser es una técnica de observación directa. Por otro lado, el procesado de los datos y los productos primarios obtenidos no son exactamente los mismos. Por un lado se obtiene información visible de gran resolución (fotogrametría) y por otro se obtiene información geométrica de gran calidad (TLS – Terrestrial Laser Scanner). Trabajar con ambas técnicas, requiere por tanto, de un conocimiento multidisciplinar, conocimiento que por otro lado, reúne el ingeniero en geomática. Para poder trabajar de manera conjunta con estas técnicas y aprovechar y rentabilizar los resultados será necesario evaluar la eficacia y utilidad del levantamiento digital sabiendo conocer el potencial y el funcionamiento básico de estas tecnologías.

Actualmente la técnica de levantamiento digital 3D mediante estas técnicas, tiene mayor complejidad que la mayoría de los métodos de levantamiento “directo” en arqueología de uso común. No obstante el problema debido principalmente al uso y manejo de los datos en 3D, se compensa con el alto nivel de análisis de la información geométrica y colorimétrica, con un menor tiempo en la captura de la información y un porcentaje de precisión muy superior. Y para esto solo interesa la obtención en soporte digital de la distribución en el espacio de las superficies externas o internas (en caso de trabajar en interiores) de un objeto por lo que en principio no hay ningún inconveniente para estas técnicas. Los sensores tridimensionales son unas herramientas que pueden generar una imagen en tres dimensiones del encuadre de una escena.

En la tolerancia de las copias digitales para la comparación con los datos reales depende del tipo de instrumento y de la metodología utilizada en función del objetivo que debe cumplir el modelo digital, de las propiedades geométricas y materiales del objeto y de las condiciones ambientales en las que se debe hacer el levantamiento.

Para la comparación de diferentes tecnologías, la mejor elección es orientar un levantamiento digital basado en una fusión de distintas metodologías y técnicas de modelado tridimensional. De hecho, los datos 3D obtenidos a partir de los sistemas range-based (escáner láser) e image-based (fotogrametría) permiten enlazarse e integrarse fácilmente.

1.5. Motivación y objetivos

La motivación de este proyecto está ligada principalmente a la superación de la asignatura de carácter obligatorio de Trabajo Fin de Grado correspondiente al plan de estudios de la titulación del Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica de la Escuela Politécnica Superior en la Universidad de Jaén.

El alcance de esta asignatura que a lo largo de la carrera donde se han conseguido las competencias de diferentes conocimientos requeridos de dicha titulación para poder desarrollar el trabajo de gran importancia, y además será un paso significativo en la situación de la vida profesional.

En el caso de este proyecto, la realización de este trabajo se ha establecido de acuerdo con la Normativa de Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior de Jaén, tiene una personalización más profesional en el ámbito de las técnicas geomáticas.

1.5.1. Objetivos formativos

Como objetivo personal de formación, la elección de este proyecto y su realización, está la formación complementaria y específica en el ámbito de las técnicas geomáticas aplicadas a la documentación del patrimonio. Para lo que será necesario abarcar un proyecto de este tipo y abordar las distintas fases de un proyecto real de esta índole. Como objetivos formativos en estos estudios podríamos numerar:

- Integrar y finalizar los estudios en la Ingeniería Geomática y Topográfica, con la capacidad de aprender y mejorar el trabajo tanto de la instrucción, técnicas y metodologías geomáticas -entre ellas la fotogrametría digital y el escáner láser, la integración de las técnicas geomáticas, o la georreferenciación de datos espaciales-, como sus herramientas de trabajo.
- Tener la formación de la parte teórico y práctica para la realización completa de un proyecto geomático encaminado hacia la obtención de distintos productos derivados.

1.5.2. Objetivos específicos

Hace referencia a aquellos objetivos concretos de este proyecto, se centran en la evaluación de las técnicas geomáticas basadas en fotogrametría digital y en el escáner láser terrestre, y por otra parte analizar las posibilidades de trabajo conjunto de ambas técnicas, con el objetivo de aprovechar las ventajas y evitar las debilidades que pudieran tener cada una de estas técnicas por separado. En este sentido específico se esperan conseguir resultados tales como:

- Análisis de las posibilidades de estas dos metodologías trabajando de manera individualizada en la obtención del Modelo Digital 3D con información radiométrica precisa. De ahí se analizará sus precisiones, viabilidad, ventajas e inconvenientes de las mismas.
- Para ello se generará para la misma zona de estudio, un modelo digital de superficie fusionado a partir de ambas técnicas aquí analizadas con el resultado de obtener la compleción del producto 3D.
- Obtención de productos para la documentación, como modelos digitales del terreno, ortoimágenes, secciones, o cualquier otro producto derivado del modelo 3D.
- Obtención de productos para el archivo de la documentación y la divulgación del mismo. Como modelos 3D en formato estándar OBJ, PDF-3D, videos divulgativos, recorridos virtuales, etc.

En este apartado se ha de destacar que como objetivo específico no se plantea la captura de la información, solo el procesado de la misma, dado que esta información bruta ya estaba disponible de la campaña de excavación arqueológica de 2018 realizada por miembros del Grupo de Investigación Sistemas Fotogramétricos y Topométricos de la Universidad de Jaén.

1.6. Descripción del fenómeno bajo estudio

1.6.1. Situación geográfica

La Necrópolis de Qubbet El-Hawa está situada a unos mil kilómetros al sur de El Cairo actual capital de Egipto (figura 2).



Figura 2. Google Earth donde se encuentra ubicado de Qubbet El-Hawa.

La situación de la necrópolis se encuentra en la colina (marcado en rectángulo rojo) situada en la orilla oeste del Nilo en frente de la moderna ciudad de Asuán, a menos de un kilómetro al norte de Elefantina (figura 3).



Figura 3. Vista aérea la ciudad Asuán.

1.6.2. Topografía

La colina de Qubbet el-Hawa es la elevación más alta en las inmediaciones en el río Nilo cerca de la isla de Elefantina. Tiene una altitud de unos 180 metros sobre el nivel del mar (unos 90 metros sobre el actual nivel del río Nilo). Está emplazada por tanto en una zona estratégica del paisaje dado que la necrópolis se puede ver desde el valle del Nilo, lo que le da una cualidad extraordinaria. El relieve topográfico tiene la forma de una "gran mastaba natural", que puede ser unos de los indicios por los que los gobernadores y altos funcionarios de Elefantina la eligieron como su zona de enterramiento.

“En la ladera sureste presenta una pendiente muy pronunciada, más o menos continua, desde la cima de la colina hasta la orilla del Nilo. Por el contrario, en la ladera noreste la pendiente es más suave en su parte superior pero presenta un cambio importante a media altura, a partir del cual la pendiente vuelve a ser bastante acusada, para terminar finalmente en una llanura junto a la margen del río (ver figura 4)”.



Figura 4. Vista panorámica de la vertiente sureste de la necrópolis de Qubbet El-Hawa.

Tal y como indica la descripción anterior los cambios de pendiente en la ladera noreste de la colina de Qubbet El-Hawa formaba una terraza natural, ésta fue aprovechada para la construcción de los primeros hipogeos de la necrópolis que a lo largo del tiempo, mediante los trabajos del tallado progresivo de las laderas se han influenciado en la transformación de varias terrazas artificiales.

Desde la terraza superior de la necrópolis se puede observar y acompañar al río Nilo a su paso por la isla de Elefantina (figura 5).



Figura 5. Vista desde la terraza superior de la necrópolis de QH.

1.6.3. Geología

La situación geológica para la selección de esta terraza de esa zona para la construcción de los hipogeos, no cabe la menor duda que tiene que estar relacionada con la existencia de una buena capa de piedra arenisca de grano fino que ayuda para una excavación más fácil y la decoración tallada. Las tumbas están situadas bajo el estrato de arenisca que tiene la mayor proporción de hierro para su aprovechamiento como techo de los hipogeos, lo que les da mayor estabilidad.

1.6.4. La necrópolis QH31

En descripción general, la necrópolis de Qubbet el-Hawa (figuras 6) durante la temporada de sus excavaciones han sido hallados más de sesenta tumbas equiparadas en varias terrazas superpuestas, para los hipogeos más importantes y monumentales se sitúan en la terraza superior, entre las cotas 130 y 135 m.s.n.m.



Figura 6. Vista aérea de la necrópolis de Qubbet El-Hawa.

Los más importantes hipogeos compuestos han sido clasificados como QH31, QH32 y QH33 (figura 7) en la que se encuentran excavados en roca desde la terraza de la vertiente sureste. Este conjunto, al contrario de lo que sucedía con la vertiente noreste, era visible desde la capital de la provincia en ese momento, Elefantina.

A continuación se representa un plano de los hipogeos más importantes del conjunto funerario de QH31 a QH34 que presenta en planta y alzado del exterior (ver figura 6).

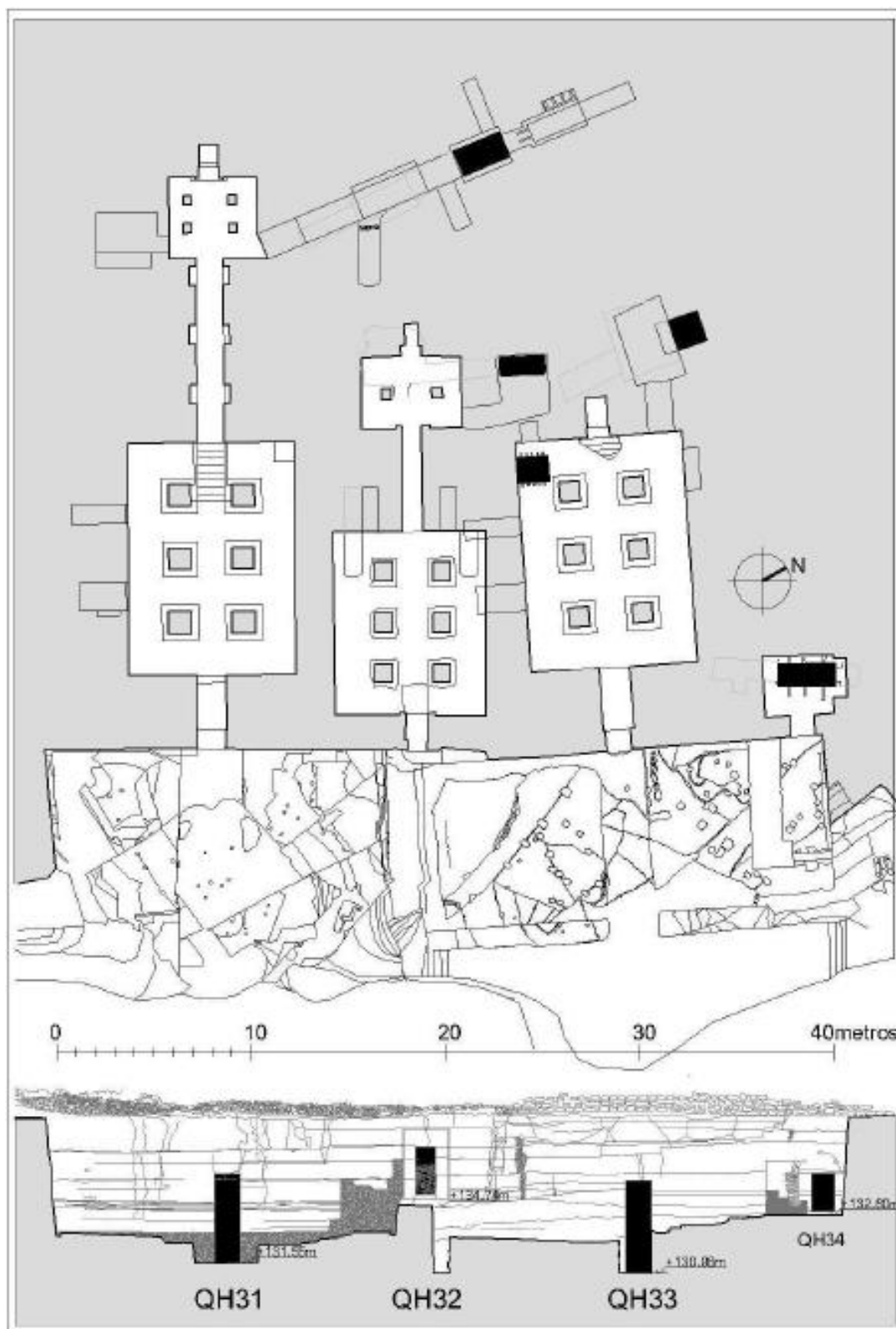


Figura 7. Plano en planta y alzado del exterior del conjunto funerario.¹

¹ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 175.

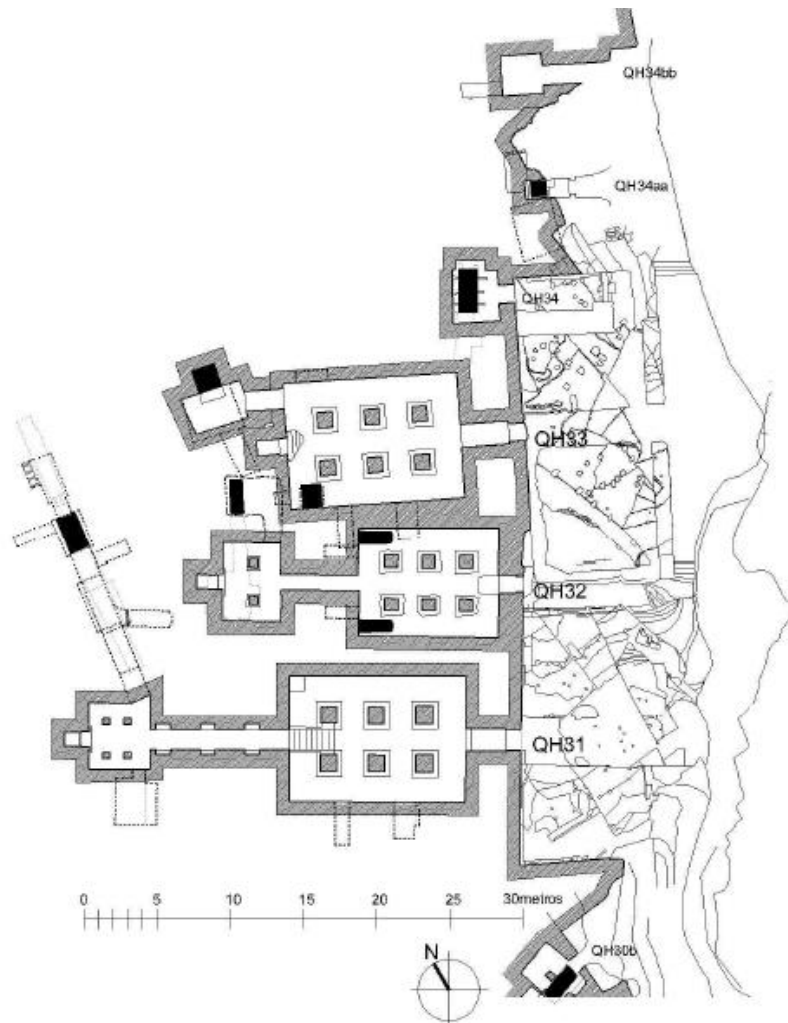


Figura 8. Conjunto funerario QH31, QH32 y QH33, y otras tumbas de su entorno.²

Por ahora se hará la descripción completa detalladamente de la necrópolis QH31 que está relacionado en este proyecto.

- ***Fachada y patio.***

La fachada del conjunto funerario QH31 ha sido cortada formando un plano “bastante más retranqueado” de esta vertiente de la colina. Se alaba un recinto que rodea los patios queda delimitado y soportado en sus dos extremos laterales, por paredes verticales “ligeramente atauladas”, con su borde superior inclinado que continúan la línea de pendiente de la ladera.

² Martínez Hermoso, J.A. (2017): 161.

Sobre todo esto es debido a la propiedad sedimentaria de su origen, las masas rocosas areniscas están formada en estratos horizontales de diferentes espesores. Sin embargo, en el patio del complejo funerario se puede comprobar que los estratos de la roca, en el muro lateral, no se alinean en líneas horizontales sino que forma una pequeña inclinación descendente en la dirección hacia la tumba.

- ***Puerta del complejo funerario QH31.***

La siguiente descripción detalla que “la puerta carece del rebaje rectangular perimetral y en la fachada no se había finalizado el tallado y pulido” (ver figura 9).

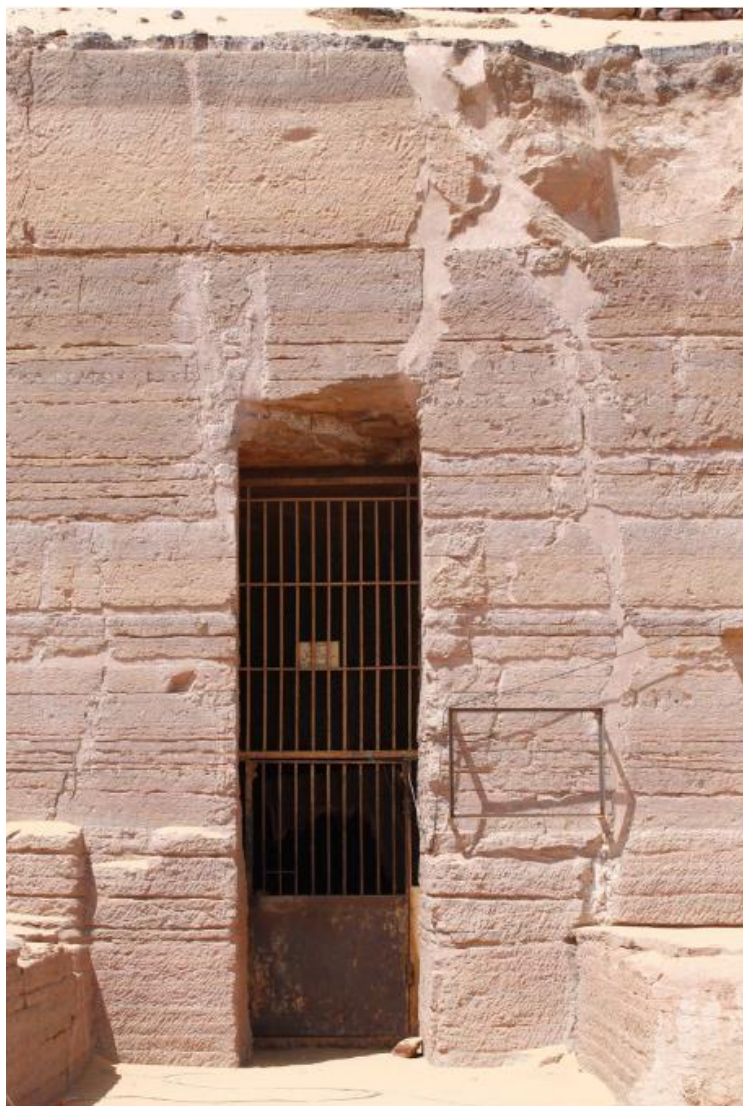


Figura 9. Puerta de entrada a la capilla del complejo funerario QH31.

La extensión de la puerta QH31 fue excavada al principio en el centro de la fachada pero no se han cumplido las dimensiones pero no era apropiado con otras puertas de los hipogeos, por lo tanto se saltaron las normas y al final se excavaron de dimensiones mucho mayores que destacan la mayor extensión con alturas de casi 5.00 metros (tabla 1).

	QH31
Puerta	
altura (m)	4.20
anchura (m)	1.30
espesor (m)	1.05
Túnel de acceso	
altura (m)	4.30
anchura (m)	1.55
espesor (m)	2.65
Muro de fachada	
Espesor total (m)	3.70

Tabla. 1. Dimensión de la entrada del hipogeo.³

Por otra parte la cota del suelo en el umbral de la puerta de entrada está situado 0.70 m por encima de la sala de hipóstila, y de ahí descendiendo hasta los 0.55 m al llegar a la sala. Al encontrar este desnivel en sentido descendente se ha formado con dos escalones, el último con una altura desproporcionada.

En la delimitación de los espacios del complejo funerario de QH31 ha sido excavado en sentido transversal (perpendiculares al eje central, que va desde la puerta de entrada hasta la puerta falsa). La profundidad de la capilla es mucho mayor que el resto de hipogeos, en la que ha alcanzado con una profundidad de casi 30 m (figura 10).

³ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 187.

⁴ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 205.

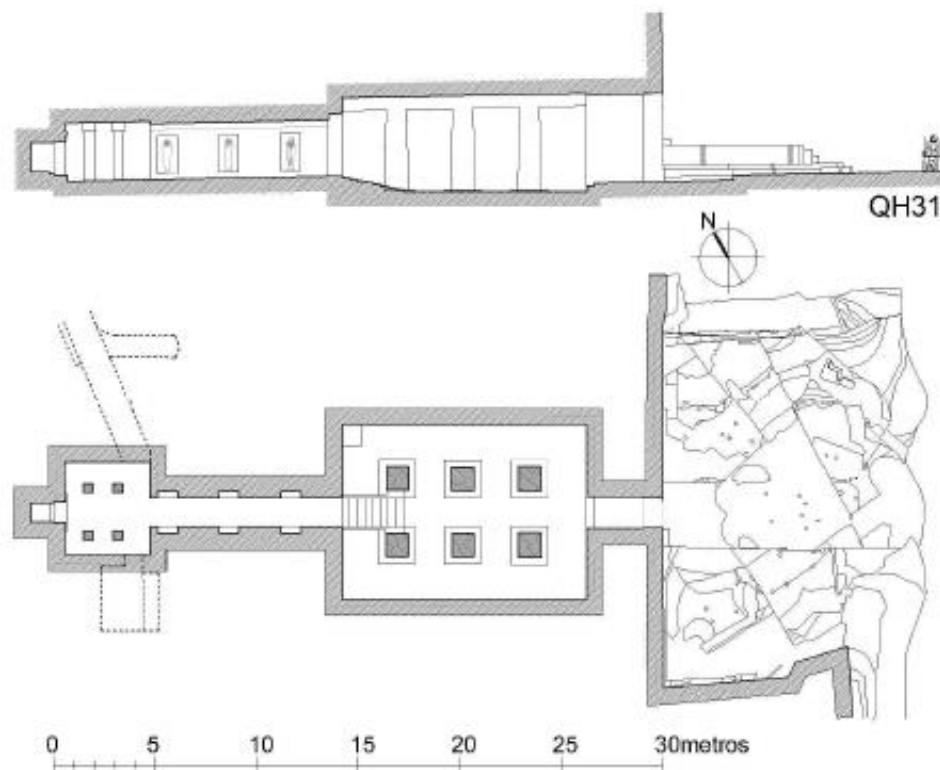


Figura 10. Sección longitudinal y planta del complejo funerario QH31.⁴

- **La capilla funeraria.**

Sabiendo que la capilla del complejo funerario QH31 es la más profunda de la necrópolis, lo que nos da una idea de la gran importancia que llegó a alcanzar su propietario, Sarenput II, ya que cuanto más alta era la posición del gobernante, más grande era la tumba.

	QH31
Puerta entrada	
ancho (m)	1.30
fondo (m)	1.05
Superficie (m ²)	1.37
Túnel de acceso	
ancho (m)	1.55
fondo (m)	2.65
Superficie (m ²)	4.11
Sala de pilares	
ancho (m)	8.55
fondo (m)	12.05
Superficie (m ²)	103.03

Corredor	
ancho (m)	1.45
fondo (m)	9.45
Superficie (m ²)	19.11
Cámara de culto	
ancho (m)	4.50
fondo (m)	4.20
Superficie (m ²)	19.11
Total profundidad	29.40
Total superficie	141.32

Tabla. 2. Dimensión (en planta) de la capilla QH31 del complejo funerario.⁵

La dimensión de la capilla del complejo funerario QH31 como sabe es una de las mayores extensiones de la necrópolis de Qubbet El-Hawa (tabla 2). La mayor extensión se comprueba en la suma de todos los espacios interiores que componen esta estructura funeraria, exceptuando el santuario y otras cámaras auxiliares, ya que los espacios de la capilla se ha alcanzado más de 140 m².

“Sobre todas ellas destaca la capilla del complejo funerario QH31, que se construyó con unas proporciones monumentales más grandes que el resto de hipogeos”¹⁵, ya que sólo la sala de hipóstila tiene una superficie en planta que alcanza unos 100 m².

- **Sala hipóstila.**

La sala hipóstila del complejo funerario QH31 se caracterizan por la utilización sistemática, su estructura son portantes, de grandes pilares fuertes de sección cuadrada (tabla 3). Es una de las extensiones más monumentales, que no solo aumentan el tamaño en planta sino que también en altura, es una de las construcciones de la sala de pilares que alcanza el espacio arquitectónico de mayor calidad y grandeza de la arquitectura funeraria en la necrópolis de Qubbet El-Hawa.

⁵ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 202.

⁶ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 214.

	QH31
Profundidad (m)	12.05
Anchura (m)	8.55
Superficie (m ²)	103.03
Altura pared E (m)	4.90
Altura pared OE (m)	4.50
Volumen (m ³)	484.24
Nº de pilares	6 ud.
Pilares/m ²	17.17
Pilares/m ³	80.71

Tabla. 3. Dimensión general de la sala hipóstila del complejo funerario.⁶

- ***El corredor de acceso.***

El techo en el corredor de la capilla de QH31 tiene la forma de “abovedado”. En el corredor, el suelo y el techo se han seguido en forma paralela pero tiene pequeña inclinación en la dirección este-oeste a medida que se avanza hacia el interior en la cámara de ofrendas, la excavación se ha seguido en el estrato de la roca. La dimensión en el corredor tiene una anchura de 1.45 m y una longitud de 9.45 m, y una altura en el arranque de la bóveda de 2.45 m aumentando hasta en el centro de 2.70 m. De ahí en las laterales del corredor llevan puestos huecos en forma rectangular de seis estatuas ambas en tres, de altura más o menos como una persona.

- ***Cámara de ofrenda.***

En la cámara de ofrendas la estructura de los soportes había cuatro ambos en dos y se componen de dos partes, el pilar propiamente dicho y un remate superior (una especie de capitel) de 0.45 m de altura que sobresale unos 5 cm de cada una de las caras del pilar.

El techo y el suelo ha sido excavados en forma paralelas con una pequeña inclinación encaminada a la dirección de los estratos de la roca, que la cámara tiene una altura media de 2.80 m, es el mayor que en los hipogeos anteriores.

- ***El santuario de la estatua del difunto.***

La última descripción del conjunto funerario, el interior del santuario era el espacio situado detrás de la puerta, más elevado (tiene un escalón elevado) y estrecho pero con mayor profundidad, destinado a reposar la estatua del difunto. Se ha excavado directamente en la roca y, después es revestido con losas de piedra con el fin de que los artistas se emplean en ello un fondo adecuado para decorarlo con pinturas murales (naos) en honor al difunto.

	QH31
Elevación (m)	+0.37
Jamba de la puerta	
Ancho (m)	1.03
Fondo (m)	0.53
Alto(m)	1.56
Zona de la estatua	
Ancho (m)	0.96
Fondo (m)	1.14
Alto (m)	1.33

Tabla. 4. Dimensiones del santuario.⁷

En conclusión el complejo funerario QH31, para llegar hasta allí hay que ascender nueve escalones para el acceso hasta el corredor y por la que se accede a la cámara de culto había que sumar la altura del escalón elevado sobre la que se eleva del suelo de ésta última cámara y en el interior del naos había otros dos peldaños más hasta el lugar donde fue situada el enterramiento del difunto.

⁷ Martínez Hermoso, J.A. (2017): 249.

Capítulo 2. METODOLOGÍA

En este apartado se hace referencia a los fundamentos teóricos básicos relacionados con las técnicas geomáticas utilizadas en la ejecución de este proyecto, tales como la topografía y los métodos de observación empleados, las técnicas basadas en escáner láser terrestre y finalmente la fotogrametría.

2.1. Topografía

En todo levantamiento, ya sea con láser escáner o con fotogrametría, normalmente será necesario el uso de la topografía para llevar el sistema de referencia del proyecto al que pertenece dicho levantamiento. Este sistema puede ser un sistema de referencia local o un sistema de referencia global. Esta circunstancia puede determinar el tipo de instrumental a utilizar. Por otro lado, las dimensiones del sitio a levantar, y las características propias del entorno u objeto, pueden limitar o forzar el uso de un instrumental u otro.

Normalmente, cuando se necesita un sistema de referencia global, el instrumental más apropiado es el GPS que no se va a ver limitado por la necesidad de visibilidad entre los distintos puntos que intervengan en el levantamiento (estación base y móvil). Por otro lado, su uso está condicionado por la necesidad de disponer de un horizonte despejado, por lo que, en interiores, fachadas, o zonas muy cercanas a obstáculos no es útil el uso de sistemas GNSS.

La estación total es otro de los instrumentos más utilizados en topografía, y cubre las limitaciones que presentan las técnicas GNSS, puesto que permite medir cualquier objeto que sea visible desde la estación, ya sea con prisma o con medida a sólido. Este instrumental, junto con los métodos de observación de itinerario, radiación e intersección inversa, cubrirá todas las necesidades que se presentan en levantamientos o medidas topográficas en interiores o zonas sin horizonte despejado. Por este motivo a continuación se explica con más detalle en qué consisten métodos de observación:

- El itinerario, es una secuencia de puntos estación unidos por visuales recíprocas (adelante y atrás), y que van formando tramos añadiendo puntos de coordenadas conocidas a partir de lecturas de ángulos y distancias desde estaciones previamente conocidas. Estos itinerarios podrán ser

cerrados o abiertos, y estos a su vez pueden empezar y acabar en puntos conocidos o quedar colgados, produciéndose un error acumulado proporcional a la distancia (nº de estaciones) de dicho itinerario.

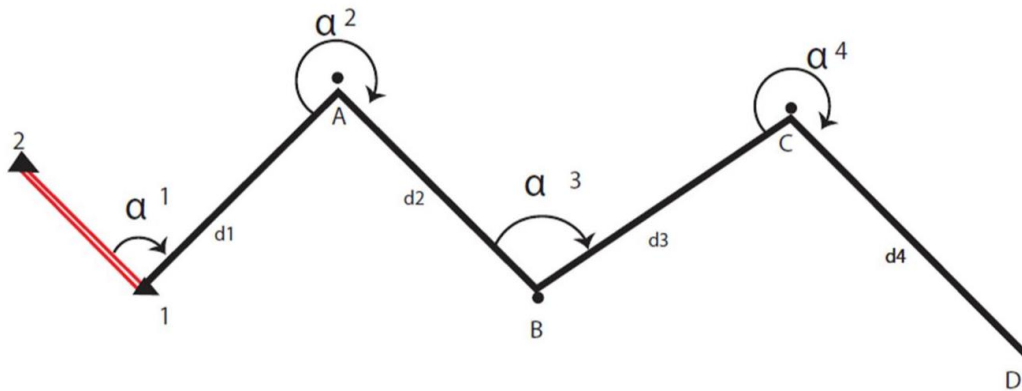


Figura 11. Itinerario.

- La intersección inversa es un método que se utiliza para dar coordenadas a un punto desconocido a partir de varios de coordenadas conocidas. Para ello se necesita un mínimo de tres puntos y se resuelve mediante el método de Pothenot.

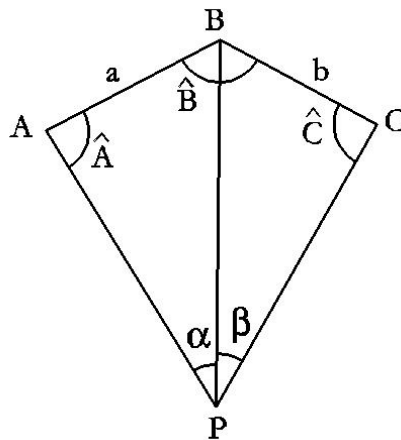


Figura 12. Intersección Inversa.

- La radiación, es el método más simple en el que se basa la medida de puntos desde una estación. Para ello una vez estacionado en un punto de coordenadas conocidas y con la estación orientada (origen interno de los ángulos coincidente con el del sistema de referencia) se podrá dar coordenadas a cualquier punto visado mediante la observación de los ángulos (horizontal, vertical) y la distancia a este.

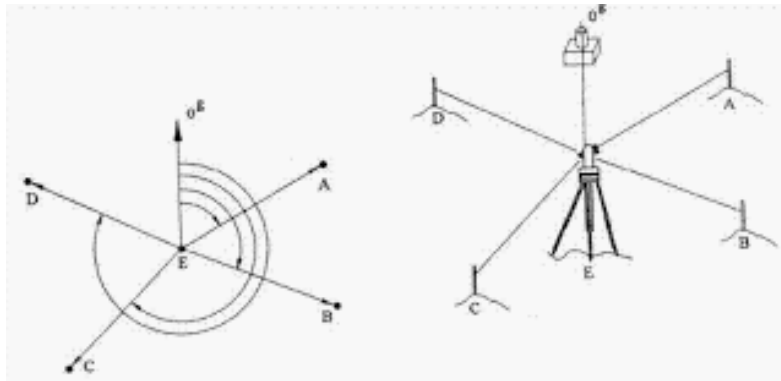


Figura 13. Radiación.

2.2. Escáner láser 3D

El escáner láser es una tecnología que permite capturar millones de puntos en intervalos de tiempo muy cortos, por lo que se puede decir que este instrumento tiene mucho potencial y por lo tanto es muy utilizado en el registro para la documentación del patrimonio. Existen distintos sistemas, en función de su tecnología, en función de su metodología de captura, e incluso en función de su ámbito de trabajo.

En cualquier caso, la metodología de trabajo es muy similar en todos ellos. Se parte de una serie de escaneos del mismo objeto desde distintos puntos de vista, para posteriormente orientar todas las tomas en el mismo sistema de referencia y finalmente (si fuese necesario) llevar la nube de puntos completa al sistema de referencia marcado.

Por lo tanto, como producto final del trabajo de un escáner láser 3D se crea una nube de puntos a partir de la cual se puede extrapolar la forma del objeto.

2.2.1. Tipos de escáner

El láser escáner es un sistema activo de captura, dado que emite una señal para obtener la representación del objeto escaneado. El requisito de funcionamiento de un escáner láser 3D puede cambiar según del tamaño del objeto a levantar y, como resultado, según la distancia entre el sensor y el mismo objeto. De ahí que existan distintas tecnologías según la distancia de escaneo y la precisión y resolución del resultado. Como es natural, estas dos variables (distancia de escaneo y precisión y resolución) van a estar muy relacionadas. En la tabla adjunta se puede observar una clasificación en función el sistema de medida.

Según el sistema de medida	Según el alcance y la precisión
Tiempo de vuelo	Gran alcance Precisiones bajas (7-70 mm)
Diferencia de fase	Medio alcance Precisiones medias (< 10 mm)
Triangulación óptica	Corto alcance Precisiones altas (< 1 mm)

Tabla 5. Clasificación según el sistema de medida.

Para los volúmenes superiores (grandes tamaños o grandes distancias) se utilizan sensores de medición del tiempo de vuelo (TOF, Time of Flight). Esta medición se basa en dos puntos definidos:

- Determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz. Como la velocidad de la luz C es conocida, el tiempo del viaje de ida y vuelta determina la distancia del viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie. Si T es el tiempo del viaje completo, entonces la distancia es igual a $(C * T)/2$. Claramente la certeza de un escáner láser de tiempo de vuelo 3D depende de la precisión con la que se puede medir el tiempo T ; 3,3 picosegundos (aprox.) es el tiempo requerido para que la luz viaje 1 milímetro. Se utilizan láseres visibles (verdes) o invisibles (infrarrojo cercano).
- El distanciómetro láser sólo mide la distancia de un punto en su dirección de la escena. Para llevar a cabo la medida completa, el escáner va variando la dirección del distanciómetro tras cada medida, bien moviendo el distanciómetro o deflectando el haz mediante un sistema óptico. Este último método se usa comúnmente porque los pequeños elementos que lo componen pueden ser girados mucho más rápido y con una precisión mayor.

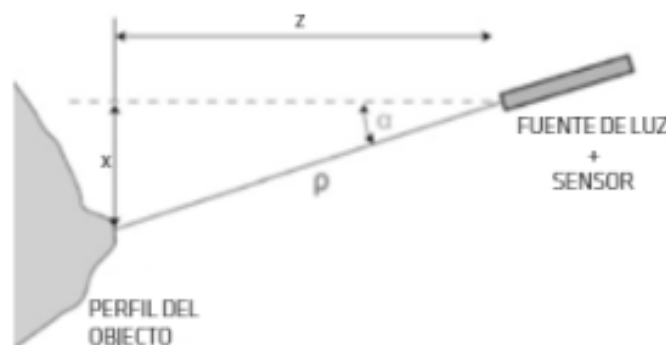


Figura 14. Medición de tiempo de vuelo.

Para los siguientes volúmenes medianos se suelen aplicar escáner láser de medición de diferencia de fase.

- Este tipo de escáner mide la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida, y utiliza dicha medida para estimar la distancia al objeto. El haz láser emitido por este tipo de escáner es continuo y de potencia modulada.
- La longitud de onda λ de la señal de medición, vuelve con retraso DELTA FASE, que es convertido en Distancia, de acuerdo a la fórmula.

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

$$\Delta t = \frac{\Delta \phi}{2\pi f}.$$

$$s = \frac{1}{2} \left(N \cdot \lambda + \lambda \frac{\Delta \phi}{2\pi} \right)$$

- N, es el factor de Ambigüedad, es decir el numero entero de longitudes de onda que viajan, más la parte final DELTA FASE. Se construyen en forma tal, que envían varias longitudes de onda al mismo tiempo, y un procesador digital las separa y las calcula en forma paralela.”²².

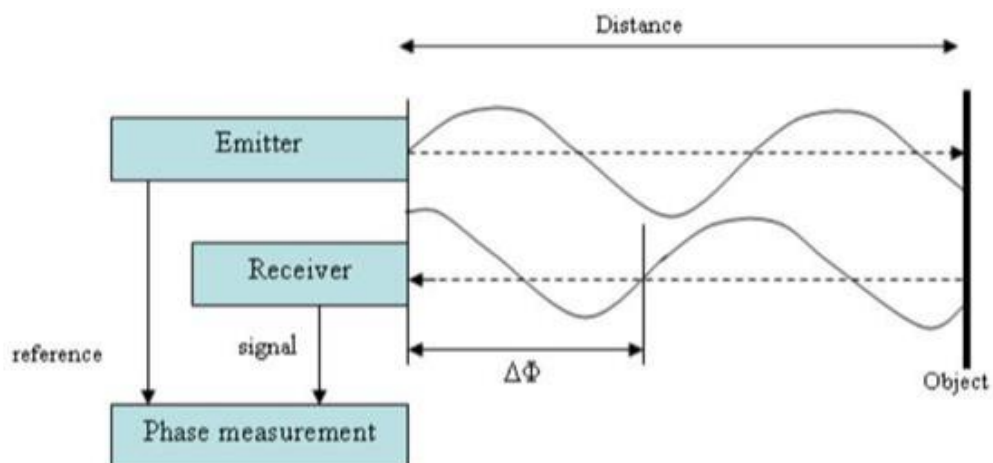


Figura 15. Medición por desfase.

Por último, para volúmenes de tamaño desde pequeño hasta mediano, aproximadamente de menos de 1 metro cúbico o distancias muy cortas, los escáneres habituales son los basados en el principio de medición por triangulación. Esta medición de triangulación se basa en dos puntos definidos:

- El escáner láser de triangulación 3D es un escáner activo que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.
- Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo, donde se conoce la longitud del lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser y el ángulo del vértice del emisor de láser. Y donde se puede conocer el ángulo del vértice de la cámara (paralaje) mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

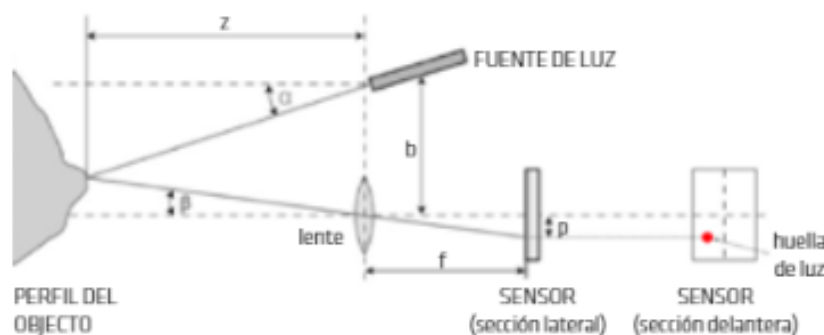


Figura 16. Medición por triangulación.

Otra manera de clasificar los escaner laser terrestres es según el modo de barrido de los mismos. Así pueden existir escaner de cámara, panorámicos o híbridos. (ver figura 17)

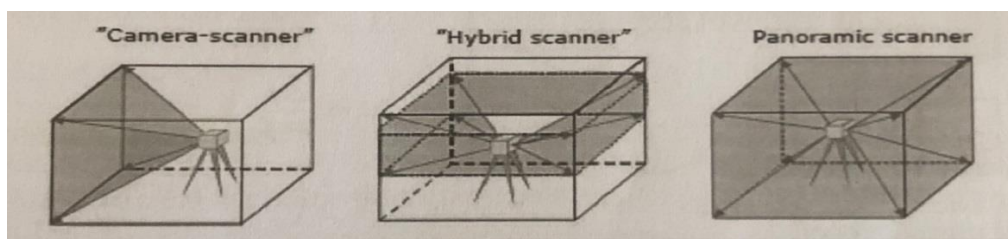


Figura 17. Clasificación de los sistemas.

2.2.2. Esquema general de la metodología de escáner láser

A la hora de afrontar un trabajo de levantamiento mediante escáner láser, se ha de proceder siguiendo un esquema metodológico muy concreto y similar al que se realiza en los levantamientos fotogramétricos, con la principal diferencia que el escáner trabaja con la escala conocida dado que se basa en la medida de distancias.

En este sentido, y tal y como se puede observar en la figura 18, es necesario realizar cuatro fases bien diferenciadas, empezando por la fase de planificación de las tomas y el sistema de referencia, para terminar con la fase de extracción de información, pasando por las fases de captura de la información y la de orientación o registro de datos.

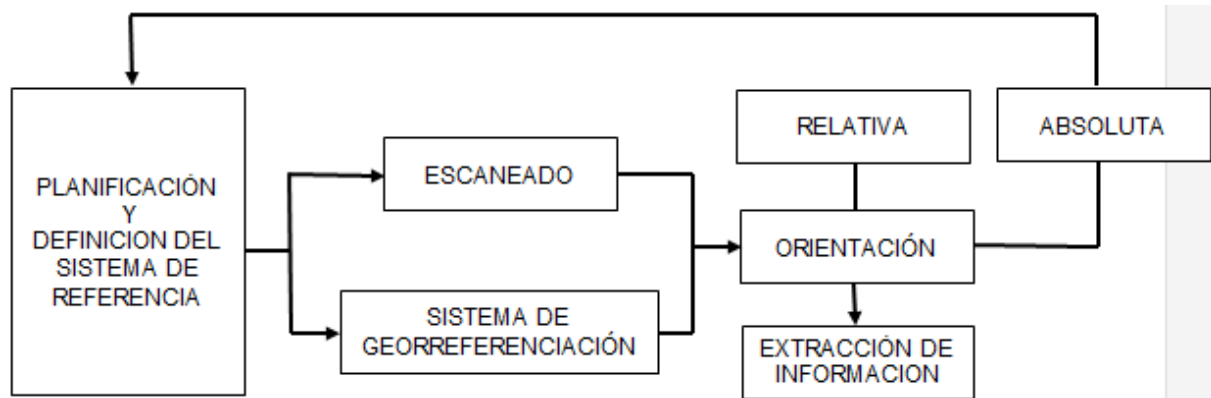


Figura 18. Esquema general del escáner láser.

- Planificación de las tomas y el sistema de referencia.

La fase de planificación es imprescindible para llevar a cabo la elección correcta del método de observación, del nº de escaneos necesarios, de la resolución de los mismos, del instrumental necesario (en caso de disponibilidad), etc.

Para ello se ha de tener una idea previa del sitio u objeto a escanear, para ver sus características, dimensiones, obstáculos u otras dificultades existentes.

Una parte importante de la fase de preparación es la definición del sistema de referencia que se va a utilizar. En primer lugar, saber si va a ser necesario utilizar un sistema de referencia pre-marcado, en cuyo caso habrá que seleccionar la manera de llevar los datos obtenidos a ese sistema.

Otra cosa a tener en cuenta en esta fase, cuando el tamaño del objeto lo permite, si es más rentable mover el escáner o mover el objeto para hacer los diferentes escaneos necesarios.

Todas estas cuestiones relativas al objeto a escanear, sistema de referencia, resolución requerida, nº de escaneos requeridos, etc., deben ser resueltas en la fase de planificación.

- **Captura de la información**

Una vez determinado el número de escaneos y su posición, se procederá a realizar las capturas de los datos. Cada uno de los escaneos obtendrá una nube de puntos referida al origen del escáner en cada posición, por lo que tras la captura será necesario un proceso de orientación o registro de los mismos.

En la captura de los datos también habrá que tener en cuenta, si fuese necesario, el sistema utilizado para transformar los datos al sistema de referencia. En este sentido lo más habitual es utilizar dianas o elementos fácilmente reconocibles con coordenadas conocidas. Por lo que será necesario llevar a cabo la obtención de las coordenadas de dichos puntos o dianas. Es importante tener en cuenta, en el caso de uso de dianas, que la colocación de las mismas se ha de hacer previamente a la realización de los escaneos, para que estas queden capturadas en los datos.

- **Orientación o registro de las nubes de puntos**

Una vez terminada la fase de adquisición el siguiente proceso consistirá en unificar dichos datos en un solo sistema de referencia, para ello y mediante el uso de la aplicación concreta se procederá al registro de los diferentes escaneos mediante sucesivas transformaciones tridimensionales a los datos que se suelen hacer de manera automática o semiautomática. Obteniendo con esto un solo conjunto de datos en un mismo sistema de referencia. Lo que supone la orientación relativa de los datos.

Finalmente, y cuando fuese requerido, se procederá a la transformación de dichos datos al sistema de referencia final. Para ello se han de utilizar puntos de

coordenada conocidas en ambos sistemas de referencia (global y local o de escáner). Esta fase se podría llamar orientación absoluta de los datos.

Como última fase del proceso se realizará la extracción de información, que va a depender del tipo de producto buscado o esperado, pero que en cualquier caso suele estar precedida de un filtrado de los puntos finales, con el objetivo de eliminar datos ruidosos o no útiles y homogeneizar la nube de puntos.

2.3. Fotogrametría

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), la fotogrametría " es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos".

Dicho de otra manera, es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y lugar en el espacio de un objeto cualquiera, para lo que es necesario utilizar diferentes capturas fotográficas hechas sobre ese objeto. Para conseguir esto, es necesario tener conocimientos de cómo ha de ser la geometría de las tomas fotográficas, es decir, saber la posición de las tomas, la orientación de las mismas, la resolución de las imágenes, la cobertura, el solape entre las imágenes, etc.

Tal y como se indica anteriormente, el objeto se reproducirá a partir de medidas realizadas sobre las imágenes, por lo que se trata de un método indirecto o sistema pasivo, donde no es necesario el contacto directo con el objeto.

2.3.1. Etapas del proceso fotogramétrico

Independientemente del objeto a levantar fotogramétricamente, las fases a realizar van a ser muy similares, y muy similares a su vez, con las comentadas anteriormente en el caso de levantamientos con escáner láser. Así, el procedimiento fotogramétrico sigue cuatro fases bien diferenciadas, fase de planificación de las tomas fotográficas, captura de la información, orientación del bloque fotogramétrico y extracción de productos directos y derivados.

A continuación, se presenta de forma esquematizada las fases del proceso fotogramétrico:

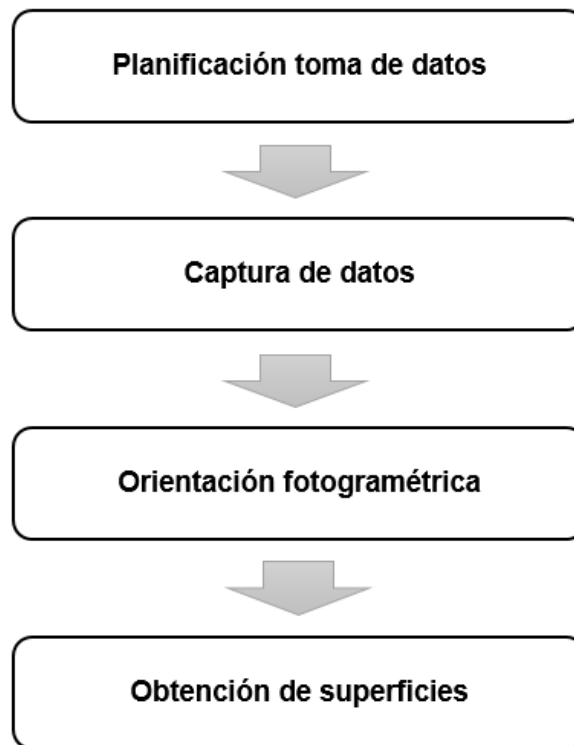


Figura 19. Diagrama de fases del proceso fotogramétrico.

- Planificación toma de datos

La fase de planificación ha de tener en cuenta el objeto a levantar, la planificación previa de los objetivos perseguidos y los productos esperados. Con objetivos poco precisos se pueden ver afectados de manera clara los trabajos en campo y gabinete, pudiéndose ver afectada la calidad de los resultados finales.

Antes de llevar a cabo la captura de las imágenes se han de decidir cuál es la configuración de toma más adecuada para el objeto y producto a obtener. Así, se ha de decidir si se van a llevar a cabo una captura estereoscópica, convergente o una mezcla de ambas. Las configuraciones para tomas convergentes o estereoscópicas se pueden ver en la figura 20 y 21, donde se puede observar que en una las tomas se realizan de manera convergente alrededor del objeto y en la otra la toma se lleva a cabo mediante tomas perpendiculares al plano de trabajo. En ambos casos con recubrimiento del objeto de al menos dos fotografías en cada punto.

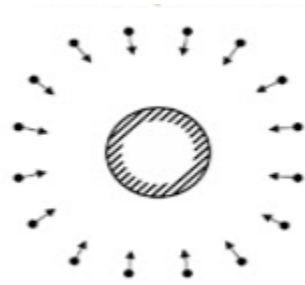


Figura 20. Fotogrametría convergente.

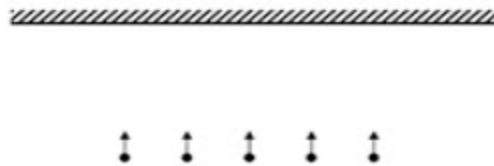


Figura 21. Otra técnica de fotogrametría.

Por otra parte, habrá que definir la cámara (objetivo) a utilizar, para obtener la escala de trabajo (GSD) deseado e idóneo para cumplir con los objetivos y productos planteados.

Finalmente, habrá que decidir y diseñar el modo de incorporar el sistema de referencia al proceso fotogramétrico posterior. En este sentido, habrá que decidir si los puntos de control van a ser pre-señalizados, en cuyo caso, habrá que colocar dichos puntos antes de la toma de fotografías, y decidir la distribución más idónea de los mismos.

- Tomas fotográficas y puntos de control

En la realización de las tomas fotográficas lo primero hay que tener en cuenta elementos como la búsqueda de iluminación adecuada para el objeto fotografiado, evitando las sombras, reflejos, fotos quemadas, etc. Es aconsejable usar la cámara apoyada en un trípode fotográfico para evitar el movimiento de la cámara en el momento de la toma y así evitar fotos borrosas.

La toma de fotografías se ha de realizar siguiendo la planificación de la misma, siendo necesario un mínimo de dos fotogramas por punto, aunque es aconsejable una mayor cantidad de fotogramas.

La captura de los puntos de control se realiza antes o después de la captura fotográfica, pero siempre teniendo en cuenta que no existe movimiento de los mismos entre la medida de sus coordenadas y la toma de las fotografías.

- Orientación fotogramétrica

La orientación fotogramétrica tiene por objeto la determinación de la posición espacial y disposición angular de una imagen, sensor, cámara, modelo 3D, bloque de imágenes, etc. respecto a un sistema de referencia determinado en 3D.

La orientación fotogrametría se basa en el principio de la triangulación y utiliza la intersección directa, basada normalmente en el principio de colinealidad (figura 22 y 23), que establece que el centro de proyección de la cámara, el punto imagen p' y su correspondiente punto p en el espacio se encuentran en la misma recta.

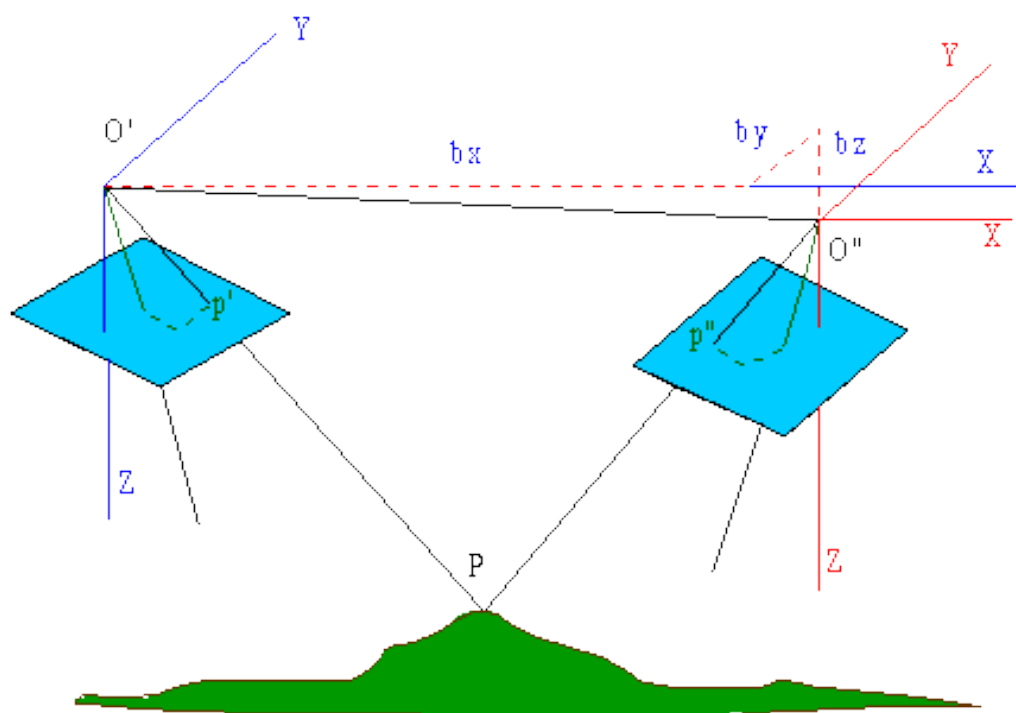


Figura 22. Ejemplo del principio de colinealidad.

$$x' = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y' = -f \cdot \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

Figura 23. Ecuación de colinealidad.

❖ Orientación interna

Para la creación de un modelo fotogramétrico es necesario conocer los parámetros de orientación interna que permiten conocer la geometría interna de una cámara. Normalmente los parámetros son:

- K_1 , K_2 , K_3 . Parámetros de distorsión radial de la lente. Esta distorsión provoca una “distorsión de barril”, o “distorsión de cojín”.
- P_1 , P_2 . Parámetros de distorsión tangencial. Esta distorsión se refiere a la distorsión causada por el mal montaje de la lente y de los diferentes componentes que forman la óptica.
- $X'a$, $Y'a$. Coordenadas del punto principal.
- f . Distancia focal del objetivo.

❖ Orientación externa

Esa definición se basa en la determinación/reconstrucción en el espacio y de la orientación angular de una cámara en el tiempo de la exposición respecto a un sistema de referencia externo determinado.

Parámetros de orientación externa (posición y orientación angular asociadas a una imagen):

- Coordenadas en el espacio del centro de la perspectiva: X , Y , Z .
- Tres ángulos de rotación: ω , ϕ , κ .

Para la orientación externa de la cámara se suelen utilizar modelos matemáticos basados en la condición de colinealidad y el modelo matemático de ajuste de haces. Hoy en día está más extendido en uso de otros modelos como los basados en SFT (Structure From Motion) y MVS (Multi View Stereo). En cualquier caso, se lleva a cabo con dos tipos de puntos, por un lado, los puntos de paso que permiten la orientación relativa del bloque de fotografías y que son puntos de coordenadas no conocidas, identificables en más de una imagen y normalmente medidos de forma automática; y por otro, los puntos de control que son los que transfieren al bloque el sistema de referencia general, permitiendo la orientación absoluta del bloque.

- **Generación de productos**

A partir de un bloque orientado de fotografías con la cámara calibrada correctamente, se puede extraer información de diferente índole.

- Nube de puntos coloreados de la zona levantada.
- Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) a partir de la correspondiente nube de puntos.
- Ortoimágenes en diferentes planos de proyección.
- Modelos 3D con texturas donde se puede ver la información del objeto en tres dimensiones y añadiendo la textura fotográfica.
- Restituciones vectoriales.

Capítulo 3. APLICACIÓN PRÁCTICA

La aplicación práctica que aquí se presenta, y que ya se comentó con anterioridad es la modelización 3D del complejo funerario QH31 de la necrópolis de Qubbet El-Hawa, mediante técnicas geomáticas, y más concretamente con técnicas fotogramétricas y de escáner láser.

3.1. Recursos materiales y software

3.1.1. Recursos materiales

Para los trabajos en este proyecto se ha utilizado los siguientes materiales técnicos:

- Leica System 1200

Instrumentación GPS para la realización de la medición de las bases de la zona de trabajo, que dispone la pantalla táctil o el teclado “QWERTY”, tiene controladores, sistema de comunicación RTK/DGPS y con la tecnología inalámbrica Bluetooth, y este dispositivo es acompañado con un trípode.



Figura 24. Equipo Leica System 1200.

Cuya principales características se muestra en la tabla 6.

SENSOR	Fase en Post-Proceso		Fase en Tiempo Real		Código	
	Estático (H/V)	Cinemático (H/V)	Estático (H/V)	Cinemático (H/V)	Estático	Cinemático
GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 mm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 mm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm

Tabla. 6. Característica del instrumento Leica System 1200.

- Leica FlexLine TS06

Instrumentación topográfica para la medida de bases en exterior e interior y medida de puntos de control para fotogrametría y TLS, se caracteriza de una estación total de medio alcance, dispone de teclado alfanumérico completo, conexión USB, memoria interna de gran capacidad y tecnología inalámbrica Bluetooth y este teodolito es apoyado con un trípode.



Figura 25. Equipo Leica FlexLine TS06.

Las precisiones obtenidas de este instrumental (tabla 7) quedan reflejadas en la siguiente tabla en función del tipo de medición que se realice.

MODELO	A	media angular		sens. / comp.			media distancia	alcance 1 prisma (km)			alcance 3 prisma (km)		
		α_{ISO-HZ}	α_{ISO-V}	S	α_{comp-H}	α_{comp-V}	α_{SDM}	malas	normal	buena	malas	normal	buena
LEICA TS-06	30	15''	15''	-	5''	5''	Prisma: 1.5 mm + 2 ppm Sólido: 2 mm + 2 ppm	1.8	3	3.5	2.3	4.5	5.4

Tabla. 7. Característica del instrumento Leica TS06.

- Diana para puntos de apoyo

Dianas semirrígidas de forma rectangular de tamaño 40 x 40 mm, utilizadas para puntos de apoyo tanto en suelo como en pared, que permiten medida a solido mediante estación total.



Figura 26. Diana.

- Cámara Sony ILCE 5000

Cámara compacta digital no métrica utilizada para las capturas fotográficas y cuyas especificaciones se describe en la siguiente tabla.

Cámara	Fabricante	Sony
	Modelo	ILCE 5000
Objetivo	Distancia focal	16 mm
Datos de exposición	Tiempo	1/60"
	Diafragma	F2.8
	ISO	3200/36°
Tamaño de sensor	Tamaño sensor en píxeles	5456 x 3632 px
	Tamaño sensor en milímetros	23.2 x 15.4 mm
Sensor	Tipo de imagen	CMOS
	Filtro de color de imagen	RGB

Tabla. 8. Especificaciones de la cámara Sony ILCE 5000.



Figura 27. Cámara compacta Sony ILCE 5000.

Y de ahí representa el esquema de una cámara digital compacta.

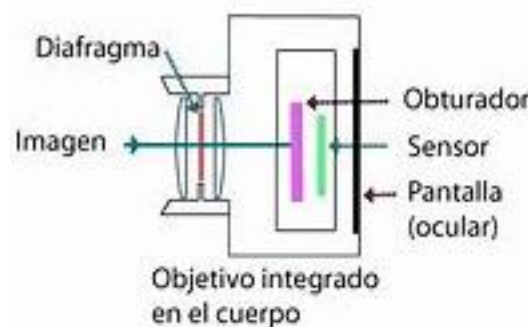


Figura 28. Esquema de una cámara compacta.

- FARO FOCUS 3D X130 HDR

Escáner Láser de tipo cambio de fase, utilizado para el escaneo de la sala, cuyas principales características se muestran a continuación:

- Alcance entre 0.6 - 130 m interior o exterior con incidencia vertical a una superficie reflectante del 90%.
- Campo de visión de $360^{\circ} \times 300^{\circ}$
- Velocidad de medición 122000 / 244000 / 488000 / 976000 puntos/segundo.
- Resolución de hasta 170 megapíxeles de color por escaneo.
- HDR: grabación de fotos de alto rango dinámico, 3x / 5x.
- Peso: 5.2 kg.

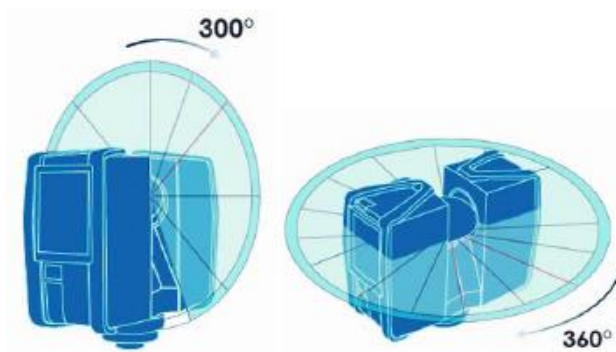


Figura 29. Rotación vertical y horizontal.



Figura 30. Equipo Faro Focus 3D X130 HDR.

3.1.2. Softwares

El software empleado a lo largo en este proyecto es el siguiente:

- Scene

Es un software específico de tratamiento de datos del escáner Faro y que permite llevar a cabo la descarga de los datos del escáner, su registro y transformación. Para ello, procesa y administra datos escaneados con sencillez y mayor eficiencia, ya que permite un amplio rango de funciones y herramientas, como filtros, reconocimiento automático de objetos, registro de escaneos, así como también la coloración automática de escaneos. Ofrece funciones desde la medición sencilla hasta la visualización, mallas y exportación de los datos de escaneo en diversos formatos de nubes de puntos y CAD. Fue utilizado para la importación de los datos del escáner y su registro.



Figura 31. Software Scene.

- Maptek I-Site Studio

El software I-Site Studio de la empresa Maptek, es un paquete de procesamiento de gran intuición para nube de puntos. Diseñado para aplicaciones topográficas, tiene una gran cantidad de opciones y herramientas para convertir rápidamente aplicaciones complejas en resultados fáciles de entender. Posee una interfaz fácil de usar en lo cual se utiliza flujos de trabajo intuitivos que se apoyan en barras de herramientas, funcionalidad de arrastrar y soltar y un mínimo ingreso de datos. Además, poseen una gran variedad de formatos de visualización, modelado y datos CAD. También permite opcional los registros flexibles se basa en la sencillez y coincide las características entre superficies o con estaciones topográficas. Y por último la generación de modelos 3D precisos empleando las triangulaciones topográficas, fusión de superficie y triangulación de lazo, y para terminar se realiza análisis de resultados permitiendo las herramientas de visualización y consulta, tales como colorear el escaneo por distancia y modo de vista en sección. Este software

fue utilizado en este proyecto para la transformación de los datos al sistema de referencia y la homogeneización y filtrado de los datos.



Figura 32. Software Maptek I-Site Studio.

- Agisoft PhotoScan

Es un software para el procesamiento de imágenes digitales y, a través de la mezcla de técnicas de fotogrametría digital, visión por computador y reconstrucción 3D. Esta aplicación fue utilizada en todos los procesos fotogramétricos, tanto de la parte específica como de la fusión de esta con el modelo TLS.



Figura 33. Software Agisoft PhotoScan.

- Cloud Compare

Es un software libre que ofrece un conjunto de herramientas básicas para editar y renderizar manualmente nubes de puntos 3D y mallas triangulares. Además, de diferentes algoritmos de procesamiento avanzados como proyecciones, registro, cálculo de distancia, cálculo estadístico, segmentación y estimación de propiedades geométricas. Esta aplicación fue usada para la generación de la superficie 3D y simplificación de la misma, a partir de la nube de puntos TLS y de la nube fusionada de fotogrametría y TLS.



Figura 34. Software Cloud Compare.

- QSIG

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) libre que permite trabajar con los formatos ráster y vectorial, así como con diferentes bases de datos.

QGIS aporta una mayor gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos. Que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles y obtenga una primera impresión con una lista más detallada de características. Se ha utilizado para la realización de planos.



Figura 35. Software QSIG.

- Unity 3D

Unity es un software de desarrollo de juegos: un poderoso motor de renderizado totalmente integrado con un conjunto completo de herramientas intuitivas y flujos de trabajo rápido para crear contenido 3D interactivo. Esta herramienta fue modelada con elementos reales para que se lograra veracidad en los entornos del recorrido. Los programas que se utilizaron para su desarrollo fueron estratégicos; se accedió al software más utilizado para modelar y animar en tercera dimensión en entornos gráficos con lo cual se logra obtener un impacto muy realista.



Figura 36. Software Unity.

- Microsoft Word

Es un programa informático encaminado al procesamiento de textos, imágenes, etc., para en este caso la elaboración de un documento del proyecto.



Figura 37. Software Microsoft Word.

- Microsoft Excel

Es un programa informático encaminado al procesamiento de cálculos, fórmulas, algoritmos, etc.



Figura 38. Software Microsoft Excel.

3.2. Definición del sistema y marco de referencia

Todo proyecto de topografía requiere en sus fases iniciales la definición del sistema de referencia de coordenadas y como consecuencia, y en función del objetivo del mismo, la selección de la proyección cartográfica a utilizar. En este caso, al tratarse de una actualización cartográfica, y teniendo en cuenta distintas circunstancias como la disponibilidad de instrumental, el posible uso de una estación GNSS cercana, etc., se decidió adaptar todos los trabajos al sistema empleado en los trabajos de 2009. Más concretamente, se utilizó el sistema WGS84 (World Geodetic System 1984) y la proyección UTM (Universal Transverse Mercator) con el correspondiente huso 36 Norte, referenciado como EPSG:32636 (EPSG, 2017). La referenciación de los trabajos actuales con respecto los de 2009 se realizó a través de tres puntos comunes existentes sobre el terreno de forma estable y que cuentan con coordenadas conocidas en dicho sistema. Además se utilizó uno de estos puntos como referencia de altitudes para todo el proyecto (Figura 39).



Figura 39. Base B0052 situada en acceso a tumba 32. Referencia de altitudes del proyecto.

3.3. Proceso topográfico

Los trabajos topográficos realizados por el equipo de SFT desplazados a la zona de trabajo, están principalmente relacionados con dos objetivos, dotar a toda la zona de interés de un conjunto de puntos con coordenadas conocidas para que puedan ser utilizados para posteriores trabajos (redes principal y secundarias de bases topográficas) y determinar las coordenadas de una serie de puntos (dianas) que sirvieran de apoyo para la orientación de las fotografías para los trabajos fotogramétricos y georreferenciación de los diferentes escaneos realizados. Todos los trabajos se realizaron con estación total (Figura 2), más concretamente con una estación Leica TS06, cuyas principales características son: 30 aumentos, 15CC de apreciación, 3CC de sensibilidad y precisión de 1.5mm +2ppm en medida de distancias con reflector y 2mm +2ppm sin reflector (Leica Geosystems 2008).

En el primer caso, la determinación de la redes de puntos base implica varias cuestiones importantes que tuvieron que tenerse en cuenta. Así, la utilización de estación total implicó la realización de una red principal basada en un itinerario con estaciones visibles entre sí (al menos la anterior y la posterior). Para minimizar errores, se decidió reducir el número de tramos del itinerario principal y densificar el número de bases realizando otras redes secundarias a partir de las bases definidas en la principal. El objetivo final fue que todas las zonas del proyecto tuvieran al menos dos bases cercanas visibles materializadas en el terreno para futuros trabajos. La ubicación de las bases atendió principalmente a los criterios previamente indicados, pero también al tipo de terreno en que se encontraba el punto. Se intentó, en la medida de lo posible, que la marca pudiera permanecer permanentemente en campo, por lo que se situaron en zonas de terreno duro o estable. Así, se utilizaron elementos previsiblemente permanentes como bases de focos o registros de iluminación, rocas, etc. Las marcas se realizaron con pintura y/o clavos.

Una vez materializados los puntos de la red principal y de las secundarias se procedió a la observación de los mismos en campo utilizando el método de itinerario, para el caso de la red principal, y el método de radiación, en el caso de las secundarias. Debido a las características de la colina, el itinerario realizado fue del tipo abierto, aunque se pudieron realizar observaciones de comprobación a bases

externas (con coordenadas conocidas) en algunos puntos del mismo. El itinerario principal de 7 bases (Figura 40) tuvo una longitud de 386 metros, con una distancia promedio entre estaciones de 65 metros. La red secundaria compuesta de 9 bases tuvo una distancia media de 20 metros aproximadamente. La incertidumbre estándar circular a priori del itinerario planteado es de 0.015 metros y de la radiación a las bases secundarias de 0.005 metros, lo que constituye una incertidumbre global para un punto radiado inferior a los 2 centímetros.

Así, tal y como se puede ver en la figura 40, las bases que intervienen en este trabajo (el levantamiento 3d de la sala QH31), son las bases B3102 y B3103, radiadas desde la base del itinerario principal, B3101.

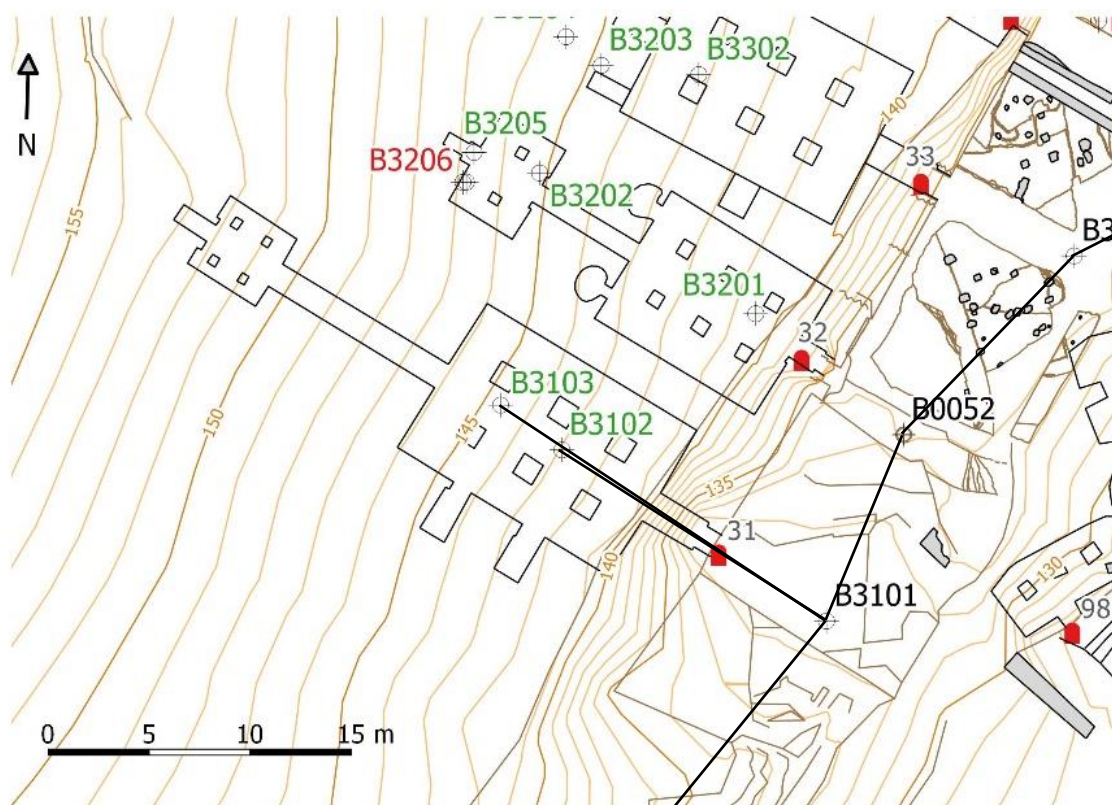


Figura 40. Método de poligonación.

La segunda parte de los trabajos topográficos incluyó la determinación de las coordenadas de una serie de dianas que sirvieran de apoyo a los trabajos fotogramétricos y de escaner laser. Para esto, se utilizó el método de radiación desde las bases de las redes topográficas previamente definidas, empleando la capacidad de la estación total para obtener distancias sin reflector (ver figura 41). A estas dianas se les puede asignar un error inferior, si solo se tiene en cuenta el error

de radiación dado que estas siempre son observadas desde la misma estación. Por lo que desde un punto de vista local (cada una de las salas o entornos) se puede obviar el error anterior a esta radiación y asumiendo como error sistemático de todo el levantamiento local, el error de la base de radiación utilizada.



Figura 41. Colocación y medida de la diana.

En este caso, el número de dianas y la distribución de las mismas se puede observar en la figura 42. Medias todas desde la base, B3102.

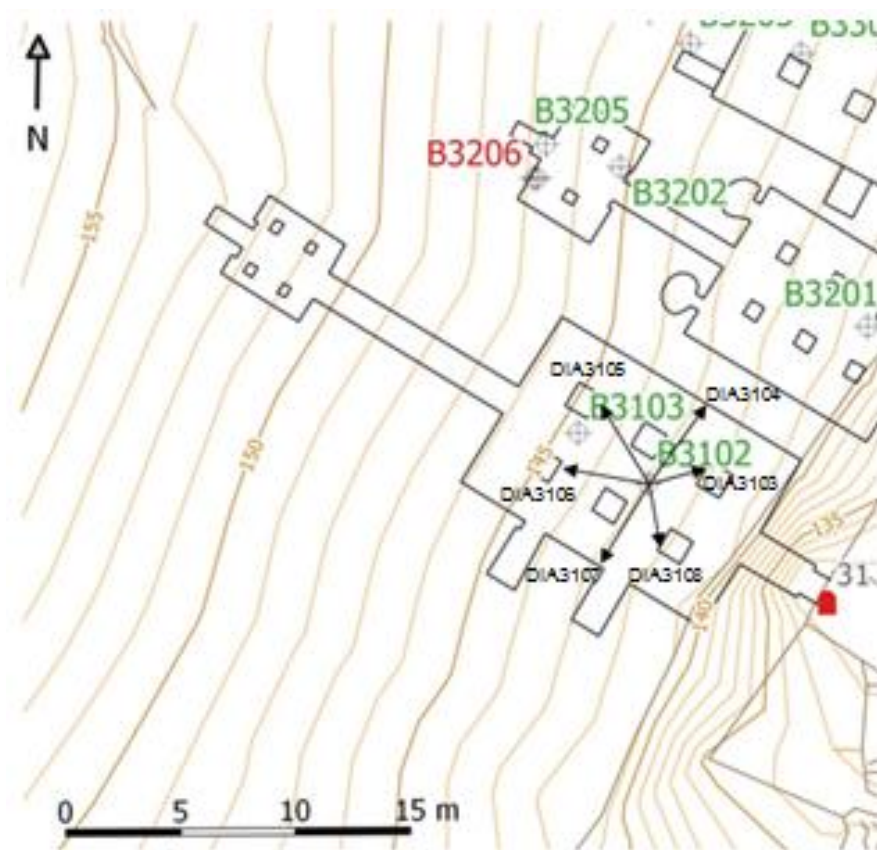
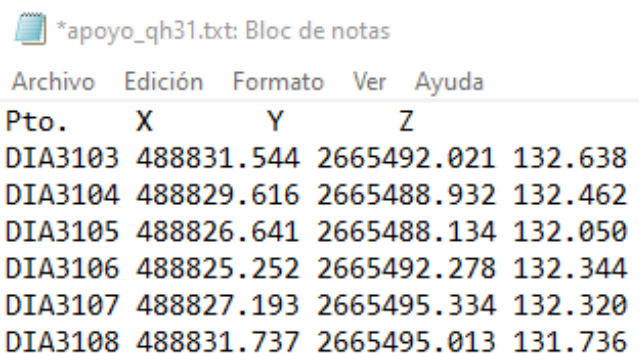


Figura 42. Método de radiación.

3.3.1. Extracción de datos

Una vez terminada la fase de adquisición, los datos recogidos en el campo y en el gabinete se ha calculado las coordenadas de las seis dianas referenciado al sistema de referencia al WGS84 UTM36, para luego, ser utilizadas en otros trabajos. En la figura adjunta se muestran las coordenadas de las dianas que se utilizarán posteriormente en el proceso de orientación de la nube de puntos TLS.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Pto.	X	Y	Z	
DIA3103	488831.544	2665492.021	132.638	
DIA3104	488829.616	2665488.932	132.462	
DIA3105	488826.641	2665488.134	132.050	
DIA3106	488825.252	2665492.278	132.344	
DIA3107	488827.193	2665495.334	132.320	
DIA3108	488831.737	2665495.013	131.736	

Figura 43. Coordenadas de puntos de control en archivo ASCII txt.

3.4. Trabajos con Escáner Láser

3.4.1. Planificación de la toma y el sistema de referencia

Se planificó la captura de datos tal y como se indica en el apartado metodológico. Una vez visitada la zona y analizados los objetos y obstáculos existentes se planificó una captura de 14 escaneos distribuidos tal y como se indica en la figura 44.

Esta distribución se hace encaminada a capturar la mayor parte de información posible minimizando el número de escaneos, pero priorizando la compleción de la escena a levantar.

Por otro lado, se diseñan y colocan en la sala principal las dinas (vistas en el apartado de proceso topográfico), antes de realizar los escaneos para que estas sean capturadas en ambos sistemas y posteriormente poder hacer la transformación del sistema.

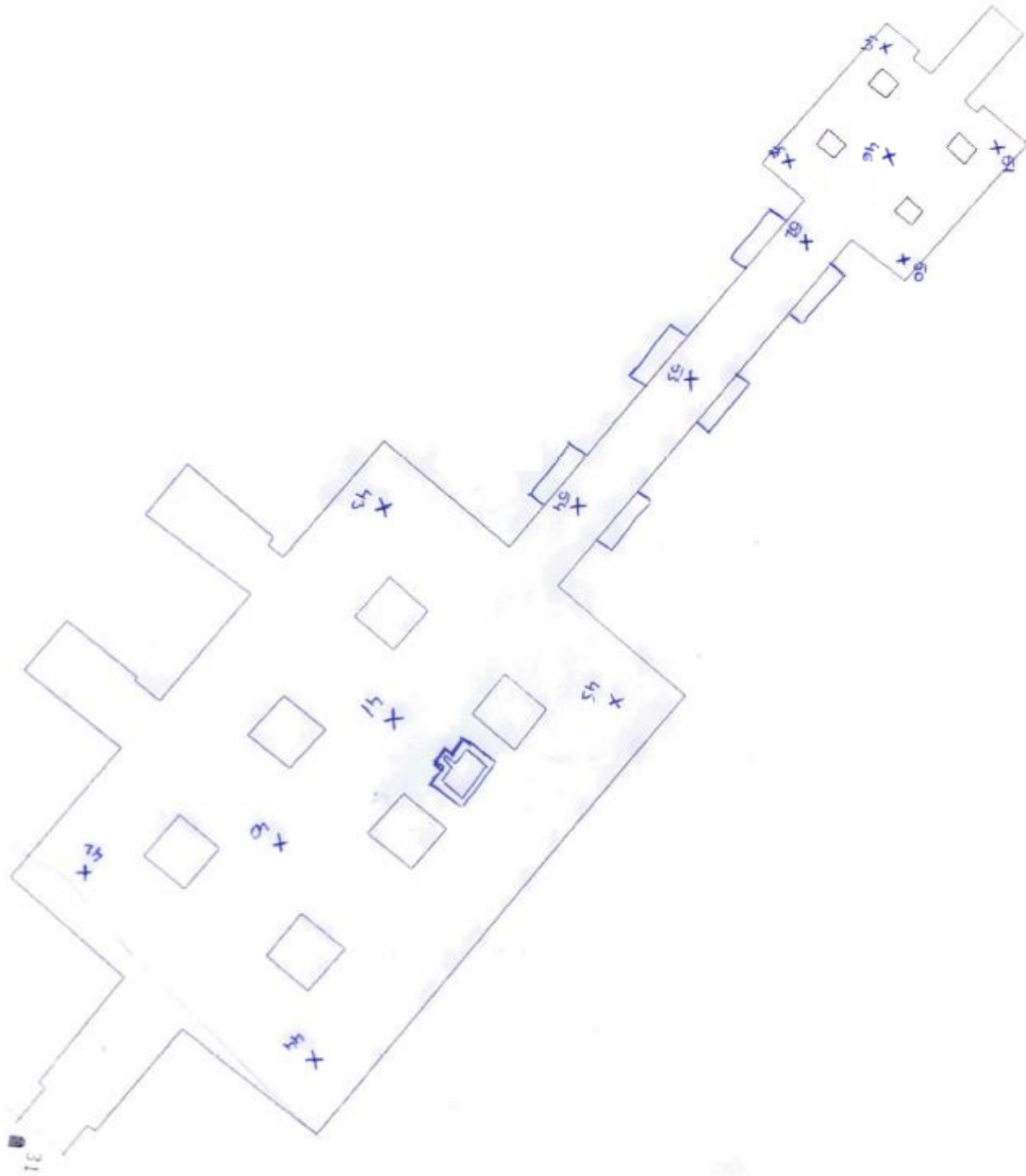


Figura 44. Croquis de las estaciones de escáner láser.

3.4.2. Captura de la información

Una vez planificadas las capturas del escáner se procede a realizar los escaneos, para lo que se tuvo en cuenta algunas circunstancias.

- La resolución de las mismas ha de tener en cuenta el solape de las distintas capturas que hará que la resolución individual, no ha de ser muy elevada.

- Por otro lado, la captura de la radiometría no se hace necesaria dado que en la mayoría de la sala, no hay iluminación suficiente y no existen pinturas, textura o información radiométrica que sea de interés.
- El tiempo era muy limitado, por ser limitado el permiso de acceso a la misma.

Una vez se seleccionó la resolución para el escáner (1cm a 10m) y la opción de no captura de imágenes, se procedió a la captura de la información con barrido de ángulo horizontal a 360° y el ángulo vertical de -45° a 90° para cubrir la totalidad de la escena para todos los escaneos.

Una vez terminada la fase de adquisición, los datos digitales deben ser descargados en una computadora para luego ser procesados. En el momento de la toma, los datos se almacenan en el instrumento utilizando un formato de fichero que pertenece, usualmente, al mismo fabricante del aparato con el objetivo de optimizar los recursos de memoria. Una vez descargados, es aconsejable convertir esos datos en formatos de intercambio, que permiten importar las nubes en los programas más comunes (formato .ptx, .fls, .xizi, etc.) y garantizan una mayor longevidad de los datos.

3.4.3. Orientación o registro de los escaneos

- Fase de registro (Orientación Relativa)

Para trabajar la alineación o registro de los escaneos se emplea el software Scene, que crea un nuevo proyecto con la información siguiente:

- Nombre del proyecto: QH_31
- Cantidad de escaneos: 14
- Ubicación: Qubbet El-Hawa, Asuán, Egipto
- Ruta de acceso:
E:\CURSO_GIGT\4ºcurso\2ºcuatrimestre\TrabajoFinGrado\egipto\escaneos

Una vez creado el nuevo proyecto se importarán los catorce archivos de escaneo del escáner láser realizados en el campo. Y se sigue el proceso indicado

por el programa. Lo primero que hacemos es el proceso de las nubes, en el cual, se añade el RGB a los puntos (en el caso de haberlo capturado) y se lleva a cabo el registro.

En la figura 45 se puede ver que en el cuadro verde indica que los catorce escaneos se han procesado con éxito. Posteriormente, el software requiere verificar el registro que será un proceso automático que fusiona los diferentes pares de escaneos registrados en una sola nube de puntos. El resultado final se muestra en la tabla 9.

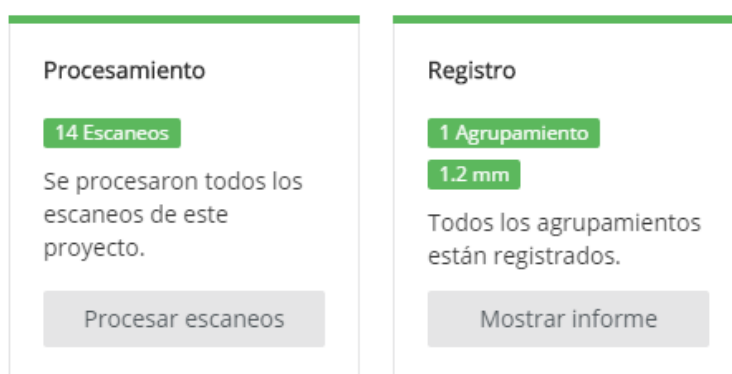


Figura 45. Procesamiento y registro automático.

En la tabla 9 se muestra el informe final del registro automático en que se puede ver la calidad final del registro global, considerando aceptables los resultados.

Agrupamiento/ escaneo	Conexiones	Iteraciones Error de punto (mm)	Error de punto medio (mm)	Distancia Superposición (%)
scaneo40_qh31	8	2.2	1.1	35.2
scaneo41_qh31	7	3.8	1.5	31.6
scaneo42_qh31	4	1.1	0.8	31.6
scaneo43_qh31	4	1.0	0.8	35.2
scaneo44_qh31	4	1.0	0.8	32.1
scaneo45_qh31	4	1.1	0.8	35.9
scaneo46_qh31	6	2.0	1.1	49.2
scaneo48_qh31	5	1.3	1.0	33.6
scaneo49_qh31	5	1.1	1.0	45.2
scaneo50_qh31	4	1.1	1.0	49.2
scaneo51_qh31	5	1.3	1.1	42.9
scaneo52_qh31	7	3.8	1.6	33.6
scaneo53_qh31	4	2.6	2.0	74.0
scaneo54_qh31	1	0.8	0.8	87.0

Tabla 9. Informe de registro de escaneos.

Como resultado de esta fase, se obtiene una nube de puntos en el mismo sistema de referencia relativo a uno de los mismos. Para continuar con el proceso se trabajará con el software Maptek I-Site, por lo que se exportan los datos en una sola nube por lo que ha de ser simplificada. Para ello se homogeniza la nube a la densidad de 1.5 mm (figura 46).

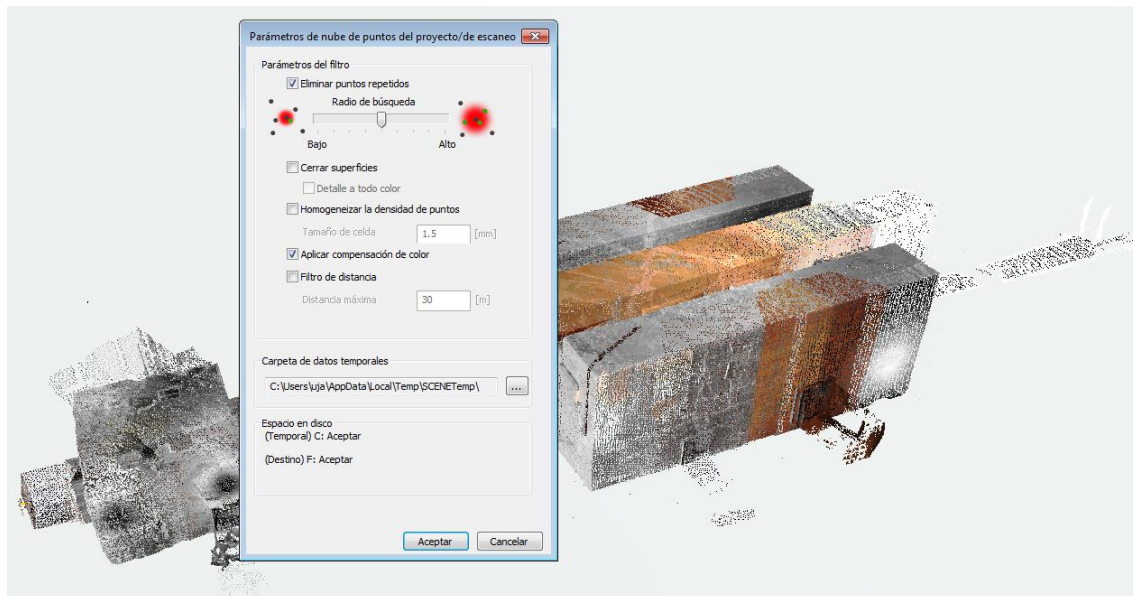


Figura 46. Creación de una nube de puntos

Posteriormente se exportan los datos en un formato entendible para Maptek I-Site. En este caso se selecciona .xyz, donde además de la posición de los puntos se almacena la intensidad y el color si lo tuvieran. En la figura 47, se puede observar la nube de puntos densa de los catorce escaneos encajados correctamente como una única nube de puntos con sus respectivos colores. Estos datos están en un sistema local tal y como se puede ver en la figura 48.

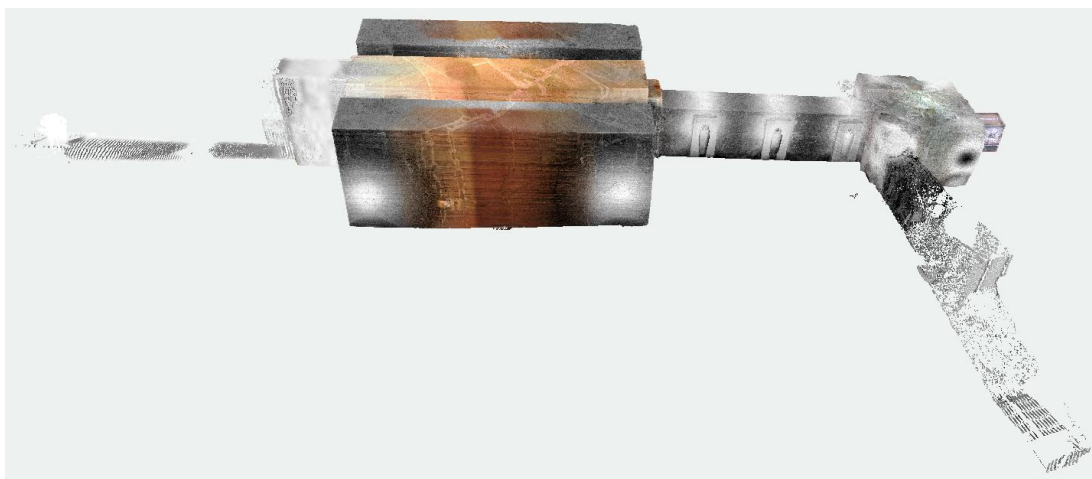


Figura 47. Generación de una nube de puntos densa.



Figura 48. Coordenadas locales de un punto (TLS).

Por otro lado, otra tarea realizada en SCENE por su mayor comodidad, es la medida en el sistema local de dos conjuntos de puntos. Por un lado, de los puntos de control (dianas), para georreferenciar los datos TLS al sistema global, y por otro lado, de los puntos de segundo orden que se van a utilizar posteriormente en la orientación de los distintos bloques fotogramétricos (Un total de 55 puntos para un total de 8 bloques fotogramétricos). Estos últimos puntos, inicialmente estarán en sistema local, pero al calcular la transformación mediante los puntos de control, esta será aplicada tanto a los datos TLS como a los puntos de control de segundo orden.

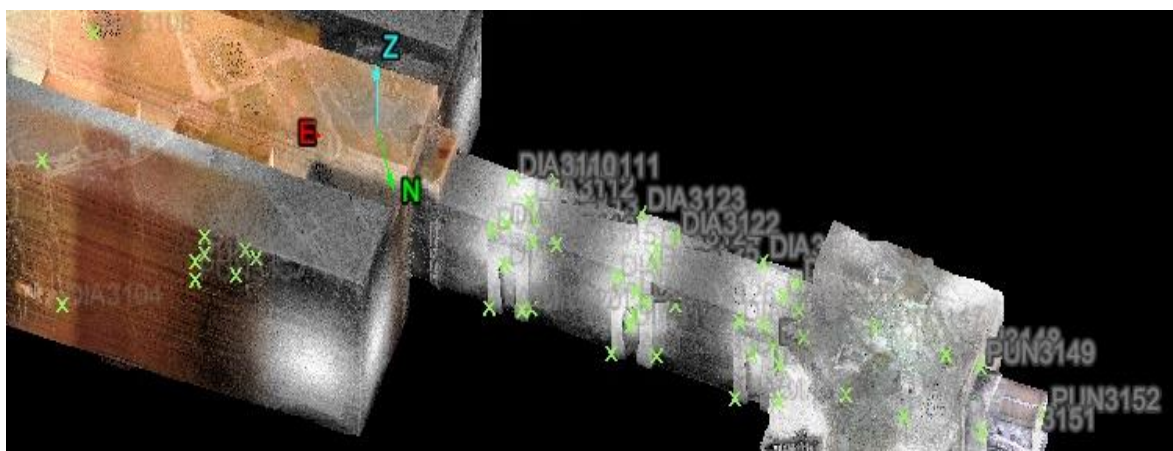


Figura 49. Vista general de los puntos de control de 2º orden.

Hay escasa visibilidad de colores dado que como se dijo con anterioridad no se capturó el color por falta de textura e iluminación. Solo se realizó la captura con color en la sala hipóstila.

- **Fase de georreferenciación (Orientación Absoluta)**

La orientación de los datos al sistema general del proyecto (de coordenadas locales a globales) se lleva a cabo en el software Maptek I-Site, por lo que se crea el

proyecto y se importa el archivo de puntos escáner, los archivos de medidas de los puntos de control (dianas y puntos de control de 2º orden) en el sistema local, y el archivo de puntos de control (dianas) en coordenadas globales.

Para realizar la transformación final a los datos, en el módulo destinado a esta función se cargan los puntos locales y los fijos y se aplica la transformación obtenida a la nube de puntos y a los pc de segundo orden.



Figura 50. Proceso de transformación de pares de puntos coincidentes.

Una vez aplicada la transformación se muestra un informe (tabla 10), donde se indican los valores resultantes de cada punto de control, y se muestra la separación final entre los puntos de control y los transformados. Como se puede observar el valor medio final es de 0.0044 m por lo que ve que el informe es favorable. El error implicado que al georreferenciar hay ciertos pequeños errores en la posición de las coordenadas entre local y el global.

Par de puntos	Separación inicial (m)	Separación final (m)
1	0.005	0.005
2	0.002	0.002
3	0.001	0.001
4	0.003	0.003
5	0.010	0.010
6	0.005	0.005
RMS	0.005	0.005
Error medio de separación final (m)		0.0044

Tabla 10. Informe de errores.

Tras este proceso todos los datos relativos al escáner estarán en sistema global WGS84 UTM36, tal y como se puede observar en la figura 51.



Figura 51. Vista de un punto con sus coordenadas globales.

3.4.4. Proceso de extracción de información

Antes de obtener el producto final, se requiere el tratamiento de la nube de puntos densa debido para eliminar ruido e interferencias producidas por la presencia de objetos no pertenecientes realmente al objeto a documentar, como cables, personas, etc. El resultado final se puede ver en la figura 52.

Otro factor a tener en cuenta es la densidad final de los datos, que en función del producto que se necesite obtener tendrá que ser mayor o menor. Por este motivo va a ser necesario llevar a cabo la homogenización de los datos a distintas densidades de puntos. La nube principal y densa se homogeniza a 1.5 mm.

Es importante destacar, que tras esta fase, se obtiene una nube homogénea, pero con presencia de huecos de información debido a la presencia de obstáculos y la no de cobertura por ninguna de las estaciones realizadas. Si bien es cierto que esta falta de datos se produce en zonas muy reducidas, de poco tamaño y pegadas a ciertos objetos de relieve importante.

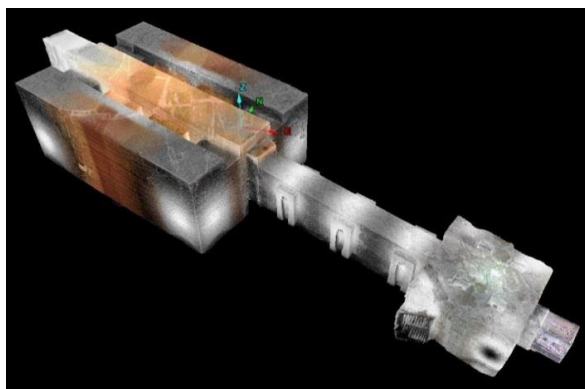


Figura 52. Resultado final tras la limpieza de la nube de puntos.

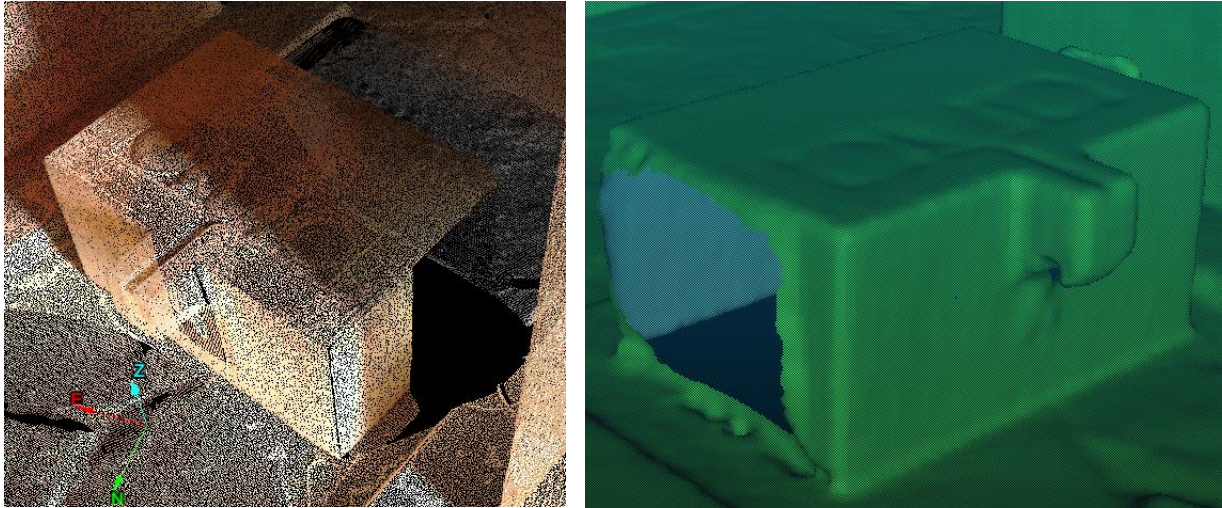


Figura 53. Falta de completión por los huecos en el bloque piedra.



Figura 54. Falta de RGB y huecos en la cripta.

- Obtención y edición de superficies

La obtención de la superficie se lleva a cabo con el software CloudCompare, para lo que tendremos que exportar los datos a un formato entendible para esta aplicación. En este caso se utiliza formato .las, que es aceptado directamente por este software.

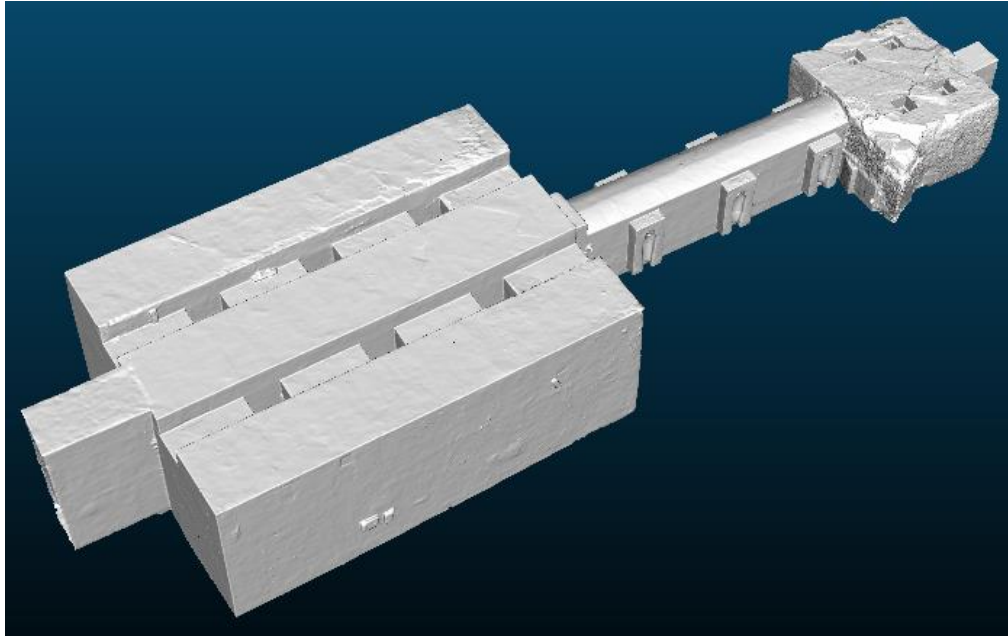


Figura 55. Modelo de superficie.

Una vez cargados los datos en CloudCompare, se lleva a cabo el cálculo de normales y la obtención de la superficie mediante el método de Poisson a máxima resolución. El resultado de esta superficie se puede ver en la figura 55.

El problema de compleción en la nube de puntos antes mencionado, hace que la superficie tenga huecos en la misma que son rellenados por interpolación de los bordes de estos. Esta circunstancia se puede observar en las figuras 56.



Figura 56. Vista hueco de la estatua.

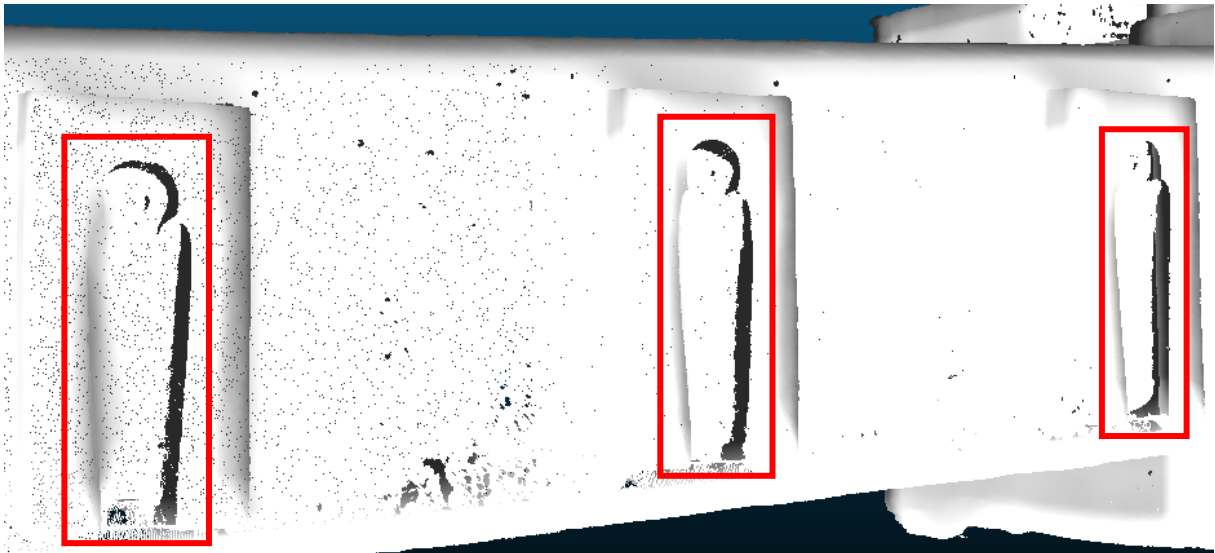


Figura 57. Falta RGB y completión por los huecos de las estatuas 1, 2 y 3.

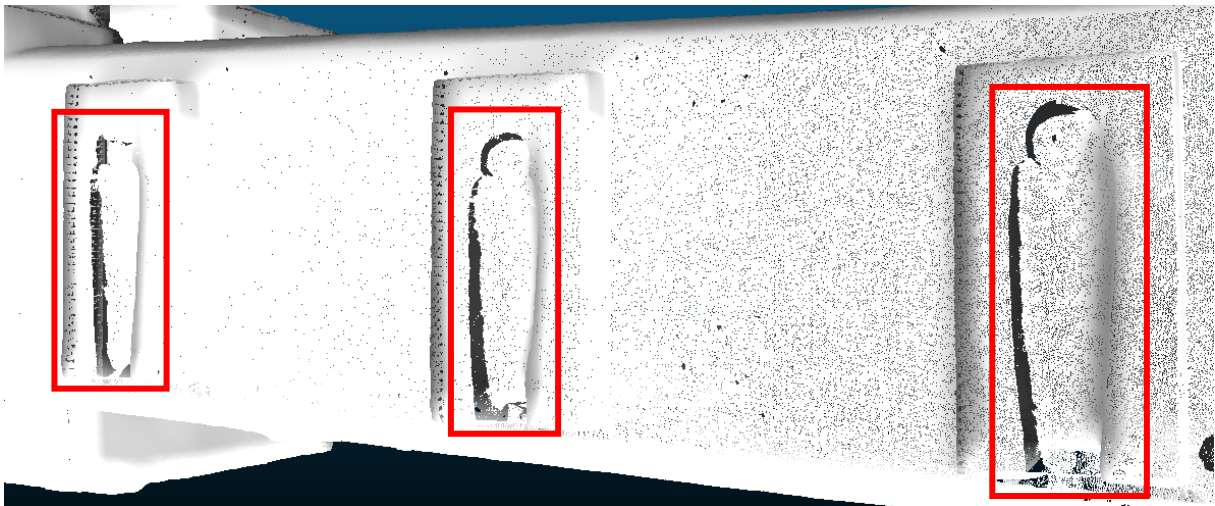


Figura 58. Falta RGB y completión por los huecos de las estatuas 4, 5 y 6.

3.5. Proceso fotogramétrico

En este trabajo, las técnicas fotogramétricas solon se utilizadan en lugares concretos donde existe interés en documentar el color real, ya sea por la presencia de jeroglifos o de alguna escultura o relieve de interés. Hay que hacer notar, que la sala está mal iluminada y la textura en la mayoría del recinto no tiene más interés que el geológico por no contener documento impreso alguno.

Dicho esto, se seleccoinaron 8 zonas, correspondientes a 6 estátuas (algunas con jeroglificos), la sala interior de la cripta (con jeroglifos) y un bloque de piedra para ofrendas (con grabados). En todos estas zonas el proceso fotogramétrico fue identico, consistiendo este en una toma de imágenes, la orientación de cada uno de los bloques con ayuda de los puntos de control extraidos de los datos TLS, obtención de modelos y ortoimágenes.

3.5.1. Tomas fotográficas

En todos los casos, se ha empleado la cámara fotográfica compacta Sony ILCE 5000. Para la captura de cada una de las zonas se lleva a cabo una metodología de captura mixta. Por un lado, se hacen pasadas estereoscópicas para la cobertura total de la zona a levantar, y además se realizan toma convergente para cubrir con esta geometría toda la zona.

En esta fase del proceso, se ha tenido muy en cuenta aquellas zonas, que por una circunstancia u otra, hayan sido complicadas de capturar para el escáner laser, bien por la presencia de pequeños huecos, o por la existencia inevitable de obstáculos para las estaciones TLS.

Como resultado de esta fase se han obtenido 154 fotografías distribuidas en las 8 zonas tal y como se indica en la tabla 11.

Monumentos	Nº imágenes
Cripta	35
Estatua 1	29
Estatua 2	14
Estatua 3	15
Estatua 4	16
Estatua 5	15
Estatua 6	15
Bloque piedra	15

Tabla 11. Número de fotografías de cada monumento.

3.5.2. Orientación fotogramétrica

Para cada una de las zonas cargamos las fotografías y puntos de control correspondientes en la aplicación Agisoft PhotoScan donde se llevará a cabo todo el proceso fotogramétrico para cada una de ellas. La información se carga en un solo proyecto y cada zona en un grupo independiente. Las características del proyecto son las siguientes:

- Nombre del proyecto: QH_31.psx
- Sistema de coordenadas: WGS84 / UTM zone 36 (EPSG:32636)
- Ángulos de rotación: Omega, Phi, Kappa
- Ruta de acceso:
E:\CURSO_GIGT\4ºcurso\2ºcuatrimestre\TrabajoFinGrado\egipto\fotografías

Los puntos de apoyo obtenidos en coordenadas globales en el software Maptek I-Site para cada una de las zonas, en la tabla adjunta se muestran las coordenadas de los puntos de control utilizados y en anexo V las reseñas de los mismos. En la figura adjunta se puede ver un ejemplo de la distribución de los puntos en una de las zonas, en el programa PhotoScan.



Figura 59. Puntos de control.

Zona	Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
Cripta	PUN3146	488814.630	2665501.964	132.479
	PUN3147	488813.630	2665500.373	132.432
	PUN3148	488812.129	2665501.349	132.346
	PUN3149	488811.520	2665502.250	132.841
	PUN3150	488813.450	2665502.750	132.410
	PUN3151	488811.729	2665503.359	132.185
	PUN3152	488810.212	2665503.334	132.335
Estatua 1	PUN3110	488821.176	2665495.770	133.601
	PUN3111	488820.177	2665496.012	133.585
	PUN3112	488820.759	2665495.823	132.918
	PUN3113	488820.688	2665495.895	132.430
	PUN3114	488821.303	2665495.690	132.230
	PUN3115	488820.180	2665495.989	131.675

Zona	Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
Estatua 2	PUN3122	488817.794	2665497.948	133.441
	PUN3123	488818.428	2665497.144	133.418
	PUN3124	488818.136	2665497.534	132.762
	PUN3125	488818.178	2665497.530	132.253
	PUN3126	488817.788	2665497.947	131.497
	PUN3127	488818.619	2665497.417	131.512
Estatua 3	PUN3134	488815.262	2665499.616	133.276
	PUN3135	488815.890	2665498.795	133.212
	PUN3136	488815.531	2665499.227	132.565
	PUN3137	488815.221	2665499.642	132.518
	PUN3138	488815.052	2665499.323	131.361
	PUN3139	488815.854	2665498.798	131.357
Estatua 4	PUN3140	488816.798	2665500.252	133.286
	PUN3141	488816.581	2665500.594	132.655
	PUN3142	488815.984	2665500.775	131.353
	PUN3143	488816.169	2665501.048	133.258
	PUN3144	488816.978	2665500.519	131.379
	PUN3145	488815.984	2665500.781	132.395
Estatua 5	PUN3128	488819.342	2665498.608	133.431
	PUN3129	488818.807	2665499.348	133.317
	PUN3130	488819.003	2665499.016	132.693
	PUN3131	488819.115	2665498.924	132.280
	PUN3132	488819.514	2665498.866	131.498
	PUN3133	488818.529	2665499.137	131.479
Estatua 6	PUN3116	488821.094	2665497.470	133.604
	PUN3117	488821.912	2665496.943	133.613
	PUN3118	488821.697	2665497.293	132.909
	PUN3119	488822.077	2665497.223	131.674
	PUN3120	488821.370	2665497.535	131.774
	PUN3121	488821.096	2665497.468	131.660

Zona	Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
Bloque piedra	PUN3153	488827.147	2665494.084	131.174
	PUN3154	488827.999	2665493.533	131.185
	PUN3155	488828.015	2665493.517	130.645
	PUN3156	488828.350	2665494.125	131.184
	PUN3157	488828.367	2665494.143	130.678
	PUN3158	488827.511	2665494.663	131.173

Tabla 12. Puntos de apoyo de cada monumento.

Una vez lanzada la orientación relativa y medidos todos los puntos de control en todas las fotos, se calcula la orientación de las distintas fotografías al tiempo que la calibración de la cámara. Este proceso se realiza para cada una de las zonas.

Para la calibración de la cámara se calculan los siguientes parámetros:

- K1, K2, K3 (son los parámetros de distorsión radial de la lente) que es necesario calcular para la distorsión radial de la cámara focal.
- X'a, Y'a (son las coordenadas del punto principal) es necesario para calcular la ecuación de colinealidad.
- f (es la distancia focal del objetivo). La focal nominal de esta cámara es de 16 mm.

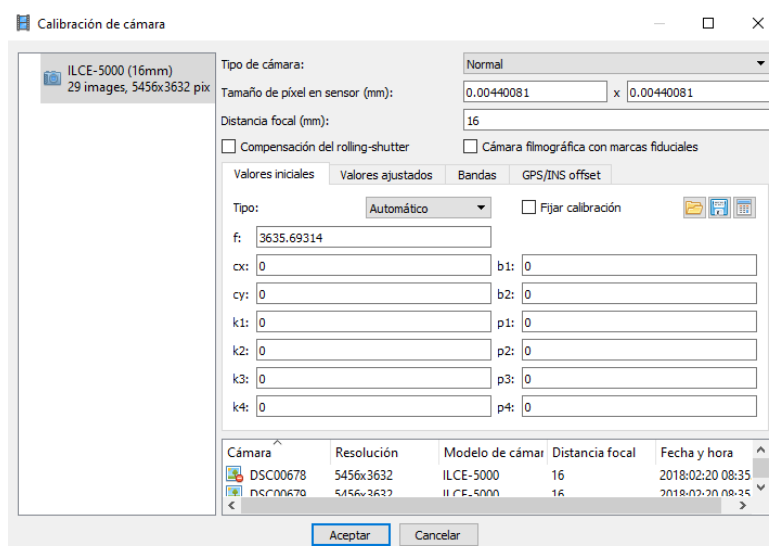


Figura 60. Parámetros de calibración de la cámara.

Como resultado de la orientación relativa se obtienen, para cada zona, los puntos que en la tabla adjunta se muestran:

Monumentos	Nº puntos enlace
Cripta	45212
Estatua 1	26475
Estatua 2	13740
Estatua 3	12610
Estatua 4	12955
Estatua 5	17447
Estatua 6	16242
Bloque piedra	16459

Tabla 13. Número de puntos enlace de cada monumento.

Para la orientación externa se calculan Orientación externa:

- Coordenadas en el espacio del centro de la perspectiva: X, Y, Z para calcular la ecuación de la colinealidad hacia el punto del objeto.
- Tres ángulos de rotación: omega, phi, kappa para calcular las direcciones de los ángulos de las imágenes hacia de punto del objeto.

En la figura xxx se puede ver el resultado de la relativa para la zona 61.

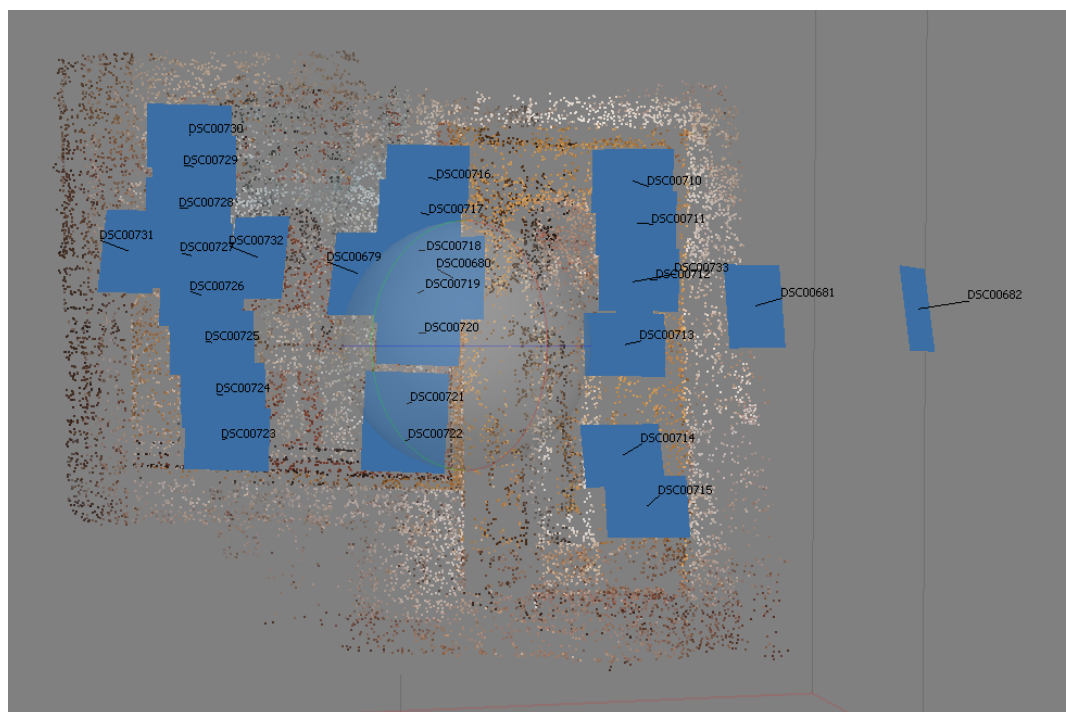


Figura 61. Nube de puntos de enlace.

En las tablas adjuntas se muestran los errores obtenidos para los puntos de control en cada una de las zonas orientadas.

ESTATUA 1			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3110	11	0.0030	0.574
DIA3111	7	0.0022	0.468
DIA3113	11	0.0022	0.733
DIA3114	15	0.0035	0.542
DIA3115	6	0.0024	0.813
Error total		0.0049	0.624

Tabla 14. Errores de puntos de control de estatua 1.

ESTATUA 2			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3122	8	0.0038	0.903
DIA3123	8	0.0048	1.003
DIA3125	11	0.0039	0.730
DIA3126	8	0.0045	0.860
DIA3127	8	0.0067	0.788
Error total		0.0048	0.853

Tabla 15. Errores de puntos de control de estatua 2.

ESTATUA 3			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3134	7	0.0069	0.927
DIA3135	7	0.0087	1.029
DIA3136	13	0.0053	0.892
DIA3137	11	0.0074	0.715
DIA3138	10	0.0045	0.551
DIA3139	9	0.0089	0.602
Error total		0.0071	0.791

Tabla 16. Errores de puntos de control de estatua 3.

ESTATUA 4			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3140	6	0.0042	0.886
DIA3141	14	0.0062	0.497
DIA3142	7	0.0014	0.841
DIA3143	7	0.0018	0.664
DIA3145	13	0.0023	0.727
Error total		0.0037	0.701

Tabla 17. Errores de puntos de control de estatua 4.

ESTATUA 5			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3128	9	0.0022	0.441
DIA3129	10	0.0032	0.342
DIA3130	13	0.0015	0.598
DIA3131	12	0.0015	0.541
DIA3133	7	0.0010	0.792
Error total		0.0066	0.551

Tabla 18. Errores de puntos de control de estatua 5.

ESTATUA 6			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
DIA3116	7	0.0019	0.726
DIA3117	7	0.0032	0.609
DIA3118	14	0.0045	0.838
DIA3120	9	0.0030	0.803
DIA3121	8	0.0019	0.788
Error total		0.0030	0.773

Tabla 19. Errores de puntos de control de estatua 6.

BLOQUE PIEDRA			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
PUN3153	15	0.0073	0.629
PUN3154	15	0.0069	0.529
PUN3155	7	0.0087	0.742
PUN3158	14	0.0074	0.426
Error total		0.0076	0.569

Tabla 20. Errores de puntos de control de bloque piedra.

CRIPTA			
Marcadores	Proyecciones	Error (m)	Error (pix)
PUN3146	5	0.0034	0.096
PUN3147	11	0.0038	0.168
PUN3148	15	0.0026	0.323
PUN3149	9	0.0106	0.472
PUN3150	9	0.0018	0.227
PUN3151	4	0.0028	0.426
PUN3152	16	0.0029	0.2000
Error total		0.0049	0.289

Tabla 21. Errores de puntos de control de cripta.

Se puede observar un error algo elevado en alguno de los puntos, debido en la mayoría de los casos, por la mala definición de dichos puntos en la nube de puntos TLS. Aun así, se consideran aceptables dado que, como se podrá ver posteriormente, los resultados obtenidos a partir de los distintos bloques fotogramétricos son comprobados con los obtenidos con el TLS, y la coincidencia es correcta.

3.5.3. Obtención de superficies

Una vez orientados todos los bloques se procede a la obtención de las nubes de puntos densas. Se calculan a nivel medio y el número de puntos para cada una de las zonas se muestra en la tabla adjunta. Un ejemplo de nube densa obtenida se puede ver en la figura 22.

Monumentos	Nube puntos densa
Cripta	8192807
Estatua 1	5622665
Estatua 2	3297806
Estatua 3	3227520
Estatua 4	3264812
Estatua 5	3296107
Estatua 6	3349559
Bloque piedra	3267480

Tabla 22. Número de puntos de la nube densa de cada monumento.

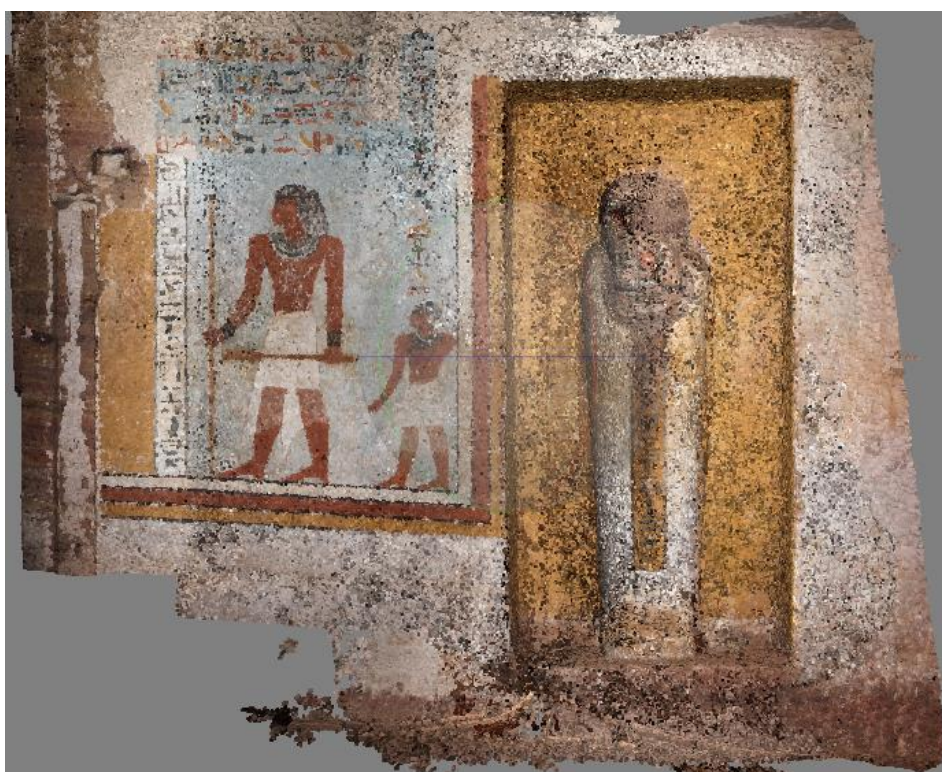


Figura 62. Nube de puntos densa.

A partir de cada nube densa se procede a obtener la superficie o malla 3d, para lo que se utiliza el algoritmo de obtención de modelo aleatorio o modelo tridimensional. Finalmente, se le asigna la textura, tal y como se puede ver en las figuras siguientes.

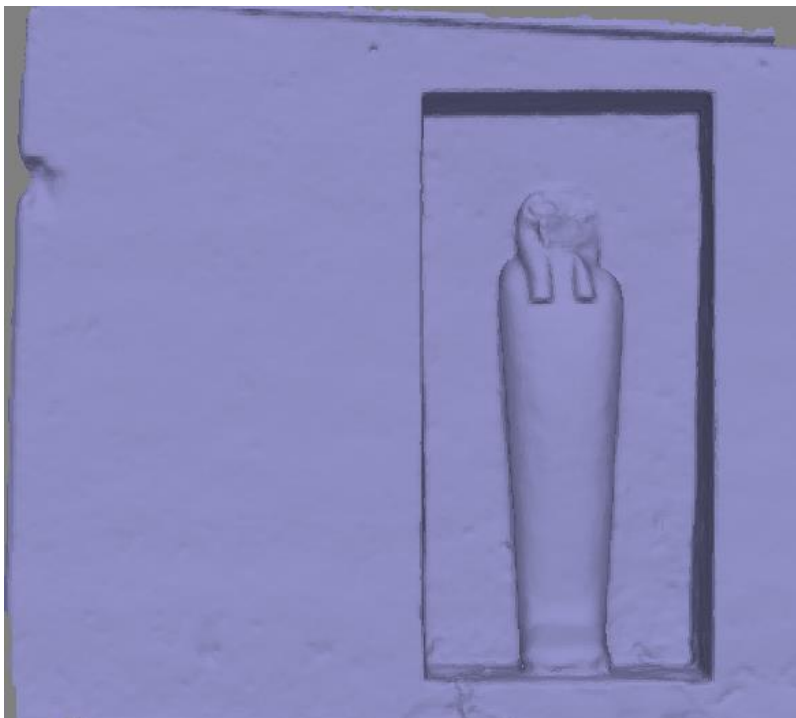


Figura 63. Malla con sombreado.



Figura 64. Malla con textura.

En la tabla 23, se muestran los triángulos obtenidos para cada una de las zonas.

Monumentos	Modelo 3D (nº caras)
Cripta	2548674
Estatua 1	210554
Estatua 2	180875
Estatua 3	181722
Estatua 4	171108
Estatua 5	192733
Estatua 6	198623
Bloque piedra	357172

Tabla 23. Número de caras obtenidas de cada modelo 3D.

En cuanto a las superficies obtenidas hay que comentar que salvo en el caso de la cripta, todos los modelos se obtienen sin ningún tipo de hueco, existiendo una compleción completa del objeto del levantamiento. En el caso de la cripta, como objeto de levantamiento solo se plantea la parte delantera de la misma, formada por la cavidad de ofrendas y la cara frontal de las columnas, donde existen pinturas y jeroglíficos. El resto de la sala, traseras de columnas y fondo de la sala no es capturada mediante técnicas fotogramétricas y por lo tanto no se obtiene el modelo 3D mediante esta técnica. En las figuras adjuntas se pueden ver los modelos 3D con textura de las distintas zonas.



Figura 65. Modelo 3D con textura en la cámara de ofrendas.



Figura 66. Modelo 3D con textura en la estatua 1.



Figura 67. Modelo 3D con textura en la estatua 2.



Figura 68. Modelo 3D con textura en la estatua 3.



Figura 69. Modelo 3D con textura en la estatua 4.



Figura 70. Modelo 3D con textura en la estatua 5.

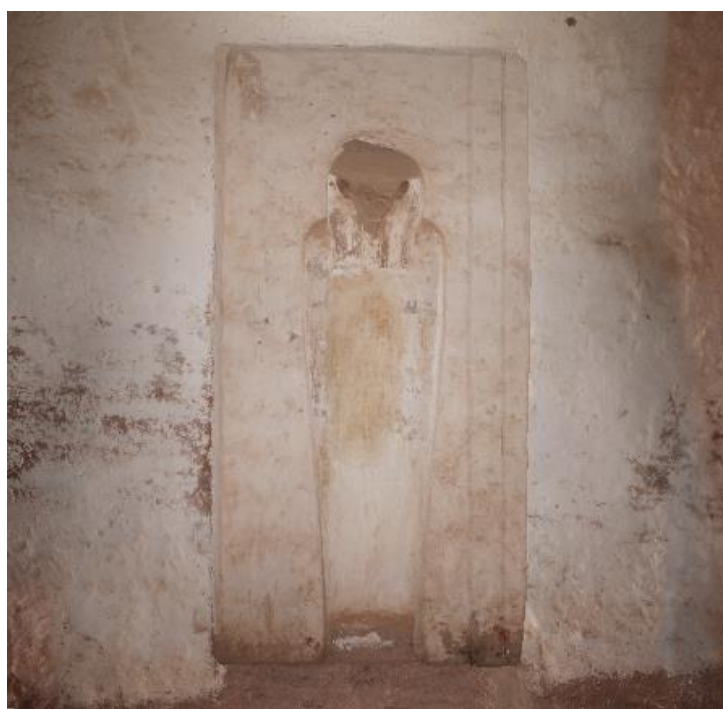


Figura 71. Modelo 3D con textura en la estatua 6.

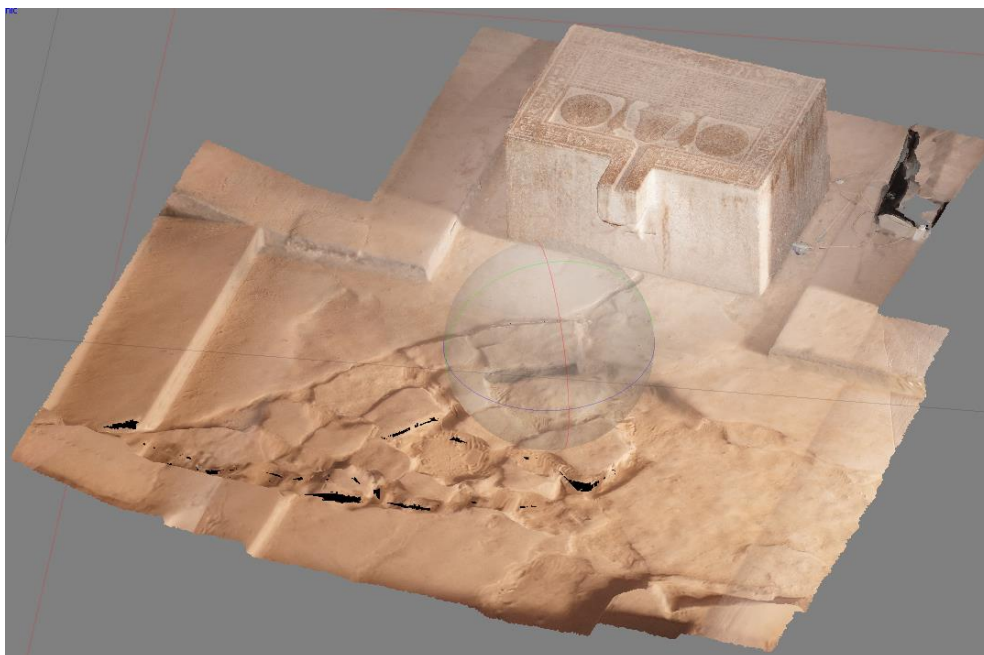


Figura 72. Modelo 3D con textura de bloque piedra.



Figura 73. Vista superior de bloque piedra.

3.5.4. Creación de Ortoimágenes

Uno de los productos más demandados a las técnicas fotogramétricas es la ortoimagen, y en el caso de la arqueología o documentación del patrimonio, más aún si cabe, por la utilidad que tiene estos productos en el estudio de lienzos y paramentos.

En este sentido, se han obtenido las distintas ortoimágenes de las zonas trabajadas, para lo que previamente se ha tenido que determinar el plano de proyección más adecuado. La determinación del plano de proyección se lleva a cabo en la aplicación PhotoScan mediante la definición de dos vectores para los ejes X e Y del plano de proyección a partir del punto inicial y final de dichos vectores (figura 75). En este caso se definen tres planos de proyección para todas las zonas, de tal manera que exista continuidad en el sistema de proyección de todas las zonas pertenecientes al mismo plano.

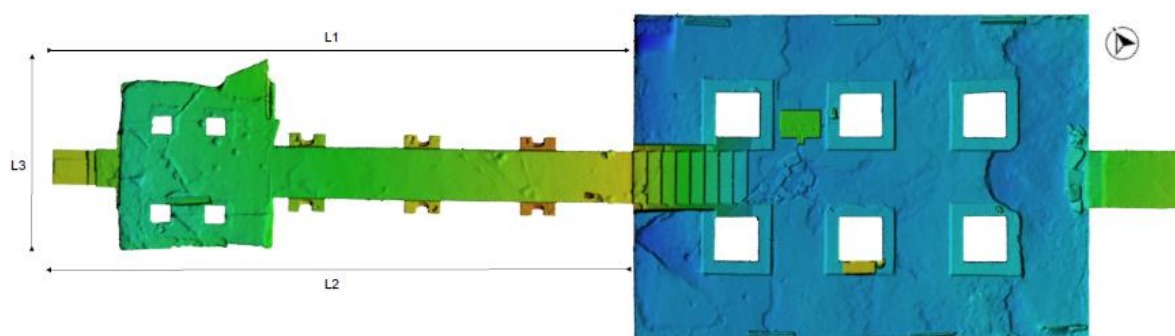


Figura 74. Croquis de la planta.

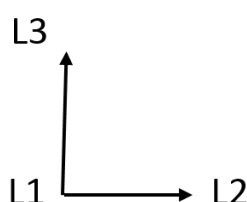


Figura 75. Vectores definidores del plano de proyección.

En la tabla adjunta se pueden observar las coordenadas de los puntos que definen los vectores que a su vez definen el plano de proyección en el espacio.

Lienzos	Marcadores	X (m)	Y (m)	Z (m)
Lienzo 1	L11	488811.830	2665502.780	130.000
	L12	488823.270	2665495.350	130.000
	L13	488811.830	2665502.780	132.000
Lienzo 2	L11	488823.270	2665495.350	130.000
	L12	488811.830	2665502.780	130.000
	L13	488823.270	2665495.350	132.000
Lienzo 3	L11	488811.231	2665501.610	130.000
	L12	488812.564	2665503.626	130.000
	L13	488811.231	2665501.610	132.000

Tabla 24. Coordenadas que definen los diferentes vectores de los planos.

Una vez definidos los planos, se podrá realizar la proyección de la superficie 3D obtenida, como mapa de profundidad (modelo digital de elevaciones) o como mapa radiométrico (ortoimagen). Una vez definido el plano de ortoproyección, el ámbito de ortoproyección y la resolución, que en este caso es de 0.5 mm, se obtienen las ortoimágenes de cada una de las zonas, tal y como se puede ver en las figuras adjuntas.



Figura 76. Ortoimagen de estatua 1.



Figura 77. Ortoimagen de estatua 2.



Figura 78. Ortoimagen de estatua 3.



Figura 79. Ortoimagen de estatua 4.



Figura 80. Ortoimagen de estatua 5.



Figura 81. Ortoimagen de estatua 6.



Figura 82. Ortoimagen de cripta (lienzo 1).



Figura 83. Ortoimagen de cripta (lienzo 2).

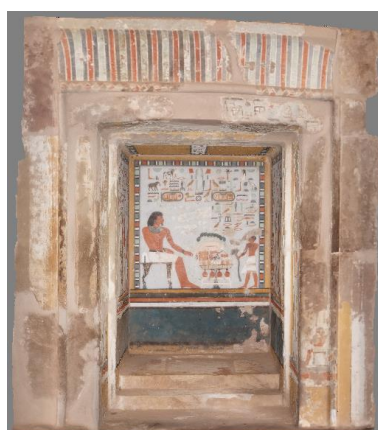


Figura 84. Ortoimagen de cripta (lienzo 3).

3.6. Fusión de datos fotogramétricos y TLS

Puesto que los datos TLS, tienen una cobertura completa del complejo funerario, pero no disponen de color y presentan algunos huecos o vacíos en los mismos, motivados por zonas ocultas en los diferentes escaneos, se procede a unificar estos datos con los fotogramétricos, para rellenar dichos huecos y aportar RGB a las zonas capturadas con imagen.

De esta manera, aprovechamos la mejor calidad de la nube de puntos TLS, completamos con datos fotogramétricos y estaremos en disposición de llevar a cabo la obtención de productos con radiometría fotográfica.



Figura 85. Comparación de nube de puntos con ambas técnicas en la estatua 1.



Figura 86. Comparación de ambas técnicas en la cripta.

Para llevar a cabo esta fusión de los datos, primero se superponen y se analizan las faltas existentes en los datos TLS, recuperando de los datos fotogramétricos dichos datos. Una vez rescatados los datos y añadidos a la nube de puntos TLS, se obtiene la nube de puntos definitiva. A partir de esta información se procede a repetir la obtención del modelo 3D, esta vez definitivo.

Posteriormente, y con la finalidad de aplicar el RGB disponible a dicho modelo, se procede a extraer los modelos correspondientes a estas zonas del modelo general, importarlos en el proyecto fotogramétrico y añadir la textura. Una vez obtenidos los modelos 3d texturizados, se exportan y se unen al modelo general en Cloud Compare.

El resultado de dicha función se puede observar en las figuras adjuntas.

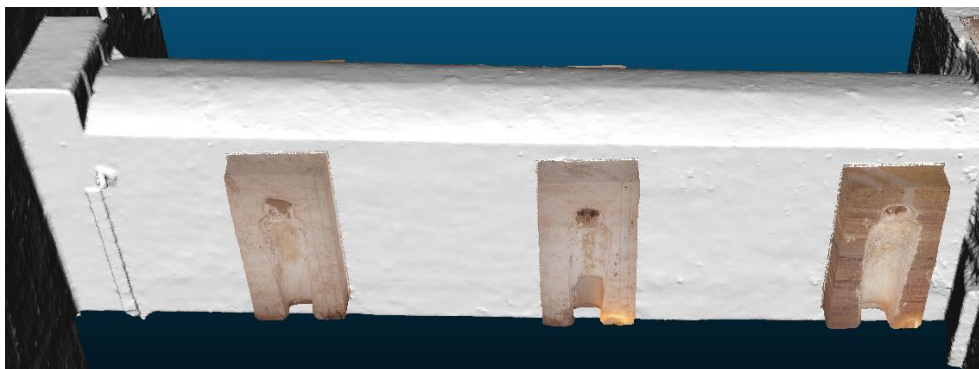


Figura 87. Vista lateral derecha de las tres estatuas (estatua 4, 5 y 6).



Figura 88. Vista lateral izquierda de las tres estatuas (estatua 1, 2 y 3).

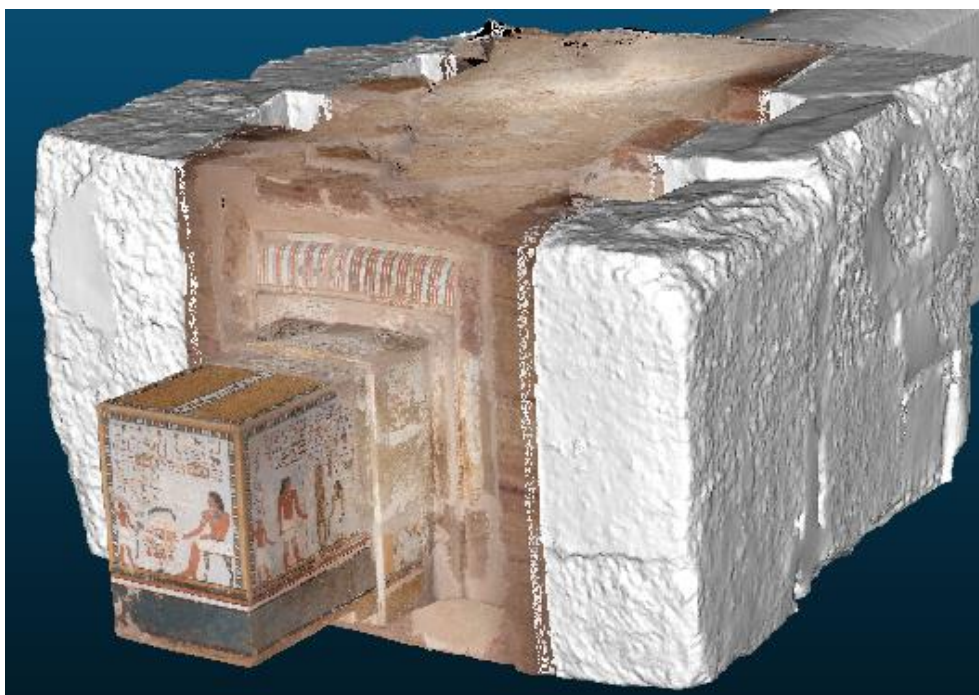


Figura 89. Vista de la cripta.



Figura 90. Vista inferior de bloque de piedra.

Una vez obtenidos los modelos de cada zona en el proyecto fotogramétrico se podrán obtener las ortoimágenes y los modelos digitales de los distintos lienzos de manera definitiva. Como se comentó anteriormente, la fusión de ambos conjuntos de datos, permite utilizar la mayor calidad de la geometría del TLS y la radiometría de la fotogrametría.

A partri de esta fusión se obtienen todos los productos definitivos que en el apartado seiguiente se describen.

Capítulo 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

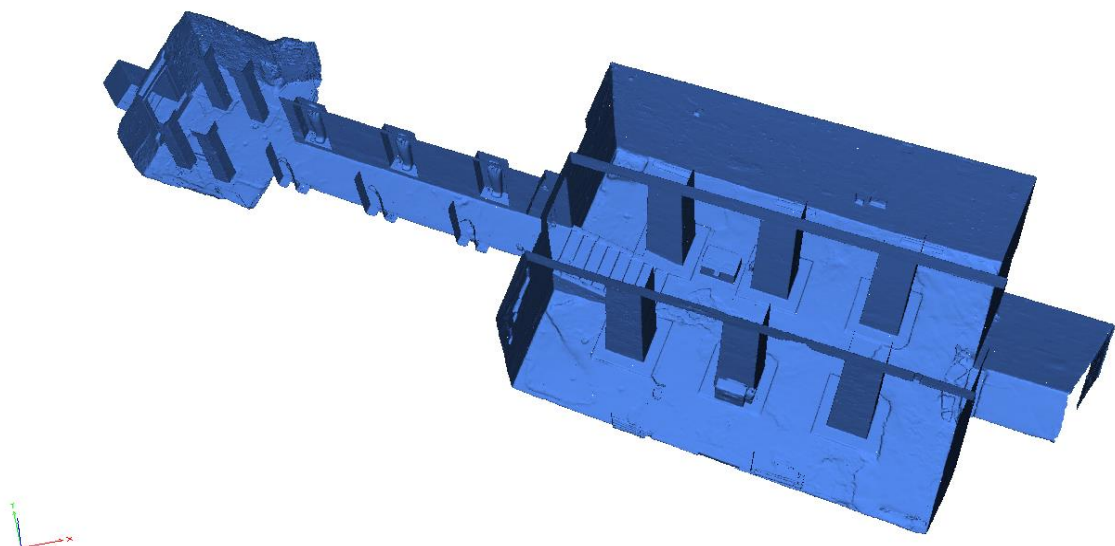
En este capítulo, se van a presentar de manera resumida los diferentes resultados y productos obtenidos, para posteriormente realzar un análisis de los procesos asociados a cada una de las técnicas utilizadas, así como de los diferentes resultados parciales obtenidos en las mismas.

- **Modelo 3D.**

Como resultado general, y como ya ha quedado de manifiesto, se tendrá el modelo 3D resultado de la fusión de la nube de puntos TLS y de los distintos bloques fotogramétricos.

Este modelo general, y los modelos individuales texturizados de cada una de las zonas, se exporta a diferentes formatos. Por un lado, a formato OBJ, como formato de modelos 3D extandar y de intercambio, por otro lado, a formato PDF, como formato de difusión y visualización de los modelos 3D.

A partir de este modelo se realizarán posteriormente recorridos virtuales mediante videos o mediante la incorporación de dicho modelo en un programas específico de motor de videojuegos.



QH_31

Figura 91. Captura de un producto en PDF 3D sin textura.



Figura 92. Captura de un producto en PDF 3D con textura.

- **Modelo Digital del Terreno de la planta**

Como se comentó en el apartado anterior, una vez obtenido el modelo 3D general de la sala mediante la fusión de los datos TLS y fotogramétricos, se estará en disposición de extraer información y productos derivados del mismo. Por ejemplo, el siguiente resultado obtenido es el modelo digital de elevaciones de la planta de la sala. A partir del cual se pueden obtener las correspondientes curvas de nivel, así como cualquier tipo de sección. La resolución para el modelo es de 10 mm/píxel. En el MDT se puede observar claramente como a partir de un nivel estable de la sala inicial se pasa mediante escaleras a un corredor que de manera desdiente da a acceso a la sala de ofrendas o cripta.

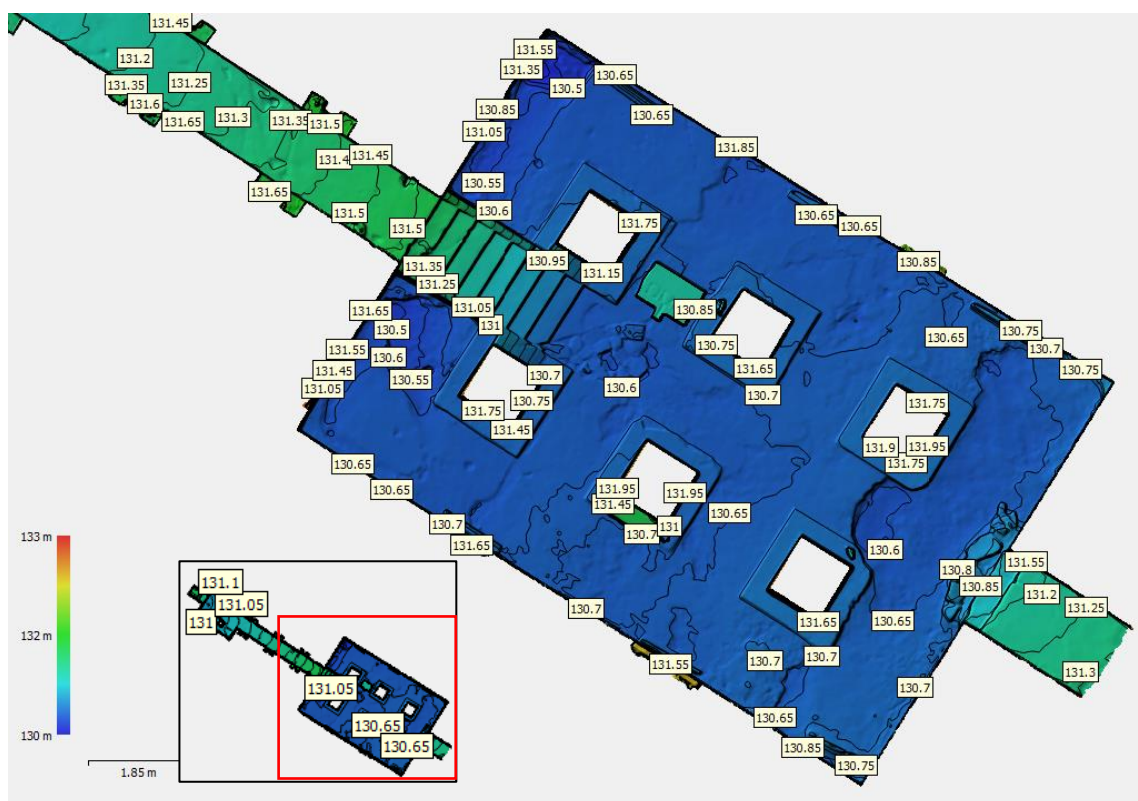


Figura 93. MDT junto las curvas de nivel del terreno en la sala hipóstila.

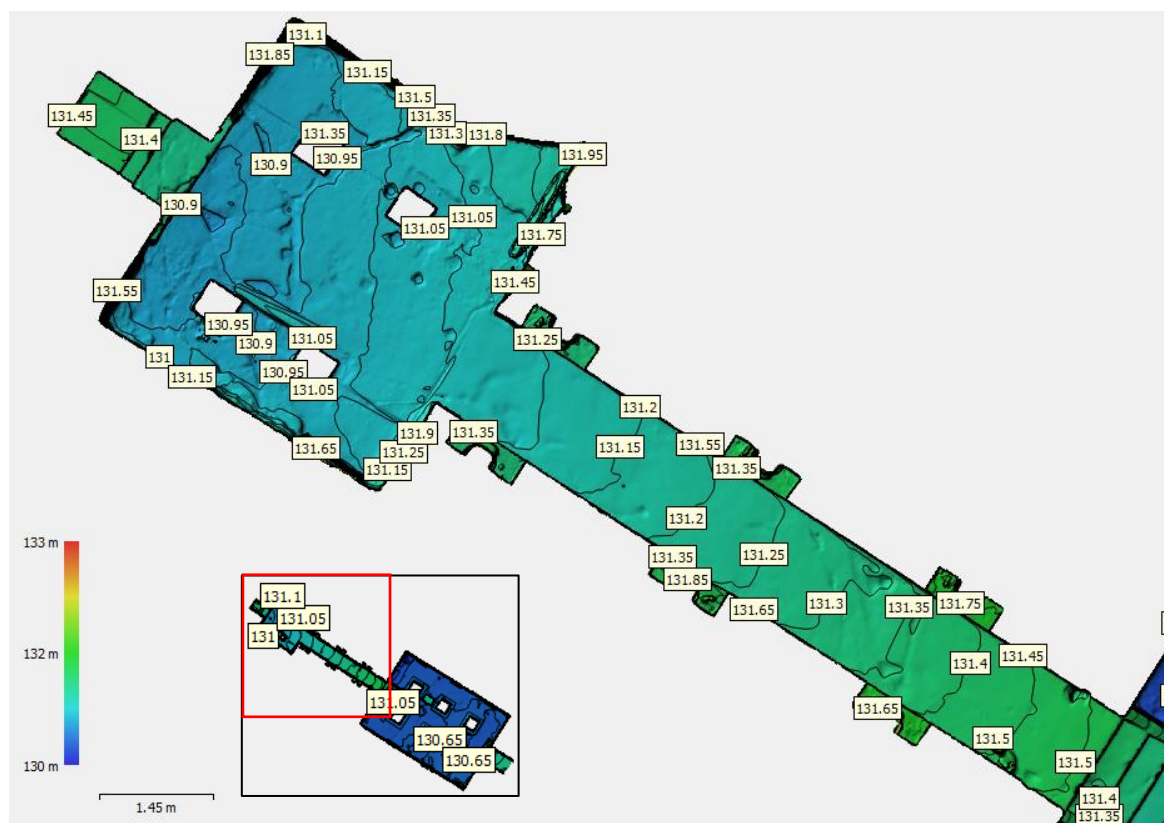


Figura 94. Creación de un MDT del complejo funerario QH31.

- **Modelos Digitales del Relieve de los diferentes lienzos**

Además del modelo digital del terreno de la sala, a partir del modelo 3D, una vez importado en la aplicación PhotoScan, y utilizando los mismos planos que los utilizados en la ortorrectificación de los lienzos, se obtienen los diferentes modelos digitales del relieve de dichos lienzos. La resolución de los mismos es de 10 mm/pixel.

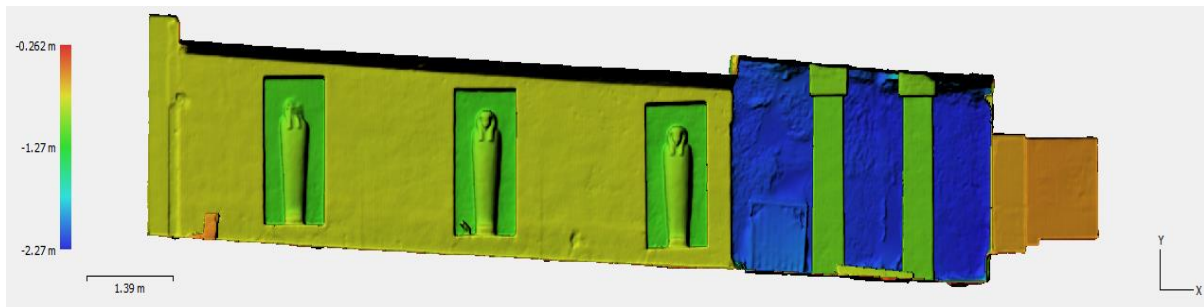


Figura 95. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 1).

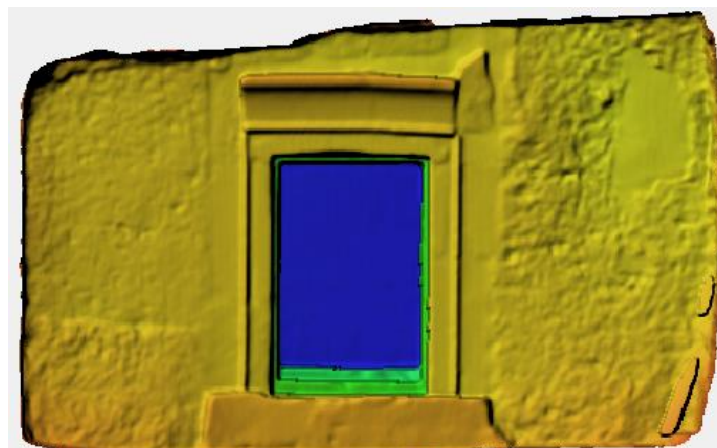


Figura 96. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 2).

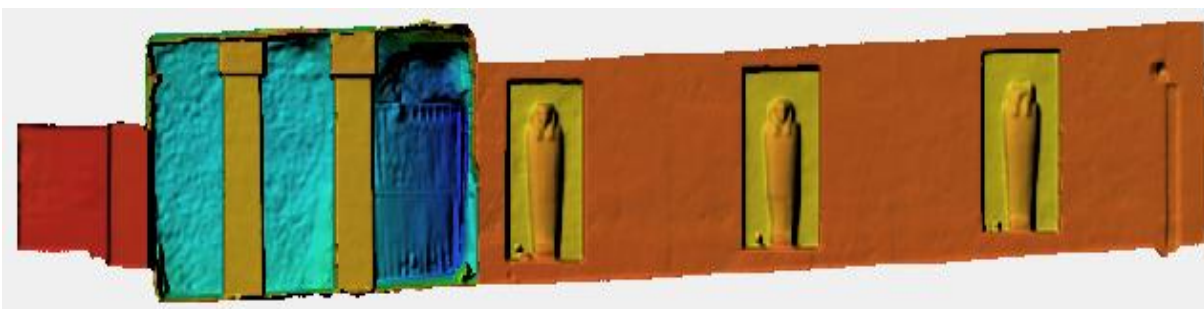


Figura 97. Modelo Digital de Elevaciones (lienzo 3).

- **Producción cartográfica.**

La producción cartográfica realizada y que posteriormente podrá ser impresa en papel, se a centrado en la cartografía de la planta (modelo digital combreado y curvado), y de los tres lienzos principales con presencia de información de interés. En este segundo caso, se han fusionado, puesto que se obtienen con el mismo plano de proyección y enconsecuencia con el mismo sistema de referencia, el modelo digital del relieve de cada lienzo con las ortoimágenes de las zonas de interés existentes en dicho plano.

Toda la información relativa a lo mencionado, se ha importado en el software QSIG donde se llevará a cabo la producción de los distintos planos. Por un lado, el modelo digital del terreno de planta y las curvas de nivel (que serán etiquetadas posteriormente); y por otro lado, los modelos digitales del relieve de cada lienzo y las ortoimágenes correspondientes. La escala de los diferentes planos se ajusta para que la altura del papel sea la altura del A4 y la longitud variable, adaptándose a la información a mostrar. Por facilitar dicha tarea y para optimizar la escala de la representación de la planta, la documentación se gira para hacer coincidir el eje principal de la sala con el eje x del papel. En figura adjunta se puede observar la cartografía obtenida para la planta de la sala.

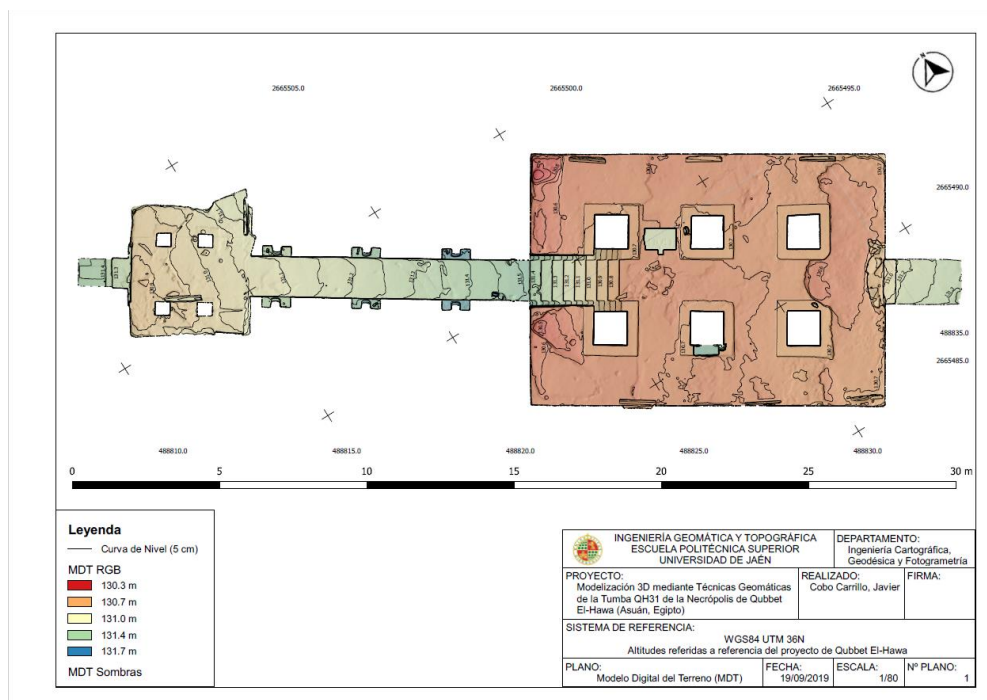


Figura 98. Modelo Digital de Terreno de la planta.

Para la cartografía de los lienzos se obtienen cuatro planos, uno general de los mismos, y tres correspondientes a los tres lienzos mencionados. Ver figuras adjuntas.

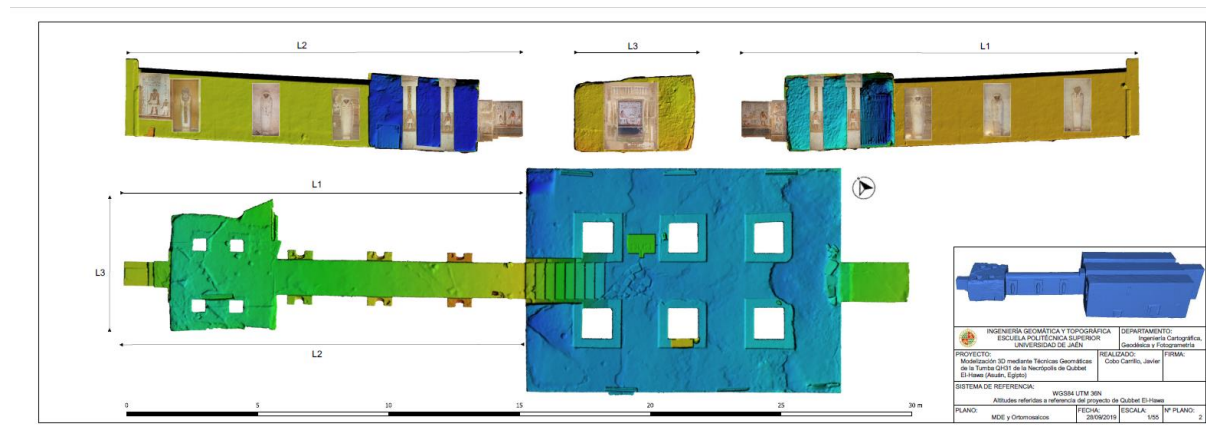


Figura 99. Producto cartográfico general formado por MDE y Ortoimágenes.

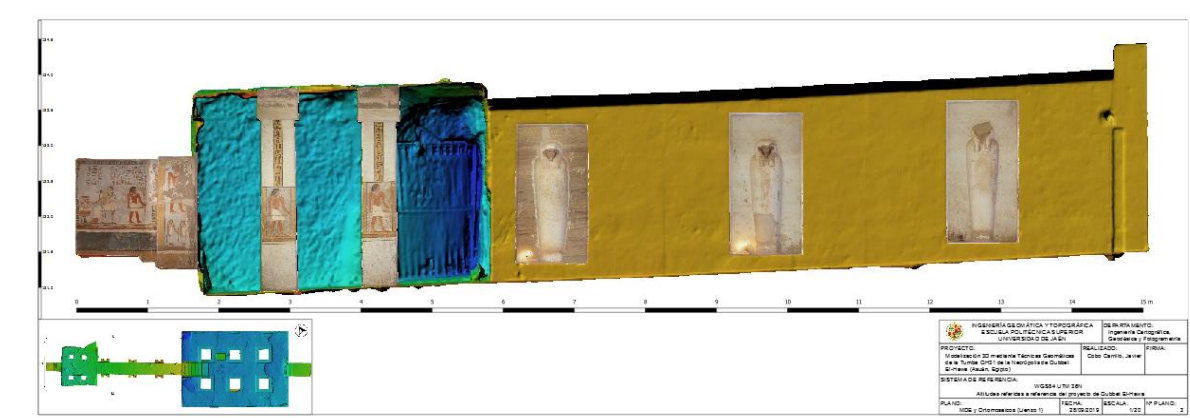


Figura 100. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 1).

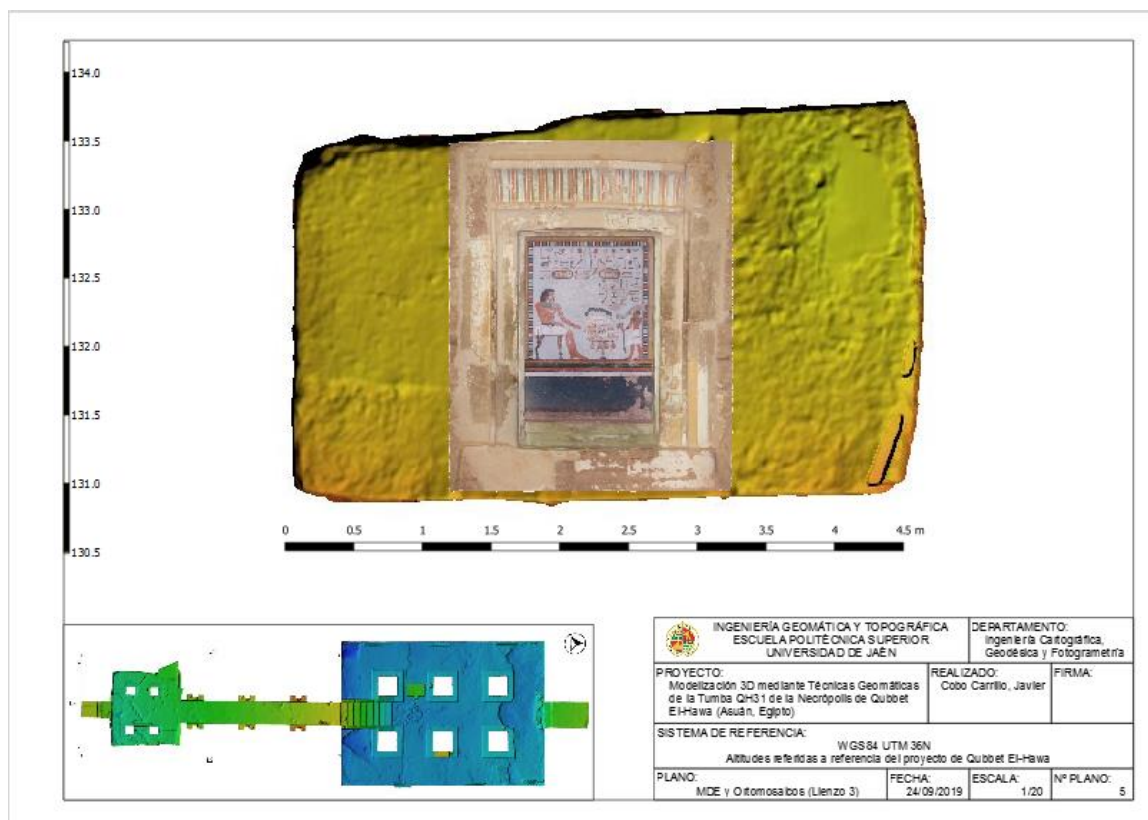


Figura 101. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 3).

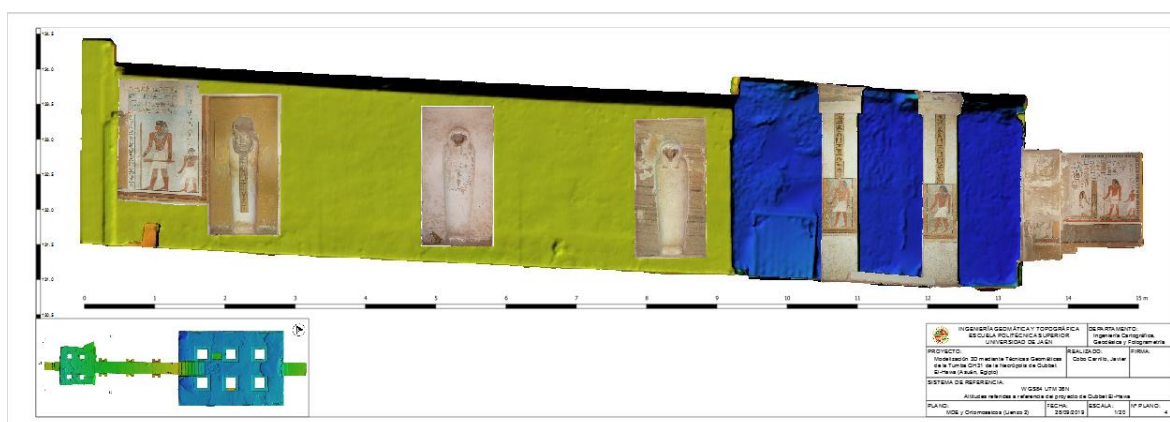


Figura 102. Producto cartográfico formado por MDE y Ortoimágenes (lienzo 2).

- **Obtención de un recorrido virtual 3D**

Otro de los productos obtenidos es la recreación del entorno virtual 3D del interior del hipogeo QH31, a partir del modelo 3D obtenido y la aplicación Unity, que es uno de los motores de videojuegos mas conocidos del mercado.

En esta aplicación se han incorporado los diferentes modelos 3D obtenidos importándolos desde el formato OBJ. Posteriormente se ha programado el entorno y los movimientos de la cámara. El usuario mediante los controles del ordenador podrá desplazarse libremente desde la entrada del hipojeo QH31 hasta el final del mismo, pudiendo visualizar todos los detalles existentes.



Figura 103. Recorrido virtual 3D aplicado en el software Unity.

Una vez mostrado los resultados obtenidos, se podría llevar a cabo un pequeño análisis de los mismos. Así como de la distintas metodologías implicadas en la obtención de los mismos.

En primer lugar en cuanto a la técnica TLS, se ha podido comprobar que es una técnica que permite de manera rápida obtener millones de puntos de cualquier entorno sin necesidad de iluminación a partir de los cuales se podrá llevar a cabo la modelización del mismo. Se trata de una observación directa de la realidad y que no requiere puntos de control si no se precisa un sistema de referencia concreto, ya que los datos son capturados a su escala real. Es una técnica rápida en la captura pero que requiere de numerosos estacionamientos, sobre todo en entornos complejos. Se ha evidenciado, que en entornos complejos es muy complicado llevar a cabo una captura completa de toda la escena, existiendo a menudo zonas con falta de datos. El tratamiento de los datos, se ha de hacer con software específico, no siendo excesivamente complejo el procesado de los mismos dado que la mayoría de los procesos son automáticos. Finalmente comentar que la nube final ha de ser homogeneizada y simplificada para poder ser tratada con comodidad, ya que normalmente va a existir un exceso de información, que aunque sea útil para los procesos intermedios de alineación o registro, posteriormente dificulta las tareas de procesado de la modelización.

Las técnicas fotogramétricas son técnica basadas en la captura de fotografías mediante una cámara fotográfica, por lo que son accesibles a todo el mundo dado el poco coste que esto supone. Además, este instrumento es totalmente portable por lo que se puede acceder sin demasiadas dificultades a casi cualquier sitio, por lo que la compleción del escenario a levantar no suele ser complicada. Por otro lado, el uso de estas técnicas requieren conocimientos específicos en cuanto como llevar a cabo la captura de las imágenes, y necesitan de una iluminación correcta para poder extraer información de las mismas. La geometría de la escena no es capturada de manera directa, si no que es calculada a partir del procesado de las imágenes capturadas, para lo que necesita de puntos de control u otras medidas alternativas para asignarle sistema de referencia y escala a la escena levantada. El tratamiento de los datos se ha de hacer con software específico y no siempre es fácil su uso, sobre todo cuando se requiere rigor en los resultados a obtener. En cualquier caso,

los productos obtenidos son de una calidad geométrica más que suficiente aportando a los mismos la cualidad del color real de los objetos y/o la escena a levantar.

Se podría decir que la fusión de ambas técnicas, muy relacionadas entre sí, tanto en la capturar de la información como en parte del procesado de los datos, tiene un gran potencial y utilidad en cualquier proceso de documentación del patrimonio. La calidad geométrica de ambas técnicas junto con la captura del color de la escena, permite hacer replicas virtuales 3d prácticamente iguales a la realidad, permitiendo una documentación completa del objeto o escena, a partir de la cual poder cualquier tipo de documentación, producto o información que se requiera. Esta fusión se ha visto en este proyecto en diferentes fases del mismo solucionando problemas o evitando deficiencias propias de cada técnica. En el caso de la fotogrametría, el escáner le ha aportado la referencia necesaria mediante los puntos de control de segundo orden, lo que ha permitido no tener que utilizar topografía convencional e introducir en instrumental topográfico mediante técnicas de poligonación en el interior de la sala. En el caso del TLS, la fotogrametría ha permitido completar la falta de información en los datos y la aportación del color a ciertas partes de la sala, permitiendo la modelización realística de las mismas.

Capítulo 5. CONCLUSIONES

En este capítulo se llevan a cabo las conclusiones finales en referencia al trabajo realizado en el presente trabajo fin de grado. Como conclusión general se puede afirmar que se han cumplido los objetivos formativos y específicos de este proyecto de trabajo fin de grado de la carrera de Ingeniería Geomática y Topográfica.

Este trabajo ha supuesto un acercamiento a la realidad profesional en el ámbito de la geomática al llevar a cabo el procesado de datos reales obtenidos mediante técnicas topográficas, fotogramétricas y de escáner láser terrestre para la modelización 3D del complejo funerario QH31 de la necrópolis de Qubbet El-Hawa..

5.1. Técnicas geomáticas

El uso de las técnicas geomáticas son esenciales para llevar a cabo la documentación y la modelización 3D de cualquier objeto o área de trabajo.

En la documentación del patrimonio la topografía convencional, como es el trabajo con estación total, es imprescindible sobre todo cuando se trabaja con interiores o fachadas, para dar un sistema de referencia a la documentación obtenida. Además, en el caso de las técnicas fotogramétricas, será necesario para asignar escala a los productos obtenidos.

El escáner láser 3D es un instrumento muy eficaz, rápido y sencillo que aporta una densa información al capturar millones de puntos en intervalos muy cortos de tiempo. El procesado de los datos con software específico es muy cómodo y automático y que gracias a las herramientas de los mismos se obtienen productos finales de mucha calidad geométrica. Todo esto hace que esta tecnología sea hoy por hoy imprescindible para los trabajos de documentación del patrimonio monumental.

La fotogrametría es quizás, hoy por hoy, la técnica más utilizada en la documentación del patrimonio, ya que permite obtener la geometría de los objetos o escenas estudiadas a partir de imágenes realizadas desde diferentes posiciones. Es una técnica rápida en la captura y que, gracias a la aparición de aplicaciones informáticas muy automáticas, el procesado de estos datos lo puede llevar a cabo casi cualquier persona con algo de conocimientos en este área. A parte de la obtención de la geometría de la escena y objeto, la mayor aportación de esta técnica es el color, que una vez asignado a la geometría obtenida, permite hacer réplicas casi exactas de la realidad a documentar.

La fusión de ambas técnicas, TLS y fotogramétrica, es sin duda la mejor manera de llevar a cabo la documentación del patrimonio, aportando a la documentación, una enorme calidad geométrica y radiométrica. La fusión de ambas técnicas minimiza y evita los pequeños inconvenientes que cada una de ellas tiene por separado

5.2. Obtención de productos finales

Para llegar a la obtención de los productos finales se han llevado a cabo distintos procesos con los datos provenientes de técnicas como la fotogrametría y TLS en distintos softwares como PhotoScan y Maptek I-Site, que han permitido cumplir los objetivos específicos.

- Se ha podido analizar las posibilidades de estas dos metodologías trabajando de manera individualizada en la obtención de modelos 3D con información radiométrica precisa. Esto ha permitido observar y extraer (tabla 25) los puntos fuertes y débiles de cada una de ellas.

Instrumento	Escáner Láser 3D	Fotogrametría
Puntos Fuertes	1. Gran exactitud 2. Instrumento fácil de utilizar 3. Rapidez en la adquisición de datos 4. Las condiciones de iluminación no influye los resultados. 5. La nube se obtiene de forma directa.	1. Elevada exactitud. 2. La resolución depende de la distancia entre cámara y objeto. 3. Trabaja directamente con imágenes y aporta RGB. 4. El coste es menor. 5. Obtención modelo completo.
Puntos Débiles	1. No hay control de la captura de millones de puntos por el operador. 2. Baja calidad o nula en la información de RGB. 3. Dar un error medio estimado por toda la nube. 4. El coste de instrumento es caro. 5. Dificultad de recubrimiento completo.	1. Necesidad de datos para el escalado y georreferenciación. 2. La nube de puntos no es observada directamente si no calculada. 3. La captura de imágenes requiere de operador experto. 4. La luz en la escena puede afectar a la toma de imágenes.

Tabla 25. Ventajas e inconvenientes de ambas metodologías.

- Se ha llevado a cabo la generación e integración de modelos digitales fusionados de ambas técnicas. El resultado de dicha fusión ha permitido la compleción del producto 3D final con una información enriquecedora y de alta calidad de precisión, resolución y exactitud.

- Se ha obtenido un modelo digital de Terreno (MDT) para la interpretación del terreno de la sala estudiada.
- Se han obtenido productos relativos a los diferentes lienzos verticales, como son ortoimágenes y modelos digitales del relieve que han permitido documentar con gran calidad la información vertical de la sala.
- Por último, se ha llevado a cabo la obtención de un recorrido virtual 3D del estado actual del complejo funerario QH31, con el objetivo de favorecer la valorización de la necrópolis, y conseguir una mayor proyección y conservación de este patrimonio monumental.

BIBLIOGRAFÍA

Martínez Hermoso, J.A. (2017). *Tesis doctoral: Representación gráfica y diseño de la tumba de Sarenput II (QH31), Arquitectura funeraria de la necrópolis de Qubbet El-Hawa. Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática. Universidad de Córdoba.*

Pérez García, J.L. (2018). *Técnicas Geomáticas aplicadas al Patrimonio: Productos basados en técnicas geomáticas para la documentación del patrimonio. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén.*

Gómez López, J.M. (2017). *Técnicas Geomáticas aplicadas al Patrimonio: Métodos Topográficos. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén.*

Delgado García, J. (2018). *Técnicas Geomáticas aplicadas al Patrimonio: Técnicas fotogramétricas. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén.*

Pérez García, J.L. (2018). *Técnicas Geomáticas aplicadas al Patrimonio: Técnicas de escáner láser terrestre para la documentación del patrimonio. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén.*

Merlo, A.; Allperta, A. (2015). *Levantamiento Digital y Modelación 3D. Dipartimento di Architettura. Università Degli Studi Firenze.*

Angulo Fornos, R. (2013). *La fotogrametría digital: una herramienta para la recuperación de arquitecturas perdidas. Torre del Homenaje del Castillo de Constantina. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica. ETS de Arquitectura de Sevilla, España.*

Cachero, R; Abello, C. (2015). *Técnicas estéreo-fotométricas para la digitalización a escala micrométrica. Dogram S.L., Parque Tecnológico de Asturias, Spain.*

Lerma, J.L.; Cabrelles, M.; Navarro, S.; Seguí, A.E. *La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser. Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia.*

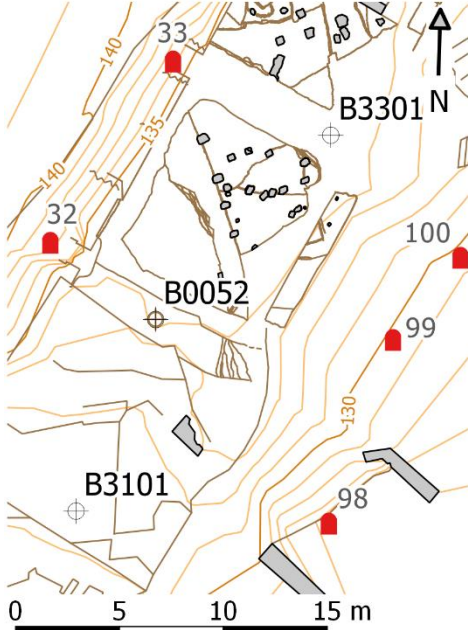
Arias, P.; Caamaño, J.C.; Lorenzo, H.; Badaoui, A. *Fotogrametría Digital de Objeto Cercano: Una técnica alternativa para el conocimiento y conservación del Patrimonio Rural. EUET Industrial, University of Vigo.*

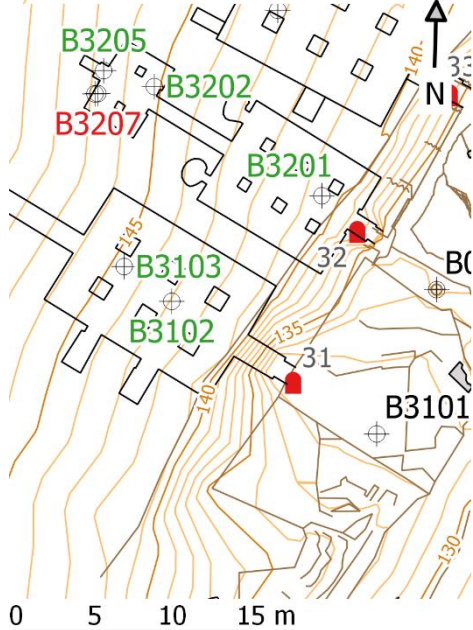
Cardenal Escarcena, J.; Mata de Castro, E.; Pérez García, J.L.; Mozas Calvache, A.; Fernández del Castillo, T.; Delgado García, J.; Ureña Cámara, M. *Técnicas Fotogramétricas y de Escáner Láser Terrestre Aplicadas a la Documentación y Valoración del Patrimonio Histórico.*

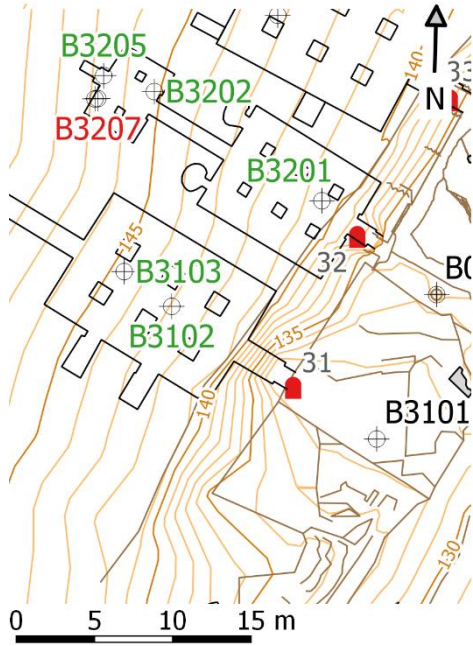
Tutorial del programa Scene: Importing, Processing and Registering Scans.

Tutorial manual de Faro Laser Scanner Focus 3D X130.

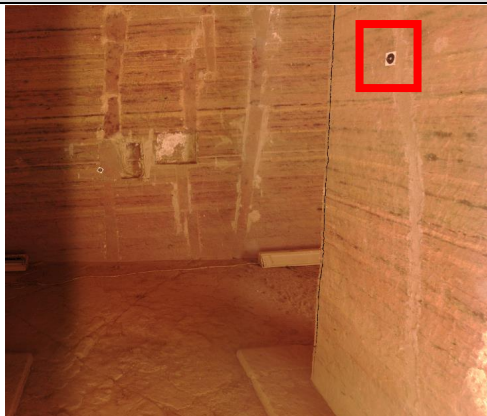
Anexo I. Reseña para poligonación

	PROYECTO	
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)	
PUNTO		
Identificador:	B3101	
Tipo de señal:	☒ Clavo ☐ Ferralla ☐ Estaca ☐ Pintura ☐ Pegatina	
Tipo de punto:	Red secundaria	
SITUACIÓN		
Coordenada X: (WGS84 UTM 36N)	488842.290 m	
Coordenada Y: (WGS84 UTM 36N)	2665482.970 m	
Coordenada Z: (Referida al origen en tumba 32)	131.564 m	
OBSERVACIONES		
Observado en 2018 Clavo en la entrada de la tumba 31.		
Visibilidad	B0052	
FOTOGRAFÍAS		
		

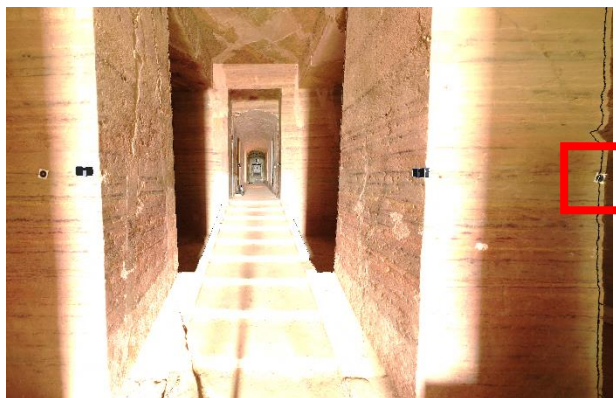
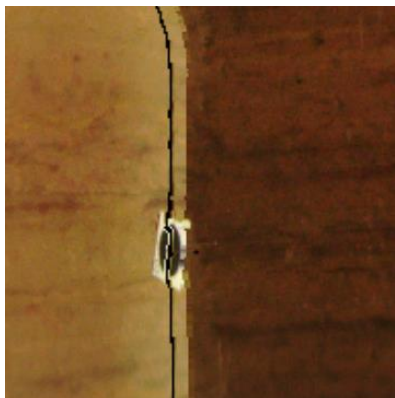
	PROYECTO	
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)	
PUNTO		
Identificador:	B3102	
Tipo de señal:	☒ Clavo ☐ Ferralla ☐ Estaca ☐ Pintura ☐ Pegatina	
Tipo de punto:	Redes de interiores de tumbas	
SITUACIÓN		
Coordenada X: (WGS84 UTM 36N)	488829.197 m	
Coordenada Y: (WGS84 UTM 36N)	2665491.442 m	
Coordenada Z: (Referida al origen en tumba 32)	130.651 m	
OBSERVACIONES		
Observada en 2018 Situada en sala de columnas de la tumba 32		
Visibilidad	B3101, B3103	
FOTOGRAFÍAS		
		

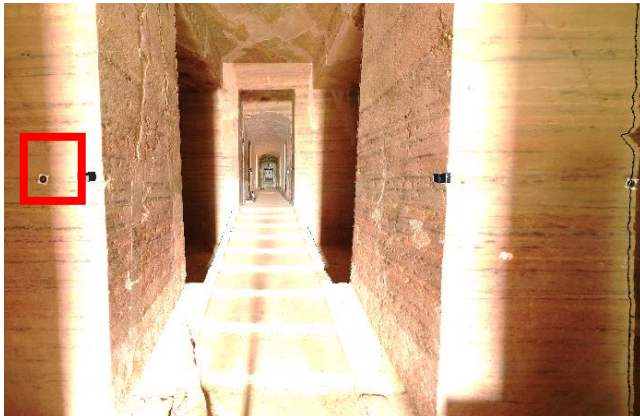
	PROYECTO	
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)	
PUNTO		
Identificador:	B3103	
Tipo de señal:	☒ Clavo ☐ Ferralla ☐ Estaca ☐ Pintura ☐ Pegatina	
Tipo de punto:	Redes de interiores de tumbas	
SITUACIÓN		
Coordenada X: (WGS84 UTM 36N)	488826.159 m	
Coordenada Y: (WGS84 UTM 36N)	2665493.663 m	
Coordenada Z: (Referida al origen en tumba 32)	130.639 m	
OBSERVACIONES		
Observada en 2018 Situada en sala de columnas de la tumba 32		
Visibilidad	B3101, B3102	
FOTOGRAFÍAS		
		

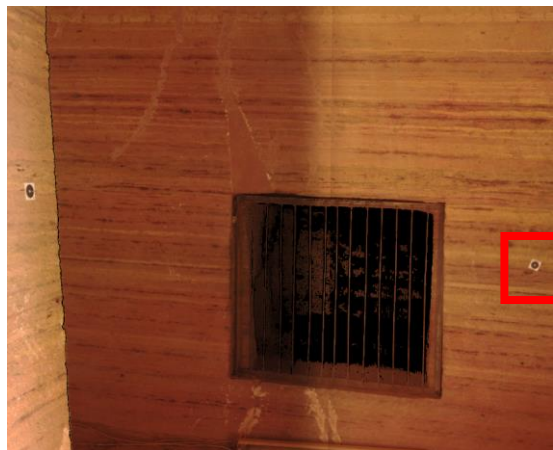
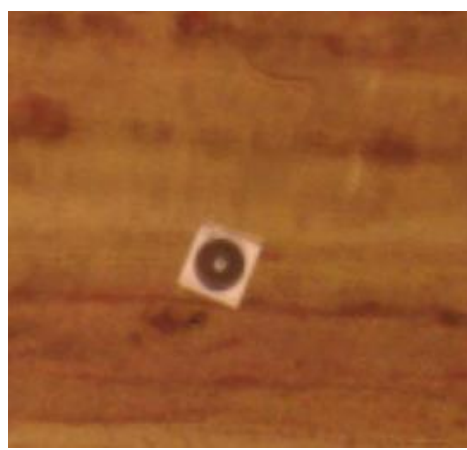
Anexo II. Reseñas puntos de control

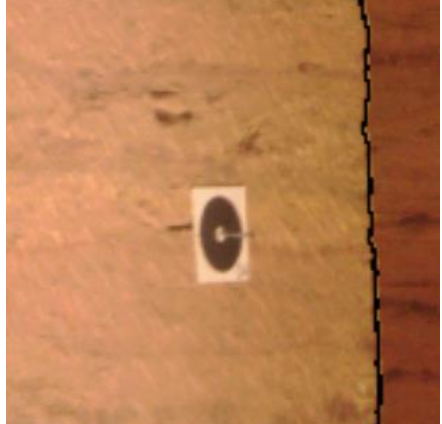
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3103	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488831.544	Diana situado en la pared de un pilar en la sala hipóstila
	Y (m)	2665492.021	
Z (m)	132.638		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3104	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488829.616	Diana situado en la pared en la sala hipóstila
	Y (m)	2665488.932	
Z (m)	132.462		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3105	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488826.641	Diana situado en la esquina de un pilar en la sala hipóstila
	Y (m)	2665488.134	
Z (m)	132.050		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3106	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488825.252	Diana situado en la esquina de un pilar en la sala hipóstila
	Y (m)	2665492.278	
Z (m)	132.344		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3107	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488827.193	Diana situado en la pared justo al lado de una reja en la sala hipóstila
	Y (m)	2665495.334	
Z (m)	132.320		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3108	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488831.737	Diana situado en la esquina de un pilar en la sala hipóstila
	Y (m)	2665495.013	
Z (m)	131.736		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

Anexo III. Tabla de coordenadas locales para la georreferenciación global

	COORDENADAS LOCALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 40, 42, 43, 44, 45	PUN3103	-4.521	0.129	-176.321
	PUN3104	-4.171	-2.845	-177.224
	PUN3105	0.358	-2.344	-176.638
	PUN3106	1.720	1.008	-176.612
	PUN3107	-0.389	4.846	-176.909
	PUN3108	-3.180	3.513	-176.497
Zona 41	PUN3153	0.178	-1.107	-177.784
	PUN3154	-0.759	-0.718	-177.774
	PUN3155	-0.777	-0.705	-178.313
	PUN3156	-0.998	-1.364	-177.775
	PUN3157	-1.011	-1.384	-178.280
	PUN3158	-0.075	-1.742	-177.786
Zona 54	PUN3110	6.355	-1.692	-175.355
	PUN3111	7.381	-1.750	-175.371
	PUN3112	6.774	-1.669	-176.038
	PUN3113	6.857	-1.727	-176.526
	PUN3114	6.216	-1.636	-176.726
	PUN3115	7.375	-1.728	-177.281
	PUN3116	6.741	-3.349	-175.352
	PUN3117	5.841	-2.978	-175.343
	PUN3118	6.116	-3.283	-176.048
	PUN3119	5.730	-3.283	-177.282
	PUN3120	6.481	-3.463	-177.182
	PUN3121	6.739	-3.347	-177.296

	COORDENADAS LOCALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 53	PUN3122	10.073	-3.226	-175.514
	PUN3123	9.305	-2.550	-175.537
	PUN3124	9.663	-2.880	-176.193
	PUN3125	9.621	-2.884	-176.701
	PUN3126	10.080	-3.223	-177.457
	PUN3127	9.167	-2.852	-177.443
	PUN3128	8.669	-4.154	-175.524
	PUN3129	9.329	-4.786	-175.638
	PUN3130	9.076	-4.494	-176.262
	PUN3131	8.949	-4.423	-176.675
	PUN3132	8.547	-4.439	-177.458
	PUN3133	9.565	-4.528	-177.476
Zona 52	PUN3134	12.864	-4.412	-175.678
	PUN3135	12.098	-3.717	-175.742
	PUN3136	12.530	-4.077	-176.389
	PUN3137	12.909	-4.429	-176.435
	PUN3138	13.018	-4.086	-177.593
	PUN3139	12.135	-3.714	-177.597
	PUN3140	11.467	-5.314	-175.668
	PUN3141	11.742	-5.611	-176.299
	PUN3142	12.362	-5.681	-177.601
	PUN3143	12.229	-5.984	-175.696
	PUN3144	11.338	-5.608	-177.576
	PUN3145	12.363	-5.687	-176.559

	COORDENADAS LOCALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 46, 48, 49, 50, 51	PUN3146	13.908	-6.608	-176.475
	PUN3147	14.605	-4.863	-176.522
	PUN3148	16.258	-5.553	-176.607
	PUN3149	17.019	-6.330	-176.112
	PUN3150	15.210	-7.169	-176.544
	PUN3151	17.013	-7.458	-176.768
	PUN3152	18.500	-7.161	-176.618

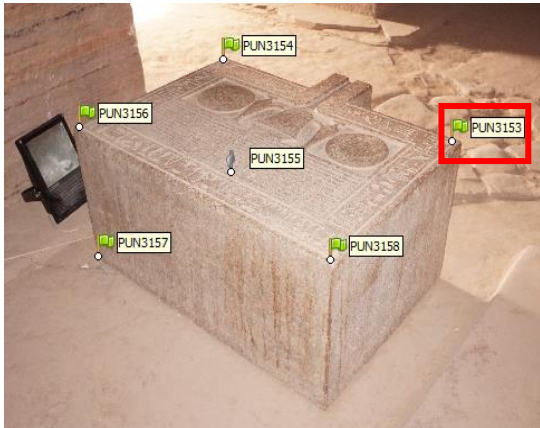
Anexo IV. Tabla de coordenadas globales obtenidas por la georreferenciación

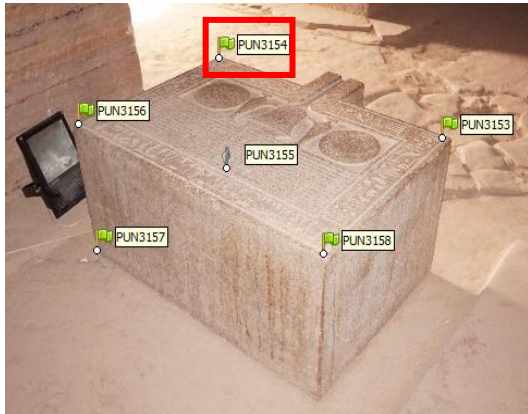
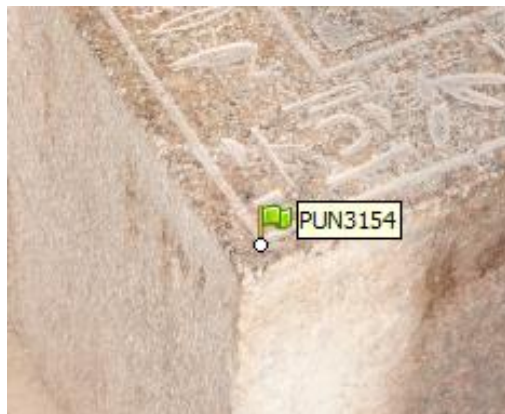
	COORDENADAS GLOBALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 40, 42, 43, 44, 45	PUN3103	488831.548	2665492.024	132.639
	PUN3104	488831.738	2665495.012	131.736
	PUN3105	488827.192	2665495.333	132.320
	PUN3106	488825.250	2665492.281	132.345
	PUN3107	488826.635	2665488.127	132.049
	PUN3108	488829.619	2665488.936	132.462
Zona 41	PUN3153	488827.147	2665494.084	131.174
	PUN3154	488827.999	2665493.533	131.185
	PUN3155	488828.015	2665493.517	130.645
	PUN3156	488828.350	2665494.125	131.184
	PUN3157	488828.367	2665494.143	130.678
	PUN3158	488827.511	2665494.663	131.173
Zona 54	PUN3110	488821.176	2665495.770	133.601
	PUN3111	488820.177	2665496.012	133.585
	PUN3112	488820.759	2665495.823	132.918
	PUN3113	488820.688	2665495.895	132.430
	PUN3114	488821.303	2665495.690	132.230
	PUN3115	488820.180	2665495.989	131.675
	PUN3116	488821.094	2665497.470	133.604
	PUN3117	488821.912	2665496.943	133.613
	PUN3118	488821.697	2665497.293	132.909
	PUN3119	488822.077	2665497.223	131.674
	PUN3120	488821.370	2665497.535	131.774
	PUN3121	488821.096	2665497.468	131.660

	COORDENADAS GLOBALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 53	PUN3122	488817.794	2665497.948	133.441
	PUN3123	488818.428	2665497.144	133.418
	PUN3124	488818.136	2665497.534	132.762
	PUN3125	488818.178	2665497.530	132.253
	PUN3126	488817.788	2665497.947	131.497
	PUN3127	488818.619	2665497.417	131.512
	PUN3128	488819.342	2665498.608	133.431
	PUN3129	488818.807	2665499.348	133.317
	PUN3130	488819.003	2665499.016	132.693
	PUN3131	488819.115	2665498.924	132.280
	PUN3132	488819.514	2665498.866	131.498
	PUN3133	488818.529	2665499.137	131.479
Zona 52	PUN3134	488815.262	2665499.616	133.276
	PUN3135	488815.890	2665498.795	133.212
	PUN3136	488815.531	2665499.227	132.565
	PUN3137	488815.221	2665499.642	132.518
	PUN3138	488815.052	2665499.323	131.361
	PUN3139	488815.854	2665498.798	131.357
	PUN3140	488816.798	2665500.252	133.286
	PUN3141	488816.581	2665500.594	132.655
	PUN3142	488815.984	2665500.775	131.353
	PUN3143	488816.169	2665501.048	133.258
	PUN3144	488816.978	2665500.519	131.379
	PUN3145	488815.984	2665500.781	132.395

	COORDENADAS GLOBALES			
	CODIGO	X	Y	Z
Zona 46, 48, 49, 50, 51	PUN3146	488814.630	2665501.964	132.479
	PUN3147	488813.630	2665500.373	132.432
	PUN3148	488812.129	2665501.349	132.346
	PUN3149	488811.520	2665502.250	132.841
	PUN3150	488813.450	2665502.750	132.410
	PUN3151	488811.729	2665503.359	132.185
	PUN3152	488810.212	2665503.334	132.335

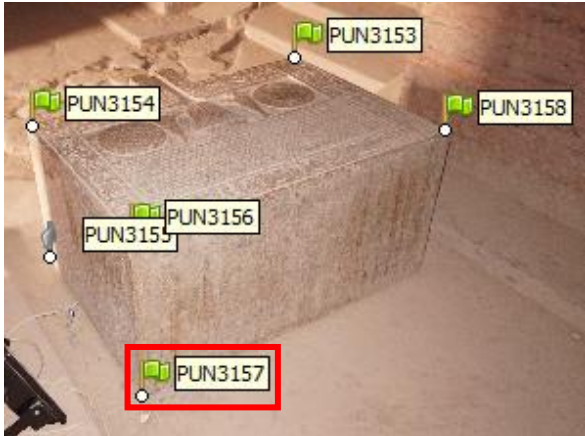
Anexo V. Reseñas puntos de apoyo (2º Orden)

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3153	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488827.147	Punto situado en la esquina superior del bloque de piedra
	Y (m)	2665494.084	
Z (m)	131.174		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

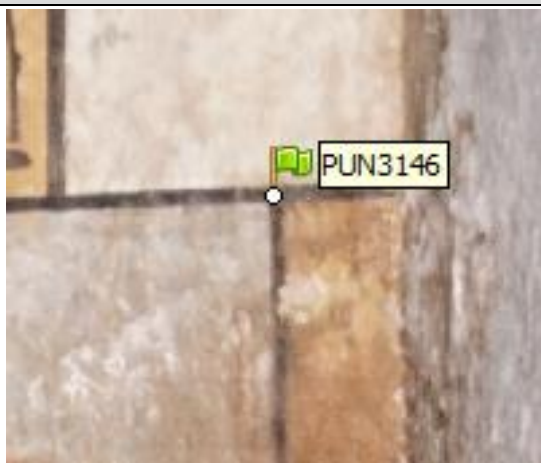
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3154	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488827.999	Punto situado en la esquina superior del bloque de piedra
	Y (m)	2665493.533	
Z (m)	131.185		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3155	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488828.015	Punto situado en la esquina inferior del bloque de piedra
	Y (m)	2665493.517	
	Z (m)	130.645	
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

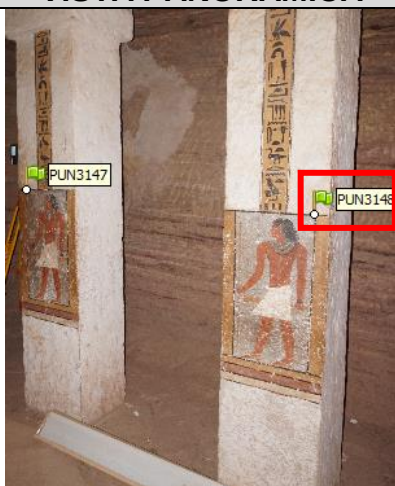
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3156	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488828.350	Punto situado en la esquina superior del bloque de piedra
	Y (m)	2665494.125	
	Z (m)	131.184	
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3157	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488828.367	Punto situado en la esquina inferior del bloque de piedra
	Y (m)	2665494.143	
Z (m)	130.678		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3158	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488827.511	Punto situado en la esquina superior del bloque de piedra
	Y (m)	2665494.663	
Z (m)	131.173		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3146	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488814.630	Punto situado en la perpendicular de la pintura del pilar derecha en la cripta
	Y (m)	2665501.964	
Z (m)	132.479		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

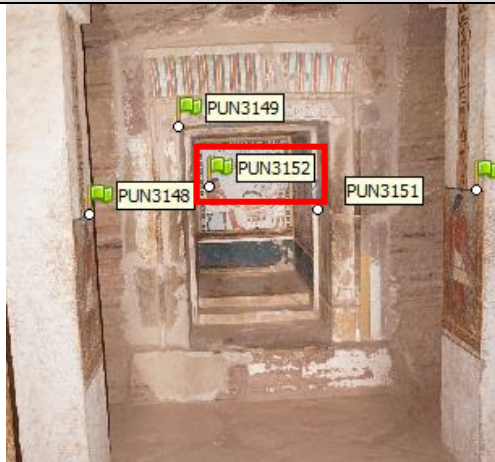
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3147	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488813.630	Punto situado en la perpendicular de la pintura del pilar izquierda en la cripta
	Y (m)	2665500.373	
Z (m)	132.432		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

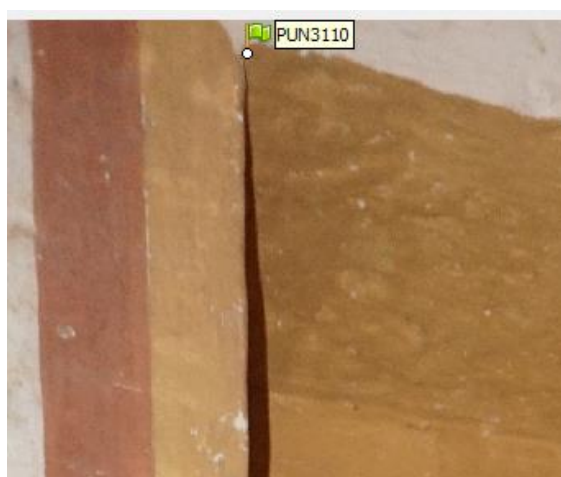
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3148	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488812.129	Punto situado en la perpendicular de la pintura del pilar derecha en la cripta
	Y (m)	2665501.349	
	Z (m)	132.346	
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3149	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488811.520	Punto situado en la esquina superior de la entrada del santuario
	Y (m)	2665502.250	
	Z (m)	132.841	
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3150	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488813.450	Punto situado en la perpendicular de la pintura del pilar izquierda en la cripta
	Y (m)	2665502.750	
Z (m)	132.410		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3151	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488811.729	Punto situado en una marca en la pared derecha del santuario
	Y (m)	2665503.359	
Z (m)	132.185		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3152	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488810.212	Punto situado en una marca en la pared frontal del santuario
	Y (m)	2665503.334	
Z (m)	132.335		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3110	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.176	Punto situado en la esquina superior de la estatua 1
	Y (m)	2665495.770	
Z (m)	133.601		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3111	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488820.177	Punto situado en la esquina superior de la estatua 1
	Y (m)	2665496.012	
Z (m)	133.585		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3112	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488820.759	Punto situado en la esquina en la parte del cuerpo de la estatua 1
	Y (m)	2665495.823	
Z (m)	132.918		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3113	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488820.688	Punto situado en la marca de circulo de dibujo en el cuerpo de la estatua 1
	Y (m)	2665495.895	
Z (m)	132.430		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3114	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.303	Punto situado en la perpendicular de dibujo en la estatua 1
	Y (m)	2665495.690	
Z (m)	132.230		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3115	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488820.180	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 1
	Y (m)	2665495.989	
Z (m)	131.675		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3116	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.094	Punto situado en la esquina superior de la estatua 6
	Y (m)	2665497.470	
Z (m)	133.604		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3117	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.912	Punto situado en la esquina superior de la estatua 6
	Y (m)	2665496.943	
Z (m)	133.613		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

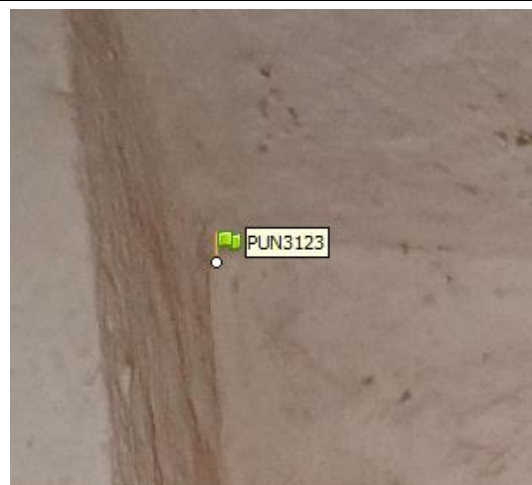
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3118	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.697	Punto situado en la esquina del cuerpo de la estatua 6
	Y (m)	2665497.293	
Z (m)	132.909		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3119	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488822.077	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 6
	Y (m)	2665497.223	
Z (m)	131.674		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	DIA3120	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.370	Punto situado en la esquina de la luz de la estatua 6
	Y (m)	2665497.535	
Z (m)	131.774		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

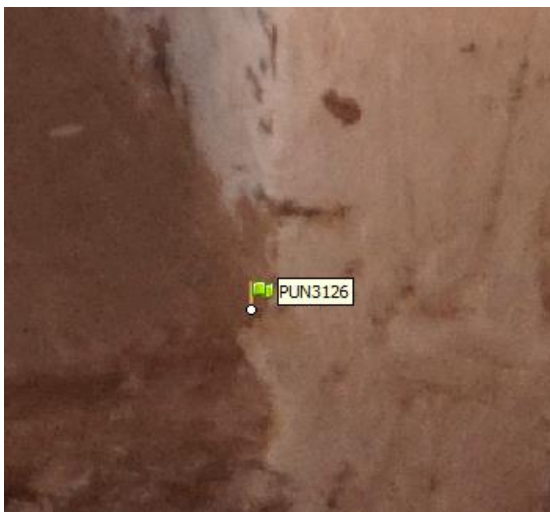
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3121	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488821.096	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 6
	Y (m)	2665497.468	
Z (m)	131.660		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3122	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488817.794	Punto situado en la esquina superior de la estatua 2
	Y (m)	2665497.948	
Z (m)	133.441		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3123	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.428	Punto situado en la esquina superior de la estatua 2
	Y (m)	2665497.144	
Z (m)	133.418		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3124	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.136	Punto situado en la marca del cuerpo de la estatua 2
	Y (m)	2665497.534	
Z (m)	132.762		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3125	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.178	Punto situado en la marca del cuerpo de la estatua 2
	Y (m)	2665497.530	
Z (m)	132.253		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3126	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488817.788	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 2
	Y (m)	2665497.947	
Z (m)	131.497		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

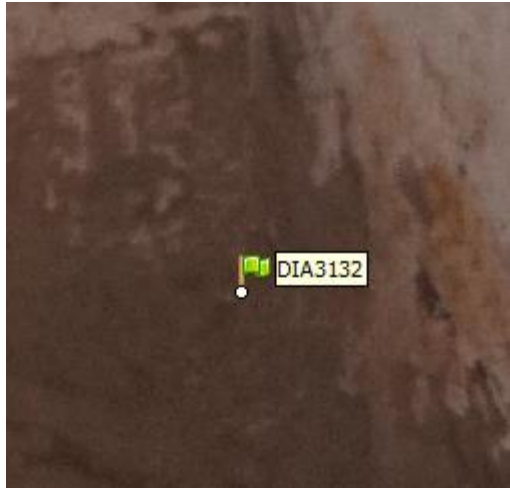
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3127	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.619	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 2
	Y (m)	2665497.417	
Z (m)	131.512		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3128	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488819.342	Punto situado en la esquina superior de la estatua 5
	Y (m)	2665498.608	
Z (m)	133.431		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

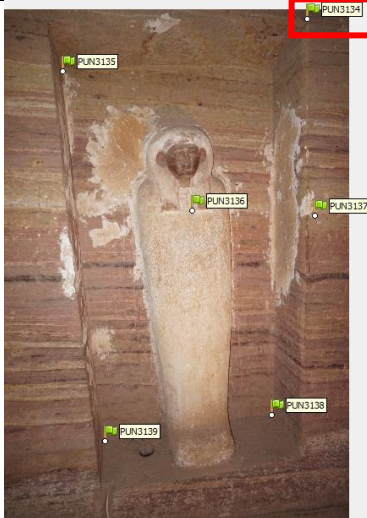
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3129	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.807	Punto situado en la pared con marca de la estatua 5
	Y (m)	2665499.348	
Z (m)	133.317		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3130	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488819.003	Punto situado en el cuerpo con una marca de la estatua 5
	Y (m)	2665499.016	
Z (m)	132.693		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3131	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488819.115	Punto situado en el cuerpo con una marca de la estatua 5
	Y (m)	2665498.924	
Z (m)	132.280		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3132	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488819.514	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 5
	Y (m)	2665498.866	
Z (m)	131.498		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3133	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488818.529	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 5
	Y (m)	2665499.137	
Z (m)	131.479		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3134	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.262	Punto situado en la esquina superior de la estatua 3
	Y (m)	2665499.616	
Z (m)	133.276		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

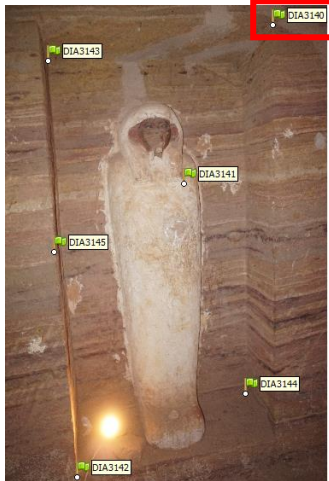
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3135	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.890	Punto situado en la esquina superior de la estatua 3
	Y (m)	2665498.795	
Z (m)	133.212		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3136	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.531	Punto situado en la esquina del cuerpo de la estatua 3
	Y (m)	2665499.227	
Z (m)	132.565		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

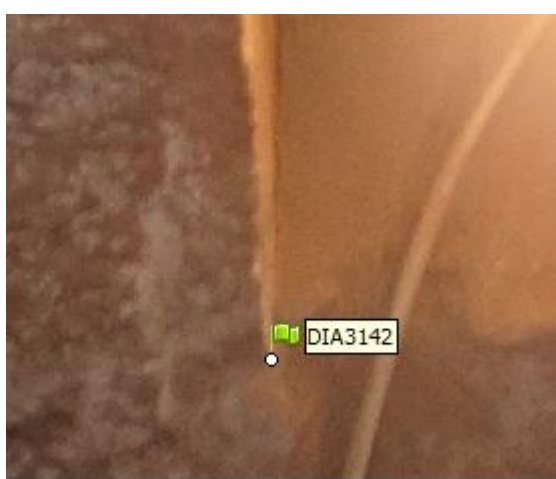
	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3137	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.221	Punto situado en la marca en la pared de la estatua 3
	Y (m)	2665499.642	
Z (m)	132.518		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3138	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.052	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 3
	Y (m)	2665499.323	
Z (m)	131.361		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3139	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.854	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 3
	Y (m)	2665498.798	
Z (m)	131.357		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3140	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488816.798	Punto situado en la esquina superior de la estatua 4
	Y (m)	2665500.252	
Z (m)	133.286		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3141	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488816.581	Punto situado en la esquina del cuerpo de la estatua 4
	Y (m)	2665500.594	
Z (m)	132.655		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3142	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.984	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 4
	Y (m)	2665500.775	
Z (m)	131.353		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3143	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488816.169	Punto situado en la esquina superior de la estatua 4
	Y (m)	2665501.048	
Z (m)	133.258		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3144	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488816.978	Punto situado en la esquina inferior de la estatua 4
	Y (m)	2665500.519	
Z (m)	131.379		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

	PROYECTO		
	Modelización 3D mediante Técnicas Geomáticas de la Tumba QH31 de la Necrópolis de Qubbet El-Hawa (Asuán, Egipto)		
	PUN3145	Coord. UTM36 (WGS84)	Observaciones
	X (m)	488815.984	Punto situado en la marca en la esquina de pared de la estatua 4
	Y (m)	2665500.781	
Z (m)	132.395		
VISTA PANORÁMICA		DETALLE	
			

Anexo VI. Planos

