



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

---

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS TÉCNICAS DE  
OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y GEOINFORMACIÓN  
Trabajo Fin de Máster

Tutor: Fernando Francisco Buchón Moragues  
*fbuchon@upvnet.upv.es*

Alumno: FangJian Shang  
*fansha@topo.upv.es*

Septiembre, 2021



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

*“El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en su texto, así como referenciado en la bibliografía”*



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## RESUMEN

---

La tecnología de escaneo láser 3D puede obtener rápidamente coordenadas 3D precisas de la superficie del modelo, pero también tiene algunas deficiencias para la construcción de modelos 3D. En primer lugar, la información de color obtenida no cumple los requisitos de la construcción de un modelo realista; en segundo lugar, los datos de la nube de puntos 3D obtenidos por escaneo a menudo parecen estar huecos. La fotogrametría digital es un buen remedio para estas dos carencias, ya que las imágenes pueden adquirirse a voluntad, y los datos de las imágenes pueden obtenerse para zonas específicas según sea necesario, mientras que la información de textura contenida es más rica. Cómo combinar estos dos métodos para que se complementen con el fin de construir un modelo 3D más detallado es una cuestión que merece la pena investigar.

Esta tesis utiliza escáneres láser 3D y fotogrametría digital para obtener datos 3D y datos fotográficos del terreno experimental, y procesa y analiza los datos de la nube de puntos sin procesar mediante el software pertinente y los algoritmos de post-procesamiento de datos relacionados para explorar la teoría y los métodos de aplicación de las técnicas de escáner láser 3D y fotogrametría en la topografía práctica del terreno.

Palabras clave: tecnología de escaneo láser 3D; fotogrametría; nube de puntos 3D; error; coordenadas del punto de control



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## ABSTRACT

---

3D laser scanning technology can quickly obtain accurate 3D coordinates of the model surface, but it also has some shortcomings for the construction of 3D models. Firstly, the colour information obtained does not meet the requirements of realistic model construction; secondly, the 3D point cloud data obtained by scanning often appears to be hollow. Digital photogrammetry is a good remedy for these two shortcomings, as the images can be acquired at will, and the image data can be obtained for specific areas as required, while the texture information contained is richer. How to combine these two methods so that they can complement each other in order to construct a more detailed 3D model is a question worth investigating.

This thesis uses 3D laser scanners and digital photogrammetry to obtain 3D data and photographic data of experimental terrain, and processes and analyses the raw point cloud data through relevant software and related data post-processing algorithms to explore the theory and methods of applying 3D laser scanner and photogrammetry techniques in practical terrain surveying.

Keywords: 3D laser scanning technology; photogrammetry; 3D point cloud; error; control point coordinates



## AGRADECIMIENTOS

---

*Al terminar mi tesis, mis dos años de vida de postgrado llegan a su fin.*

*Mirando hacia atrás, me gustaría expresar mi más profunda gratitud a todos los profesores, estudiantes y amigos que me han ayudado, inspirado y guiado, los recordaré.*

*Mi más sincero agradecimiento a mi director y tutor del proyecto, el profesor D. Fernando Francisco Buchón Moragues, por su atención y ayuda durante mis estudios de postgrado y la dirección de la tesis. Estoy muy impresionado por sus conocimientos, su pensamiento pionero, su amplitud de miras y su estilo de trabajo concienzudo, meticuloso y accesible.*

*En cuanto a la selección de cursos profesionales, me gustaría expresar mi más profunda gratitud por la orientación y la ayuda que recibí del Sr. Zhu en la elección de mis cursos principales y en la redacción de mi disertación.*

*Me gustaría agradecer a todos los profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica de la Universitat Politècnica de València su apoyo y ayuda, que durante estos dos años me han atendido y ayudado, y cuyo enfoque realista de la investigación y la humildad me servirán de modelo y meta en el futuro.*

*Me gustaría dar las gracias a todos mis compañeros y amigos que estudian en mi misma clase, vuestra practicidad y motivación se han convertido también en mi motivación en los estudios. Agradecer sus consejos y orientación durante mis estudios e investigaciones.*

*Me gustaría dar las gracias a todos mis amigos del mi mismo grupo, tengo muchos buenos recuerdos del tiempo que pasé estudiando y viviendo con vosotros. Gracias a todos mis amigos que me han cuidado, guiado, ayudado y apoyado.*

*Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres y familiares por su apoyo. Es gracias a su infalible amor y a su silenciosa dedicación a lo largo de los años que he podido dedicarme a mis estudios y a mi trabajo. Siempre serán mi motivación y mi fuerza en el camino.*

*Me gustaría dar las gracias a todos los expertos y académicos que han participado en la defensa, evaluación y revisión de la tesis.*

*Por último, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los que me han prestado su atención, apoyo, comprensión y ayuda, que serán un activo importante en mi trayectoria personal y profesional.*



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## ÍNDICE GENERAL

---

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN.....   | 3  |
| ABSTRACT.....  | 4  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | 5  |
| ÍNDICE GENERAL .....   | 6  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | 9  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | 11 |
| 1. INTRODUCCIÓN.....   | 12 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación.....   | 12 |
| 1.2. Estado de la investigación sobre la tecnología de escaneo láser 3D .....  | 14 |
| 1.3. Situación actual de la fotogrametría en la cartografía topográfica .....  | 15 |
| 1.4. Principales contenidos y estructura de la investigación.....  | 15 |
| 2. TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS .....  | 18 |
| 2.1. Técnicas tradicionales de cartografía topográfica .....   | 18 |
| 2.1.1. Tecnología de cartografía GNSS RTK.....   | 18 |
| 2.1.2. Técnicas de cartografía con estación total.....   | 19 |
| 2.2. Técnicas de reconocimiento aéreo con UAV .....  | 20 |
| 2.3. Tecnología de escaneo láser 3D terrestre .....  | 21 |
| 2.3.1. Clasificación de los escáneres láser 3D .....   | 22 |
| 2.3.1.1. Clasificación según el principio de medición de la distancia.....   | 22 |
| 2.3.1.2. Plataformas para el funcionamiento de los sistemas de exploración coincidente según la<br>posición espacial del trazado láser ..... | 23 |
| 2.3.1.3. Clasificación según el método de obtención de imágenes del sistema de exploración.....  | 24 |
| 2.3.2. El principio de funcionamiento de un sistema de escaneo láser 3D terrestre .....  | 24 |
| 2.3.3. Procesamiento de datos para el escaneo láser 3D .....   | 26 |
| 2.3.4. Cartografía del terreno basada en la tecnología de escaneo láser 3D.....  | 28 |
| 2.3.5. El escaneo láser 3D frente a las técnicas tradicionales de adquisición de datos de<br>coordenadas espaciales de un solo punto .....   | 29 |
| 2.3.6. Análisis de errores de la tecnología de escaneo láser 3D.....   | 29 |
| 2.4. Técnicas fotogramétricas .....  | 31 |
| 2.4.1. Principios básicos de la fotogrametría.....   | 32 |

---



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.4.1.1.  | Sistemas de coordenadas en fotogrametría .....  | 33        |
| 2.4.1.2.  | Elementos de orientación de la imagen.....  | 36        |
| 2.4.1.3.  | Ecuación de condición colineal .....  | 37        |
| 2.4.2.    | Análisis de errores de la fotogrametría .....   | 39        |
| 2.4.2.1.  | El efecto de las cámaras digitales en la precisión de las mediciones .....  | 39        |
| 2.4.2.2.  | Influencia de las condiciones ambientales en la precisión de las mediciones .....   | 40        |
| 2.4.2.3.  | Influencia de la precisión del punto de control en la precisión de la medición.....   | 41        |
| 2.4.2.4.  | Influencia del software de post-solución en la precisión de las mediciones .....  | 41        |
| <b>3.</b> | <b>ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL ESCANEADO LÁSER 3D: UN EJEMPLO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN LA UPV .....</b>                    | <b>42</b> |
| 3.1.      | Introducción a la exploración de objetos .....  | 43        |
| 3.2.      | Medición GPS-RTK de los puntos de control en la zona de estudio .....   | 44        |
| 3.3.      | Área de estudio - Adquisición y generación de datos del escáner láser 3D.....   | 46        |
| 3.3.1.    | Comparación de la alineación de datos .....   | 47        |
| 3.3.2.    | Georreferenciación de los datos .....   | 49        |
| 3.3.3.    | Extracción de datos sobre el terreno .....  | 50        |
| <b>4.</b> | <b>ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE APROXIMACIÓN - UN EJEMPLO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN LA UPV .....</b> | <b>51</b> |
| 4.1.      | Enfoque técnico de la cámara y la fotografía con drones.....  | 52        |
| 4.1.1.    | Orientación positiva del objeto de medición.....  | 52        |
| 4.1.2.    | Métodos de simulación de rutas de vehículos aéreos no tripulados .....  | 54        |
| 4.2.      | adquisición y generación de datos para la fotogrametría de aproximación aérea simulada.....   | 56        |
| 4.2.1.    | Tratamiento interno de datos .....  | 57        |
| <b>5.</b> | <b>COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE LAS TÉCNICAS DE ESCANEADO LÁSER 3D Y DE FOTOGRAMETRÍA.....</b>   | <b>59</b> |
| 5.1.      | Comparación de los errores en los datos de las nubes de puntos 3D .....   | 60        |
| 5.1.1.    | Comparación de los gráficos de datos de nubes de puntos 3D.....   | 61        |
| 5.1.2.    | Comparación de los segmentos de línea de los datos de la nube de puntos 3D  | 63        |
| 5.2.      | Resumen de este capítulo.....   | 66        |
| <b>6.</b> | <b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....</b>  | <b>67</b> |
| 6.1.      | Diagrama de GANTT .....   | 67        |

---



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

|        |                           |           |
|--------|---------------------------|-----------|
| 6.2.   | Presupuesto.....          | 68        |
| 6.2.1. | Costes directos .....     | 70        |
| 6.2.2. | Otros costes.....         | 70        |
| 7.     | <b>CONCLUSIONES .....</b> | <b>71</b> |
| 7.1.   | Conclusiones .....        | 71        |
| 7.2.   | Análisis comparativo..... | 72        |
| 8.     | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b> | <b>74</b> |



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Figura 1 GNSS RTK.....   | 18                            |
| Figura 2 Estación total.....   | 19                            |
| Figura 3 Drone.....  | 21                            |
| Figura 4 Escáner láser 3D.....   | 22                            |
| Figura 5 Principio de alcance de los pulsos láser.....                         | 25                            |
| Figura 6 Diagrama esquemático del principio de exploración de la estación..... | 25                            |
| Figura 7 Proceso general de procesamiento de datos de escaneo láser 3D .....   | 27                            |
| Figura 8 Sistema de coordenadas del plano.....                                 | 34                            |
| Figura 9 Sistema de coordenadas del espacio .....                              | 35                            |
| Figura 10 Elementos de orientación interna y externa.....                      | 37                            |
| Figura 11 Ecuación de condición colineal .....                                 | 38                            |
| Figura 12 Los 3 elementos de orientación .....                                 | 38                            |
| Figura 13 Plano de ubicación de zona .....                                     | 43                            |
| Figura 14 Plano de objetivo.....   | 44                            |
| Figura 15 Plano de ubicación de zona .....                                     | 46                            |
| Figura 16 Alineación manual .....  | 47                            |
| Figura 17 informe de comparar.....   | 48                            |
| Figura 18 Referencia geográfica.....   | 49                            |
| Figura 19 Extracción de los resultados del terreno                             | Figura 20 Resultados de la    |
| eliminación del ruido.....   | eliminación del ruido.....    |
| 50   | 50                            |
| Figura 21 Forma incorrecta de disparar   | Figura 22 Forma incorrecta de |
| disparar .....   | disparar .....                |
| 52   | 52                            |
| Figura 23 Mapa de ruta de tipo rasterizado.....                                | 54                            |
| Figura 24 Rutas combinadas.....  | 55                            |
| Figura 25 Adquisición de datos fotogramétricos.....                            | 56                            |
| Figura 26 Diagrama de flujo .....  | 57                            |
| Figura 27 Error en el punto de control.....                                    | 57                            |
| Figura 28 Ortofotografía.....  | 58                            |
| Figura 29 Detalle HD.....  | 58                            |
| Figura 30 Datos de la nube de puntos 3D de dos instrumentos.....               | 60                            |
| Figura 31 análisis de errores de 0,1 m .....                                   | 61                            |
| Figura 32 análisis de errores de 0,04 m .....                                  | 62                            |
| Figura 33 análisis de errores de 0,07 m .....                                  | 62                            |



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| <b>Figura 34 Modelos fotogramétricos<br/>láser 3D .....</b> | <b>Figura 35 Modelo de escáner<br/>.....</b> | <b>63</b> |
| <b>Figura 36 Comparación entre segmentos de línea.....</b>  |  | <b>64</b> |
| <b>Figura 37 Diagrama de GANTT.....</b>                     |  | <b>67</b> |



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Historia de la fotogrametría ..... | 32 |
| Tabla 2 Las coordenadas de objetivo.....   | 45 |
| Tabla 3 Error de segmento de línea.....    | 65 |
| Tabla 4 Duración del proyecto .....        | 68 |
| Tabla 5 Presupuesto total.....             | 69 |
| Tabla 6 Costes directos .....              | 70 |
| Tabla 7 Otros costes.....                  | 70 |
| Tabla 8 Tabla de comparación técnica.....  | 72 |



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El LIDAR es una tecnología de medición de objetivos no cooperativa que mide la información del ángulo y la distancia desde el centro del radar hasta el punto de tierra directamente mediante la emisión de un láser infrarrojo, sin ningún marcador específico de medición, para obtener rápidamente datos tridimensionales de alta densidad sobre el punto de tierra, por lo que la tecnología de alcance láser también se conoce como tecnología de escaneo láser tridimensional. De acuerdo con las diferentes plataformas de transporte, el escaneo láser 3D se divide en tipos aéreos, montados en vehículos y montados en estaciones, de los cuales los montados en vehículos y montados en estaciones pertenecen al escaneo láser 3D terrestre.

La tecnología de escaneo láser 3D es una tecnología cartográfica emergente, que supone otra revolución tecnológica en el campo de la cartografía después de la tecnología GPS. La tecnología de escaneo láser 3D puede obtener los datos cartográficos originales de forma rápida, completa y con gran precisión, y reconstruir el objeto escaneado. La tecnología de escaneo láser 3D es la tecnología principal del proyecto de reconstrucción inversa, no se requiere ningún procesamiento adicional de la superficie física, cada nube de puntos láser son los datos reales de información de posición 3D del objetivo escaneado, lo que hace que los datos de post-procesamiento sean completamente realistas y fiables, por lo que también se llama "tecnología de reproducción realista". El escaneo láser 3D es una medición multipunto, y tiene las ventajas de alta precisión, autenticidad y velocidad, cambiando completamente el método tradicional de medición de un solo punto, es actualmente uno de los puntos calientes en el campo de la investigación cartográfica en el país y en el extranjero.

El escaneo láser 3D tiene las características de adquisición de datos de alta densidad y alta velocidad. En cuanto a la velocidad de medición, los escáneres avanzados han alcanzado una capacidad de adquisición de información espacial de decenas de miles de puntos por segundo. En términos de alcance, los escáneres láser 3D terrestres van desde unos pocos metros hasta más de 2 km, dependiendo del tipo de instrumento. Entre ellos, dentro de un rango de 0,1 m para el rango ultra corto, de 10m a 100m para el rango corto, de 100m a 300m para el rango medio, más de 300m para el sistema de escaneo láser 3D de largo alcance.

Con el desarrollo de la tecnología de escaneo láser, la tecnología de escaneo láser 3D terrestre se ha utilizado ampliamente en muchos campos, como la conservación del patrimonio, la reconstrucción de edificios antiguos, la ingeniería inversa, la construcción de ingeniería y la construcción de ciudades digitales. En comparación con otros métodos de medición, el escaneo



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 1 - INTRODUCCIÓN

láser 3D terrestre tiene ventajas más evidentes en los mismos ámbitos, como la cartografía topográfica de terrenos complejos, la medición y simulación de grandes edificios como presas en proyectos de conservación de agua, la supervisión de desplazamientos y el modelado 3D de estructuras exteriores y el análisis de mantenimiento, la supervisión de deformaciones en zonas irregulares de grandes pendientes, la medición remota de zonas peligrosas inaccesibles y la medición de volúmenes de excavación de tierra y sus aplicaciones, etc. El proyecto se ha desarrollado para satisfacer las necesidades de una amplia gama de aplicaciones. En una aplicación específica, el Departamento de Transporte de Florida utilizó ILRIS-3D para realizar una prueba de monitorización de la deformación de la carga del puente 30 en el Florida State Export para analizar la capacidad estructural del puente. La tecnología de escaneo láser 3D resultó ser viable para la supervisión de deformaciones en comparación con los métodos de supervisión tradicionales en términos de personal necesario, precisión de la medición, tiempo de medición, número total de puntos medidos, condiciones externas requeridas y salida de resultados.

Una de las características más importantes de los datos obtenidos mediante escáneres láser es el gran volumen de datos, y no existe un método de procesamiento de datos muy eficaz para la reconstrucción 3D de los objetos. Para reconstruir un modelo 3D del objeto, primero hay que escanearlo en todas las direcciones con un escáner láser 3D. Debido a las limitaciones del entorno de observación, de los instrumentos de observación y de la forma del propio objeto, no es posible obtener de una vez todos los datos de la nube de puntos que describen un objeto complejo. Por lo tanto, los datos de la nube de puntos de la superficie del objeto deben obtenerse primero desde diferentes ángulos mediante el escáner láser y, a continuación, los datos de las diferentes vistas deben unirse y, finalmente, fusionarse en el mismo sistema de coordenadas espaciales para completar la construcción de un modelo de nube de puntos completo del objeto.

La fotogrametría es lo mismo que la tecnología de escaneo láser 3D y se ha convertido en una herramienta técnica importante en el campo de la topografía y la cartografía. El desarrollo de la fotogrametría no puede lograrse sin el uso de cámaras de alta calidad, tecnología GPS y tecnología informática, junto con la mejora y el perfeccionamiento continuos del software de procesamiento de imágenes de datos, lo que ha aumentado considerablemente su precisión y eficacia. La fotogrametría tiene un amplio abanico de perspectivas de aplicación debido a su capacidad para proporcionar información espacial tridimensional en tiempo real, así como a las ventajas de la baja carga de trabajo, la alta eficiencia, los altos resultados y la ausencia de objetivos de colaboración.

Los principales aspectos del desarrollo de la tecnología fotogramétrica son la fotogrametría aérea y la fotogrametría de objeto cercano. La fotogrametría aérea es el uso de instrumentos de cámaras aéreas sobre el terreno para tomar continuamente fotos del terreno combinadas



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 1 - INTRODUCCIÓN

con la medición de puntos de control en el suelo, la cartografía y la cartografía estereoscópica y otros pasos para elaborar las operaciones de mapas topográficos. La fotogrametría aérea es adecuada para medir grandes áreas y puede utilizarse para la cartografía topográfica de las ciudades, la cartografía catastral y la actualización de grandes áreas, así como para la medición del crecimiento de la agricultura y la silvicultura, proporcionando una base para la planificación y gestión urbana y rural y la previsión de desastres naturales. La fotogrametría de objeto cercano captura información de alta densidad sobre un objeto sin tocarlo. La velocidad de adquisición de imágenes, la baja carga de trabajo, la gran capacidad de almacenamiento de las imágenes, la facilidad de almacenamiento y la posibilidad de reutilización son ventajas que garantizan el rápido desarrollo de la tecnología de fotogrametría de aproximación. La fotogrametría no tiene que imponer ninguna restricción de interferencia sobre el objeto a medir y, por lo tanto, puede utilizarse de forma independiente y objetiva para realizar mediciones estáticas o dinámicas del objeto a medir. Esto no sólo permite realizar muchas mediciones que no pueden hacerse con sensores fijados al objeto a medir, sino que también tiene un carácter más objetivo e intuitivo. En los últimos años, la fotogrametría de objeto cercano se ha utilizado ampliamente en la cartografía de la conservación del patrimonio cultural, los jardines y la arqueología, así como en el control de la deformación de los edificios, el control de los desprendimientos e incluso en las investigaciones médicas, biológicas, agrícolas y de seguridad pública.

## 1.2. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA TECNOLOGÍA DE ESCANEADO LÁSER 3D

---

La industria de la tecnología 3D comenzó a mediados de la década de 1980 y su revolucionario enfoque de la adquisición de datos no sólo ha mejorado enormemente la eficacia del acceso a la información espacial en 3D, sino también su amplia gama de productos para satisfacer las necesidades de los distintos sectores industriales y los diferentes fines de aplicación. Los sistemas de escaneado láser 3D integran escáneres láser, cámaras digitales, software y equipos auxiliares, lo que permite la adquisición rápida y sin contacto de datos de nubes de puntos 3D y datos de textura (imagen) de objetivos de características. Gracias a estas ventajas, más cómodas que las técnicas de medición tradicionales, la tecnología de escaneado láser 3D ha crecido a pasos agigantados desde su introducción. <sup>[1]</sup>

En los últimos años, también se ha promovido gradualmente el uso de escáneres láser 3D en la cartografía topográfica, todo ello derivado de la maduración gradual de la tecnología láser 3D. Desde el TLS para el seguimiento de la deformación de las fosas, el UAV y el TLS para la adquisición de DEM y DOM de alta precisión, la tecnología de radar de imágenes láser para la cartografía topográfica, el TLS en la cartografía topográfica fina, PETER C. DAWSON <sup>[2]</sup> y otros que utilizan la tecnología de escaneo láser 3D para Fort Conger en la región del Ártico, en la



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 1 - INTRODUCCIÓN

zona de Pitigliano <sup>[3]</sup> en Italia. Los mecanismos de impacto más inestables fueron el análisis cinemático, el buzamiento por flexión y el daño por cuña, lo que llevó a la identificación del punto crítico de la zona protegida. Fernando <sup>[4]</sup> et al. realizaron un estudio de restauración en 3D de la Capilla de la Comunión de la Basílica Menor de San Jaime de Algemesí en Valencia. En resumen, el uso de la tecnología de escaneo láser en 3D en la práctica permite una topografía proactiva y eficiente en tiempo real, reduce la carga de trabajo y el tiempo de adquisición de los estudios de campo, y mejora la precisión de la cartografía. A medida que la tecnología de escaneo láser 3D mejore, sus áreas de aplicación se irán extendiendo cada vez más.

### 1.3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA FOTOGRAMETRÍA EN LA CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA

---

La fotogrametría ha evolucionado desde la fotogrametría analógica, pasando por la fotogrametría analítica, hasta la fotogrametría digital. Con el desarrollo de tecnologías como los semiconductores y la maduración gradual de las cámaras digitales CCD y del hardware informático en particular, la fotogrametría digital de aproximación se ha convertido en la principal dirección de la fotogrametría, y en los últimos años, las cámaras de no medición han ganado un uso común en la topografía. <sup>[5]</sup>

Para la fotogrametría digital de primeros planos, la coincidencia de imágenes fotográficas es una de las tecnologías clave. En el cotejo de imágenes, actualmente se realiza la identificación principal de las marcas manuales, lo que puede mejorar en gran medida la velocidad y la precisión de la medición. Por ello, la detección automática y el posicionamiento preciso de los marcadores artificiales ha sido un tema de investigación candente. Los métodos convencionales de localización de objetivos se basan en operadores de detección de bordes para detectar los bordes de las características, cuya precisión sólo puede alcanzar el nivel de píxeles, mientras que con el desarrollo de la tecnología informática, la precisión de posicionamiento puede mejorarse en gran medida basándose en algoritmos de extracción de bordes de subpíxeles y de posicionamiento central.

### 1.4. PRINCIPALES CONTENIDOS Y ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

---

Los datos espaciales están entrelazados, son complejos y cambiantes, lo que hace que la adquisición de datos sobre objetos sólidos sea compleja, pesada y difícil, y las ventajas técnicas de la tecnología de escaneo láser 3D pueden resolver los principales problemas a los que se enfrentan los métodos de medición tradicionales actuales, y cambiar por completo los métodos de medición tradicionales, por lo que es importante estudiarla más a fondo.

La tesis utiliza el escáner láser 3D "Trimble TX6" de Leica para obtener los datos de la nube de puntos para el procesamiento de los datos a través del escaneo 3D. Los datos de la nube de



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 1 - INTRODUCCIÓN

puntos de los seis emplazamientos se registraron automáticamente para que los objetivos colocados mediante la fase externa pudieran convertirse posteriormente en coordenadas espaciales mediante la técnica de escaneo láser de datos 3D y los contornos principales se representarían mediante la función de cartografía con referencia a los resultados del modelado de escaneo láser 3D del pavimento. <sup>[6]</sup> Al mismo tiempo, se reconstruye la misma zona de estudio en 3D mediante fotogrametría de aproximación, y se obtiene una comparación de la precisión de los dos métodos mediante su uso respectivo, como medio para demostrar que la precisión del modelo obtenido mediante la tecnología de escaneo láser en 3D puede satisfacer las necesidades de su aplicación. Los principales aspectos de la investigación de la tesis son los siguientes.

- (1) Una introducción a la teoría básica de las técnicas tradicionales de cartografía topográfica y de las técnicas de escaneo láser 3D, incluyendo sus principios de funcionamiento y los métodos de procesamiento de datos en el campo, con énfasis en la comparación y las ventajas y desventajas entre las nubes de puntos de escaneo láser 3D y las técnicas tradicionales de levantamiento topográfico.
- (2) Escaneo de las secciones del objetivo y alineación de los datos mediante escáneres láser 3D. Utilizando el software "Trimble RealWorks 11.0" como plataforma base, los datos de las nubes de puntos se unen, se emparejan, se fusionan y se trazan.
- (3) La diferencia entre los métodos de escaneo láser 3D y de fotogrametría de aproximación para el modelado 3D. Para el modelado de objetivos tridimensionales, la industria de la topografía y la cartografía puede lograr la reconstrucción de objetivos tridimensionales mediante el método de la fotogrametría de aproximación. En comparación con las técnicas de escaneo en 3D, tienen muchas similitudes. Sin embargo, hay muchas diferencias en la aplicación práctica debido a los diferentes principios básicos. En primer lugar, los datos brutos son diferentes, ya que el escáner 3D es un punto con coordenadas 3D, mientras que la fotogrametría es una imagen en escala de grises; en segundo lugar, la alineación entre imágenes adyacentes es diferente, ya que la alineación de las imágenes escaneadas en 3D se consigue principalmente mediante el algoritmo del punto más cercano iterativo (ICP), mientras que la fotogrametría de primer plano se realiza mediante la orientación relativa y absoluta; en tercer lugar, la precisión de la medición es diferente. En tercer lugar, la precisión de la medición es diferente. La fotogrametría se ve afectada por la precisión del escaneo y no es tan digital como el escaneo 3D. La precisión de los puntos de medición obtenidos mediante escaneo 3D es superior a la de los puntos de análisis en fotogrametría, y la precisión se distribuye de forma uniforme; en cuarto lugar, el modelo de cuadrícula triangular se establece de forma diferente. En el sistema de escaneo tridimensional se puede realizar directamente, mientras que en la fotogrametría es necesario utilizar primero un software



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 1 - INTRODUCCIÓN

específico para hacer coincidir el procesamiento entre las imágenes antes de establecer el modelo de cuadrícula triangular. En quinto lugar, los requisitos del entorno externo son diferentes. El escaneo tridimensional puede trabajar de día y de noche, la luz y la temperatura para el escaneo de imágenes no afectan, mientras que los requisitos de la fotogrametría son relativamente mucho más altos; etc.

- (4) Comparación de datos y análisis de los datos de la nube de puntos 3D a través de imágenes y segmentos de línea para sacar conclusiones.



## 2. TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

### 2.1. TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA

La cartografía topográfica tradicional a gran escala se realiza generalmente con técnicas terrestres como el GNSS RTK, las estaciones totales, los drones y las cámaras. Todas estas técnicas requieren el montaje de objetivos de observación (estaciones móviles o prismas, etc.) sobre los puntos característicos (puntos de fragmentación) del objeto a estudiar, todo ello basado en la medición de las coordenadas 3D de los puntos característicos del terreno (puntos de fragmentación) y la cartografía integrada de la industria interna para formar un mapa topográfico de trazado lineal. <sup>[7]</sup>

#### 2.1.1. TECNOLOGÍA DE CARTOGRAFÍA GNSS RTK

El GNSS RTK, o Posicionamiento Diferencial Global en Tiempo Real por Satélite, se basa en el procesamiento en tiempo real de la fase portadora de dos estaciones para obtener coordenadas tridimensionales precisas del punto de observación, que pueden alcanzar una precisión centimétrica, y puede utilizarse para una variedad de liberaciones de ingeniería, estudios de control, cartografía topográfica, etc., mejorando en gran medida la eficiencia de la recogida de datos sobre el terreno. <sup>[8]</sup>



*Figura 1 GNSS RTK*

En este estado de funcionamiento, la estación de referencia transmite las observaciones y las coordenadas de la estación a la estación móvil a través de una cadena de datos. La estación



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

móvil no sólo recibe los datos a través de la cadena de datos, sino que también recoge las observaciones correspondientes, que se convierten en observaciones diferenciales y se procesan en tiempo real en el sistema de la estación para calcular las mediciones con una precisión centimétrica. Las estaciones móviles pueden estar en reposo o en movimiento.

El instrumento necesita que el receptor de la estación base entregue con precisión un gran número de observaciones y los datos observados al receptor de la estación móvil en tiempo real durante la observación.

### 2.1.2. TÉCNICAS DE CARTOGRAFÍA CON ESTACIÓN TOTAL

---

La estación total, también conocida como velocímetro electrónico, es un instrumento de tecnología de medición que combina la luz, la electricidad y la máquina como un todo. Este sistema de instrumentos topográficos y cartográficos de alta tecnología combina la medición de ángulos horizontales y verticales, así como la medición de distancias (distancia plana, distancia oblicua) y la medición de la diferencia de altura en uno solo, y sus partes principales son la medición electrónica de ángulos, la medición de distancias, el ordenador y el sistema de almacenamiento de datos, etc. <sup>[8]</sup> Puede lograr casi todo tipo de trabajos realizados por los instrumentos de medición convencionales. Su funcionamiento es muy similar al de un instrumento de latitud y longitud, ya que se utiliza el telescopio para apuntar al objetivo y los valores direccionales se leen con la ayuda de un dial. La estación total puede observar individualmente la distancia de la pendiente, los valores horizontales y los ángulos verticales, y el microprocesador de la estación total puede calcular otros datos (distancia de nivel, diferencia de altura, coordenadas), etc.



*Figura 2 Estación total*

Los componentes básicos de la estación total son el equipo especial (preparado para recoger datos) y la máquina de control del proceso. Estos dos componentes reflejan realmente el



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

carácter de "estación total" del instrumento, permitiendo la adquisición simultánea de datos, el procesamiento automático de los mismos y el control de todo el proceso de medición.

En cuanto a la estructura del instrumento, la estación total puede dividirse en dos tipos: la estación total combinada, que incluye el instrumento electrónico de alabeo y latitud, el distanciómetro electromagnético de microondas y el microprocesador como un todo, puede utilizarse por separado para facilitar el mantenimiento, o puede combinarse mediante cables o sus interfaces para formar una estación total completa; la estación total como un todo incluye el instrumento electrónico de alabeo y latitud, el distanciómetro electromagnético de microondas y el microprocesador. Es de pequeño tamaño y fácil de usar, y su uso está relativamente extendido en las mediciones de campo.

### 2.2. TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO AÉREO CON UAV

---

Con el rápido desarrollo de la tecnología informática y de la fotogrametría, los vehículos aéreos no tripulados, que tienen características técnicas como la rápida movilidad, la alta automatización y el bajo riesgo, se han convertido en otra opción importante para adquirir datos de imágenes de teledetección. <sup>[8]</sup> En comparación con los métodos tradicionales de medición por teledetección, la fotogrametría por teledetección aeroespacial que utiliza satélites y grandes aeronaves como plataformas ha sido ampliamente utilizada. Sin embargo, su recogida de imágenes por teledetección se ve afectada por factores externos como la altitud, las condiciones meteorológicas y el tiempo de vuelo (ciclo de acceso al satélite), lo que dificulta la adquisición de datos del terreno de alta resolución. Como medio complementario a la fotogrametría aérea y a la teledetección por satélite para obtener información, el uso de imágenes de alta resolución de vehículos aéreos no tripulados para producir mapas topográficos a gran escala y reconstruir rápidamente modelos del terreno en 3D se ha convertido en una de las principales tendencias en el desarrollo de la fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados en esta etapa.

El UAS se compone de una aeronave no tripulada, el software del sistema de exploración, la fuente de alimentación y el equipo auxiliar. Su estructura principal incluye: bastidor del vehículo aéreo UAV, sistema de control de vuelo del UAV, sistema de propulsión del UAV, control remoto y receptor del UAV, y composición del cardán del UAV.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS



*Figura 3 Drone*

Cuando utilice drones para trabajos de cartografía, preste atención a las condiciones meteorológicas y determine la velocidad del viento en el lugar. Controle la altitud, la velocidad y la trayectoria de vuelo durante el vuelo y compruebe siempre el número y la calidad de las fotografías tomadas.

### 2.3. TECNOLOGÍA DE ESCANEEO LÁSER 3D TERRESTRE

La tecnología de escaneo láser 3D es una alta tecnología que obtiene datos de coordenadas 3D detallados sobre la superficie del objeto a medir mediante mediciones de escaneo láser de alta velocidad, que pueden proporcionar información sobre casi cualquier posición y cualquier detalle. <sup>[8]</sup>

El sistema de escaneo láser 3D consta de un escáner láser 3D, el software del sistema de escaneo, la fuente de alimentación y el equipo auxiliar. Entre sus principales componentes se encuentran un sistema de alcance láser de alta velocidad y precisión, un prisma reflectante (que guía el reflejo del láser y escanea a una velocidad angular uniforme), un controlador de desviación acimutal horizontal, un controlador de desviación de alto ángulo, un procesador de salida de datos, una cámara digital (parcialmente incorporada) y la observación del objeto objetivo es tal que se puede obtener la imagen directamente. <sup>[5]</sup>



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS



*Figura 4 Escáner láser 3D*

Cuando se utiliza un escáner láser 3D para trabajos de topografía, el primer paso es definir el plan de medición, que incluye principalmente el estudio del lugar de escaneo y el desarrollo del plan de trabajo de escaneo. El proceso de escaneo consiste en la preparación previa al escaneo y el escaneo in situ. La preparación previa a la exploración incluye: estudio del lugar, determinación de la ruta de exploración, determinación del número de estaciones y de la ubicación de las mismas, determinación del objetivo y de la ubicación del mismo. La exploración in situ incluye: la definición del área de exploración, el establecimiento de los parámetros, la exploración del objetivo y del blanco, y la medición de las coordenadas del objetivo.

### 2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ESCÁNERES LÁSER 3D

#### 2.3.1.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE LA DISTANCIA

Escáneres láser 3D de impulsos: son capaces de medir distancias desde unos cientos de metros hasta miles de metros, pero su precisión es relativamente baja. Estos escáneres tienen un amplio abanico de aplicaciones y pueden utilizarse tanto en interiores como en exteriores, como por ejemplo en aplicaciones de monitorización del terreno y la geomorfología, minería, proyectos de carreteras y construcción, procesos de construcción de túneles, monitorización de desprendimientos, efectos de la erosión del agua del río o del mar en diques y muelles, archivo digital y análisis del patrimonio histórico, generación de modelos 3D de edificios, etc. <sup>[9]</sup>

Escáner láser 3D por fases: este principio de sistema de alcance se utiliza principalmente en sistemas de escaneo y medición a distancias moderadas, tiene un alcance de escaneo generalmente de cien metros y su precisión puede alcanzar el nivel milimétrico. Este tipo de escáner se utiliza a menudo en interiores, por ejemplo, para la generación de simulaciones de fábricas digitales, la reconstrucción in situ de accidentes de tráfico o el escaneado de vías y



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

túneles. Estas aplicaciones se caracterizan por su proximidad, la densidad de la nube de puntos y su gran precisión.

Escáneres láser ópticos triangulados: este tipo de escaneo mide distancias desde unos pocos metros hasta decenas de metros, garantiza la integridad de la información escaneada y es capaz de alcanzar una precisión submétrica. Es habitual en aplicaciones como la medición industrial y la reconstrucción de ingeniería inversa.

*2.3.1.2. PLATAFORMAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE EXPLORACIÓN COINCIDENTE SEGÚN LA POSICIÓN ESPACIAL DEL TRAZADO LÁSER*

---

Sistema de escaneo láser 3D aerotransportado: Consta de un escáner láser, un sistema de posicionamiento DGPS, un sistema de guiado inercial de vuelo, un dispositivo de captación de imágenes, un equipo de adquisición de datos, un software de procesamiento de datos y una fuente de alimentación. Utiliza principalmente un helicóptero o un avión de ala fija como plataforma. El escáner láser y el GPS dinámico en tiempo real se utilizan para realizar mediciones del terreno de alta resolución y precisión. El rayo láser escanea el suelo de un lado a otro con un campo de visión de 20° a 40°, y el reflector recibe los ecos para obtener los datos de escaneo. El escáner láser es capaz de realizar un escaneo aire-tierra, midiendo con precisión la distancia al punto objetivo y utilizando las matemáticas geométricas para obtener las coordenadas espaciales en 3D del punto objetivo. <sup>[8]</sup>

Sistemas de escaneo láser en tierra: Pueden dividirse en dos categorías: sistemas de escaneo láser móviles y sistemas de escaneo láser fijos. El primero es un sistema de escaneo basado en un vehículo que consta de un escáner láser, una cámara digital en color, una cámara CCD, un dispositivo de adquisición y grabación de datos y un sistema de posicionamiento GPS. Los datos brutos adquiridos por el escáner láser y la cámara CCD constituyen la fuente de datos de modelado 3D. Los sistemas estacionarios de escaneo láser constan de un escáner láser, una cámara digital, el correspondiente sistema de control por software y una fuente de alimentación. El sistema de escaneo es capaz de recoger una serie de datos de nubes de puntos sobre la superficie de la entidad, que suelen utilizarse para realizar el modelado 3D del objeto objetivo. Escáner láser 3D de mano<sup>[9]</sup>: El escáner láser de mano es capaz de medir con precisión la longitud, el área y el volumen de una entidad en un corto período de tiempo, lo que lo convierte en un sistema de medición de distancia por láser cómodo y rápido. Se utiliza ampliamente en la ingeniería y la construcción, la prospección de cuevas y la medición del nivel de fluidos.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

2.3.1.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES DEL SISTEMA DE EXPLORACIÓN

Sistemas de escaneo láser 3D fotográficos: Estos sistemas de escaneo son similares a las cámaras para aplicaciones fotogramétricas y tienen un campo de visión instantáneo limitado para escanear objetos exteriores como aplicación principal, especialmente para largas distancias.

Sistemas de escaneado láser 3D panorámico: El campo de visión del escáner depende de las condiciones del propio escáner. La exploración en interiores es su principal aplicación.

Sistema de escaneo láser 3D híbrido: Tiene las ventajas de los sistemas de escaneo fotográfico y panorámico y no está limitado por el sistema de eje horizontal al girar, sino que está limitado por el giro del espejo en la dirección vertical. <sup>[10]</sup>

2.3.2. EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ESCANEADO LÁSER 3D TERRESTRE

En la actualidad, los escáneres láser tridimensionales utilizan principalmente la tecnología de alcance láser, principalmente el principio de alcance de pulso láser, el principio de alcance de fase, el principio de triangulación óptica de tres tipos. Los principales métodos utilizados en el campo de la topografía y la cartografía son la medición de impulsos láser, la medición de fases y la triangulación óptica, que se utilizan principalmente para el escaneo láser 3D de corto alcance.

La medición de impulsos láser permite medir el tiempo y la distancia utilizando láseres de alta velocidad en un proceso de emisión y detección láser, estimación del retardo temporal y medición del retardo temporal. <sup>[11]</sup> El principio de medición se muestra en la Fig. 5: un escáner láser emite una señal de pulso láser, que se dirige al objetivo a través de un prisma giratorio, un detector recibe la señal de pulso láser reflejada, un registrador calcula la diferencia de tiempo resultante y obtiene la distancia de ida y vuelta de la señal, que se convierte en datos que pueden ser reconocidos y procesados directamente por un ordenador, y se utiliza un proceso de software para modelar la salida de la entidad medida. Este método es adecuado para el alcance de larga distancia, pero el error de alcance aumenta con la distancia.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

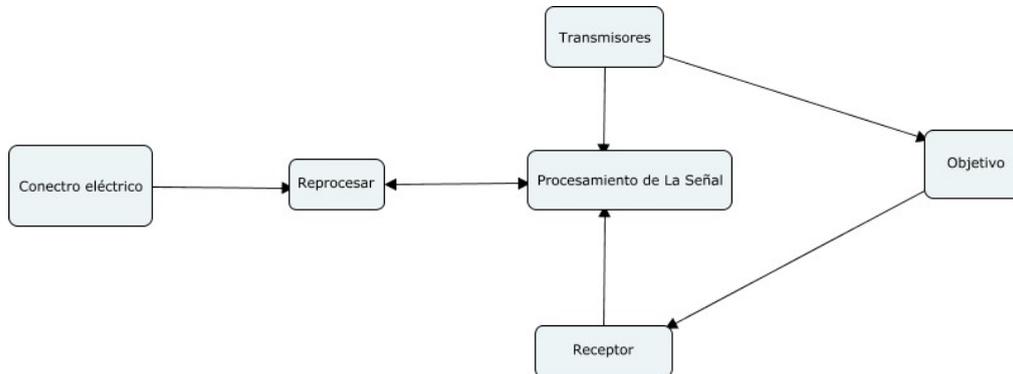


Figura 5 Principio de alcance de los pulsos láser

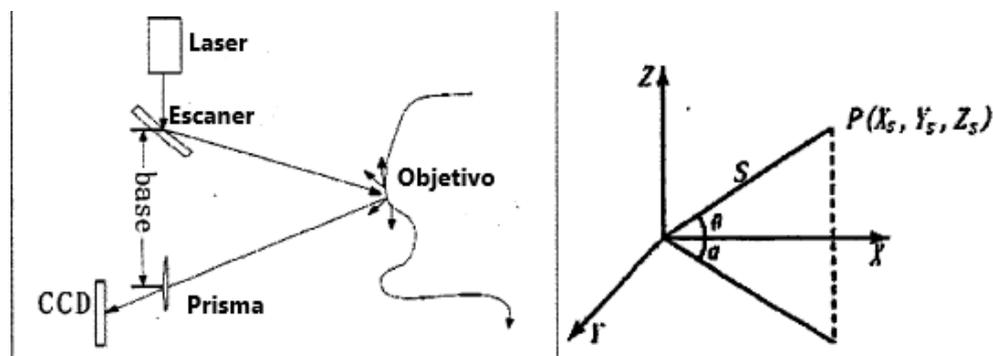


Figura 6 Diagrama esquemático del principio de exploración de la estación

Como se muestra en la Figura 6, las coordenadas 3D  $(X_s, Y_s, Z_s)$  del objetivo escaneado  $p$  en una estación en el sistema de coordenadas de la estación se pueden obtener como:

$$X_s = S \cos \theta \cos \alpha$$

$$Y_s = S \cos \theta \sin \alpha$$

$$Z_s = S \sin \theta$$

donde  $S$  es la distancia de exploración;  $\theta$  es el ángulo horizontal;  $\alpha$  es el ángulo acimutal;  $X_s$  es la componente de coordenadas  $X$ ;  $Y_s$  es la componente de coordenadas  $Y$ ; y  $Z_s$  es la componente de coordenadas  $Z$ . [12]

El principio de medición del método de alcance de fase se basa en el principio de interferencia de la luz, utilizando la frecuencia de la banda de radio para modular la amplitud del rayo láser emitido y determinar el tiempo consumido para el viaje de ida y vuelta midiendo la diferencia de fase generada durante la propagación de la señal luminosa modulada, obteniendo así la distancia a medir. Este método es muy preciso y tiene aplicaciones en la medición de precisión y en la investigación médica, donde es exacto al milímetro.

El método de triangulación óptica se basa en el principio de triangulación, en el que se conoce la longitud de la línea de base entre la fuente láser y el CCD, el escáner emite una señal láser a



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

la superficie del objeto, la cámara CCD se utiliza para recibir la señal reflejada y se registra el ángulo entre la luz incidente y la luz reflejada. Tiene un corto alcance de exploración, en la mayoría de los casos de unos pocos metros a decenas de metros. Las principales aplicaciones son: la reconstrucción en ingeniería inversa y las mediciones industriales. <sup>[12]</sup>

### 2.3.3. PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL ESCANEADO LÁSER 3D

---

La tecnología de escaneado láser 3D puede obtener una gran cantidad de datos de nubes de puntos dispersos, lo que inevitablemente aporta algunos factores perturbadores a los datos escaneados, y hay algunos efectos de ruido aleatorio. Por lo tanto, la nube de puntos original debe ser preprocesada antes de ser utilizada. <sup>[6]</sup> El proceso básico de procesamiento de los datos de escaneado láser 3D terrestre incluye principalmente: la eliminación de ruido y el cribado de los datos de la nube de puntos, la alineación de los datos 3D de varios sitios, el modelado 3D, la integración de la tecnología de escaneado láser 3D y la tecnología de fotogrametría, la integración cruzada de los datos láser 3D y otros datos de teledetección, etc. <sup>[13]</sup> Para construir un modelo digital del objetivo, los datos medidos deben ser identificados, rechazados y corregidos. El procesamiento de los datos de escaneado láser 3D incluye el preprocesamiento de los datos y el producto final.

El preprocesamiento de los datos escaneados puede realizarse directamente sobre los datos de la nube de puntos y suele consistir en.

- (1) Corrección de coordenadas: La tarea principal es alinear los datos de la nube de puntos para que los resultados escaneados estén en el mismo sistema de coordenadas. Los principales algoritmos aplicados son el algoritmo de alineación de siete parámetros y el algoritmo de alineación ICP.
- (2) Reducción de datos: es decir, la reducción de los datos densos de la nube de puntos para mejorar su eficacia de procesamiento. Su principio es procesar los datos sin cambiar las características originales del objeto. Los principales algoritmos de compresión de datos son: el método de la caja envolvente, el método de la malla uniforme, el método de preservación de los límites, el método de muestreo de curvatura, etc.
- (3) Filtrado de datos: reduce los puntos de ruido de los datos y mejora la precisión de la reconstrucción del modelo. Los principales algoritmos para realizar la eliminación de ruido son: el método de filtrado gaussiano, el método de filtrado mediano y el método de filtrado medio.
- (4) georreferenciación: transformar el sistema de coordenadas instrumental de los datos escaneados en el sistema de coordenadas con el que tenemos que hacer malabares.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

- (5) Segmentación de los datos: dividir los datos de la nube de puntos escaneados en diferentes subconjuntos según sus características, de modo que cada subregión contenga únicamente los puntos escaneados recogidos en una determinada superficie natural. Existen principalmente: algoritmos de segmentación basados en bordes y algoritmos de segmentación basados en regiones.
- (6) Clasificación de los datos: determinar el tipo de superficie al que pertenece un subconjunto de la nube de puntos.
- (7) Ajuste de superficies: un enfoque infantil para determinar la forma matemática de los diferentes tipos de superficies de subconjuntos de nubes de puntos.
- (8) construcción de mallas: principalmente triangulación de los datos de la nube de puntos para aproximar la superficie del objeto.
- (9) Mapeo de texturas: sustituye la información detallada del modelo del objeto por imágenes para mejorar la fidelidad de su simulación y la velocidad de visualización del sistema. Se lleva a cabo en dos pasos principales, determinar las propiedades de la textura y establecer una relación de mapeo con la pantalla. <sup>[13]</sup>

Los productos finales de la tecnología de escaneo láser 3D incluyen: modelos 3D, ortofotos, imágenes estereoscópicas, etc. El proceso de procesamiento de datos se muestra en la Figura 7.

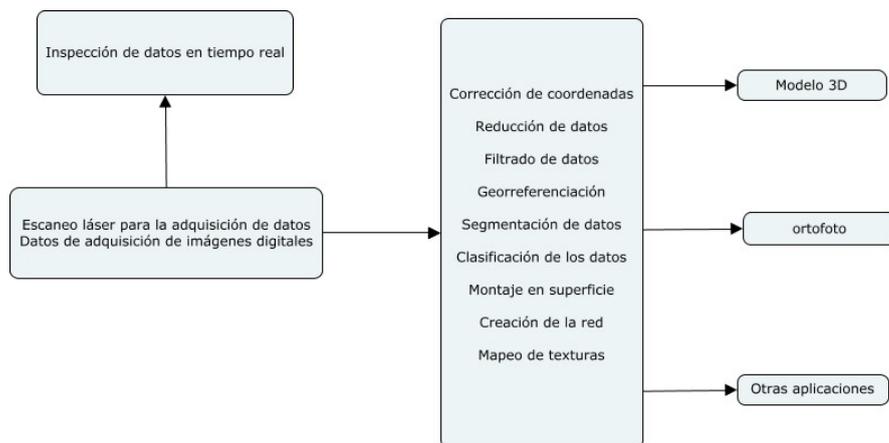


Figura 7 Proceso general de procesamiento de datos de escaneo láser 3D

Los datos de la nube de puntos obtenidos a través de las mediciones de escaneo láser en 3D tienen las siguientes características: gran volumen de datos, alta densidad, estereoscópica, e información de intensidad reflectante. Estas características de los datos han aumentado enormemente la utilidad de los escáneres láser 3D, pero al mismo tiempo han incrementado la complejidad y la dificultad del procesamiento de los datos.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

2.3.4. CARTOGRAFÍA DEL TERRENO BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE ESCANEADO LÁSER 3D

---

El escáner láser 3D puede adquirir automáticamente una coincidencia de datos continua y densa, de modo que la cartografía pasa de la tradicional recopilación de datos de un solo punto a la recopilación de un gran número de datos de nubes de puntos, lo que aumenta en gran medida la cantidad de información recopilada, mejora la eficacia del trabajo, amplía la aplicación de la tecnología cartográfica y se convierte en un nuevo medio técnico para obtener una rica información espacial del terreno local. Las ventajas de la tecnología de escaneo láser 3D sobre otras tecnologías de cartografía topográfica son evidentes, y sus características de funcionamiento son las siguientes:

- (1) Rapidez: La información espacial 3D del objeto escaneado puede adquirirse rápidamente. El uso de la tecnología de escaneo láser tridimensional para recopilar datos espaciales del objeto puede medir la información tridimensional de la superficie del objeto en tiempo real, lo que mejora en gran medida la eficacia de la recopilación de datos externos. En comparación con las operaciones de medición tradicionales, acorta enormemente el tiempo y facilita la actualización puntual de los datos.
- (2) Alta tasa de muestreo: la información espacial de una gran área del objeto objetivo puede obtenerse en una sola pasada, y la información tridimensional de la superficie del objeto objetivo puede medirse en tiempo real, por lo que se aplica en campos como la monitorización de la deformación.
- (3) En tiempo real, dinámico y activo: el sistema de rastreo emite señales láser de forma activa y luego recibe las señales del objetivo mediante un dispositivo de recepción, no están sujetos a la luz externa, la coincidencia de aire y otras condiciones, y pueden llevar a cabo la observación dinámica en tiempo real durante todo el día.
- (4) Sin contacto: los sistemas de escaneo láser 3D adquieren y miden la información morfológica de la superficie objetivo emitiendo señales de pulso y recibiendo las señales de pulso reflejadas por el objeto que se está midiendo. No requiere ningún tratamiento de la superficie del objeto monitorizado, y la información de los datos escaneados es real y fiable, lo que puede ser ampliamente utilizado en la medición de áreas peligrosas, etc.
- (5) Alta inmunidad a las interferencias: poca dependencia del entorno exterior, la temperatura, la humedad o la luminosidad, etc., apenas le afectan.
- (6) Totalmente digital y automatizado: El sistema de escaneo láser 3D es capaz de adquirir señales digitales de distancias directamente, con buena fiabilidad y fácil salida de visualización automatizada. La adquisición de datos se realiza a través del controlador correspondiente, con un buen procesamiento de datos de nubes de puntos, así como capacidades de procesamiento de modelado 3D. El formato de interfaz abierto del



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

## MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

software permite que la información 3D escaneada sea llamada por otro software relacionado, logrando así la compatibilidad con otro software.

- (7) Integración de receptores GNSS y otros dispositivos de posicionamiento de alta precisión: El nuevo sistema de escaneo incorpora receptores GNSS y otros dispositivos de posicionamiento de alta precisión, con conversión de coordenadas interna a través de la plataforma de software, lo que permite la salida directa de los datos escaneados al sistema de coordenadas geodésicas, facilitando las necesidades de producción. <sup>[13]</sup>

El escáner láser 3D es capaz de adquirir tanto imágenes panorámicas como datos de nubes de puntos láser como productos digitales. Estos dos productos de datos tienen un sistema de coordenadas unificado y pueden correlacionarse espacialmente. <sup>[8]</sup>

### 2.3.5. EL ESCANEADO LÁSER 3D FRENTE A LAS TÉCNICAS TRADICIONALES DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE COORDENADAS ESPACIALES DE UN SOLO PUNTO

---

- (1) Medición remota sin contacto, que escanea la superficie del objeto sin ningún tipo de procesamiento, lo que resulta ventajoso en zonas peligrosas como acantilados escarpados a los que es difícil que lleguen los investigadores.
- (2) Datos de nubes de puntos de alta densidad para representar la forma espacial tridimensional del objeto, lo cual es difícil de conseguir con los métodos tradicionales de medición de un solo punto; la desventaja es que la precisión de la medición es relativamente baja en comparación con los métodos tradicionales;
- (3) Equipos de escaneo láser 3D para obtener datos de nubes de puntos a un ritmo muy rápido, la tasa máxima de muestreo de puntos de los equipos de escaneo láser de fase, por ejemplo, alcanzó 1 millón de puntos por segundo.
- (4) Los datos de la nube de puntos adquiridos se visualizan completamente en tres dimensiones, con información en escala de grises o en color, se almacenan digitalmente y se pueden convertir en una variedad de formatos de datos, lo cual es conveniente para una variedad de software de importación.

### 2.3.6. ANÁLISIS DE ERRORES DE LA TECNOLOGÍA DE ESCANEADO LÁSER 3D

---

La precisión de los equipos de escaneo láser 3D depende principalmente de la precisión de la medición de la distancia del láser, la precisión del sistema de prisma óptico y otros factores que influyen. Se puede decir que el error de los datos de escaneo láser 3D está relacionado con una variedad de factores, tanto el diseño del instrumento, el procesamiento y la fabricación de los



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

factores intrínsecos, sino también las condiciones ambientales, la operación humana y otros factores externos. A modo de resumen, se pueden señalar los siguientes aspectos.

(1) el impacto de la divergencia del rayo láser

La luz láser tiene unas características de luminiscencia direccional, pero con el aumento de la distancia de emisión del rayo láser, también tiene unas ciertas características de dispersión, como se muestra en el punto láser con el aumento del tamaño del punto de distancia aumentó gradualmente. El tamaño del punto del rayo láser afecta a la resolución de la señal láser devuelta y a la incertidumbre del posicionamiento. <sup>[14]</sup>

(2) Influencia del ángulo de desviación

El equipo de escaneo láser 3D cuenta con un sistema de eje prismático de alta precisión y un sistema de eje de rotación mecánico. Los ángulos de desviación horizontal y vertical son las dos magnitudes de observación utilizadas para el cálculo de coordenadas espaciales por el equipo de escaneo láser. El proceso de fabricación actual ya puede controlar este error dentro de un rango muy pequeño y no causará errores graves en los resultados de la medición, pero debido a las diferencias individuales en el procesamiento, las pequeñas vibraciones en el motor paso a paso son factores que no se pueden ignorar para causar una reducción en la precisión.

(3) La influencia de la medición de la distancia por láser

El sistema de medición de distancias por láser es uno de los componentes más importantes de los equipos de escaneo láser 3D, y cada detalle del procesamiento de la señal láser puede provocar errores. En particular, el procesamiento de la señal de eco de los impulsos láser es el que más errores puede provocar, como los errores del sistema de sincronización de los impulsos láser. <sup>[15]</sup>

(4) La influencia de las condiciones ambientales externas, como la temperatura, la presión atmosférica y la calidad del aire

La precisión del rayo láser emitido por el equipo de escaneo láser también puede verse afectada por el entorno externo. La temperatura ambiente, la presión atmosférica, la humedad del aire y la visibilidad del aire pueden tener un pequeño impacto en el alcance del láser. Por ejemplo, el movimiento del aire y las sacudidas del suelo durante el proceso de escaneo pueden causar ligeras vibraciones en el instrumento, los cambios de temperatura pueden provocar pequeños cambios en las propiedades físicas del equipo, y el contenido de polvo y vapor de agua en el aire puede tener un efecto imprevisible en el láser hasta cierto punto.

(5) Influencia del ángulo de incidencia del láser y de la rugosidad de la superficie del objeto

Cuando el rayo láser de barrido cruza la superficie del objeto en un ángulo pequeño, el área proyectada del punto láser se hace más grande, lo que afecta a la precisión de la medición de la distancia, y cuando el ángulo de intersección alcanza un cierto nivel, el equipo de barrido no puede recoger eficazmente la señal de eco, lo que da lugar a que no haya datos de medición.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

Los efectos ópticos físicos, como la reflexión difusa, provocarán desviaciones en los valores medidos. <sup>[16]</sup>

(6) Tratamiento posterior de los datos

Los errores que se forman en el proceso de postratamiento de los datos se producen principalmente en el proceso de unión de los datos de la nube de puntos y en la conversión de las coordenadas geodésicas. En el proceso de costura de datos, los datos de la nube de puntos de múltiples sitios se emparejan espacialmente, debido a la precisión de la medición, el método de costura de datos tendrá errores, en el proceso de costura de múltiples sitios también hay un efecto de acumulación de errores, es decir, dos datos de la nube de puntos adyacentes en la alineación de un error, a continuación, múltiples datos de la nube de puntos de costura, este error se acumulará con la nube de puntos de costura de coincidencia, hasta que toda la nube de puntos de datos de costura en un El otro es la conversión de coordenadas geodésicas, que es el uso de puntos de control para medir las coordenadas geodésicas y los datos de la nube de puntos cosidos juntos para la coincidencia espacial, de modo que los datos de la nube de puntos obtenidos por escaneo se convierten en coordenadas geodésicas, cada dato de punto en los datos de la nube de puntos corresponde a las coordenadas reales del sitio. El proceso de conversión suele requerir al menos tres o más puntos de control, por lo que la precisión de estos puntos de control, la precisión de la selección del mismo punto de nombre y la precisión general de la conversión de los datos de la nube de puntos afectarán directamente a la precisión de la conversión de los datos. <sup>[17]</sup>

## 2.4. TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS

---

El continuo desarrollo de la tecnología fotogramétrica y la progresiva ampliación de sus ámbitos de aplicación han llevado a su ininterrumpida integración con otras tecnologías científicas, como la informática. El rápido desarrollo de los ordenadores ha propiciado el desarrollo del tratamiento digital de imágenes, <sup>[18]</sup> que ha dado lugar a una serie de términos técnicos como la compresión, la restauración, la codificación, la segmentación y la detección de bordes de las



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

imágenes. Además, el desarrollo de la fotogrametría digital contemporánea está estrechamente relacionado con el estudio de la visión por ordenador, la aparición de la tecnología de visión por ordenador, que da a los ordenadores la capacidad de percibir información geométrica tridimensional sobre los objetos del entorno espacial a través de imágenes bidimensionales.

En resumen, la fotogrametría ha pasado por tres etapas de desarrollo y evolución: analógica, analítica y digital. <sup>[19]</sup>La transformación de la fotogrametría tradicional en fotogrametría digital también ha propiciado el desarrollo de la topografía y la cartografía tradicionales en la emergente industria de la información y la expansión de las aplicaciones de la fotogrametría digital.

| Etapa de desarrollo    | Etapa de simulación                   | Etapa de análisis         | Etapa de digital              |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Período de desarrollo  | 1900 - 1970                           | 1970 - 1990               | 1990 -                        |
| Información original   | Foto                                  | Foto                      | Imagen digital                |
| Método de proyección   | Proyección física                     | Proyección digital        | Proyección digital            |
| Instrumentación        | Instrumentos cartográficos analógicos | Mapeador paramétrico      | Mapeador paramétrico          |
| Modo de funcionamiento | Modo manual                           | Modo asistido por máquina | Modo de asistencia automática |

Tabla 1 Historia de la fotogrametría

La fotogrametría digital se ha desarrollado rápidamente en pocos años, no sólo para obtener imágenes digitales, sino también para obtener directamente los elementos de orientación externa de las imágenes, y para generar rápidamente una serie de imágenes digitales como los modelos digitales de elevación (MDE) y los modelos digitales de superficie (MDS). La fotogrametría tiene una larga historia de desarrollo, pero el desarrollo de la fotogrametría digital no ha sido largo, basado en la tecnología de "visión por ordenador" en lugar de la "visión humana", y la fotogrametría, el sistema de posicionamiento global, el sistema de medición de estación total y el emergente escaneo láser tridimensional. Gracias a la continua integración de la fotogrametría, el GPS, los sistemas de topografía de estación total y la nueva tecnología de escaneo láser en 3D, la fotogrametría digital se ha vinculado estrechamente a la visualización en 3D y se utiliza ampliamente en los campos de la topografía, el modelado urbano, la simulación por ordenador, la simulación, el cine y la animación, etc., ampliando en gran medida los ámbitos de aplicación de la fotogrametría digital, de la que cabe esperar un amplio futuro. <sup>[20]</sup>

#### 2.4.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FOTOGRAMETRÍA

El desarrollo de la fotogrametría tiene una larga historia y ha pasado por tres etapas de desarrollo: fotogrametría analógica, fotogrametría analítica y fotogrametría digital. Con el avance de las cámaras digitales, la visión estereoscópica por ordenador, las imágenes gráficas y otras tecnologías, la fotogrametría digital se ha desarrollado a pasos agigantados en pocos años. El progreso de la moderna tecnología de fotogrametría digital no sólo se refleja en la capacidad



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

de trabajar con cámaras de medición no profesionales, sino también en el avance de la tecnología de los drones, que ha contribuido en gran medida al rápido desarrollo de la fotogrametría de baja altitud. [21]

La tecnología moderna de fotogrametría digital es el uso de cámaras digitales con sensor CCD o CMOS para obtener imágenes bidimensionales de objetos tridimensionales, el uso del sistema de coordenadas espaciales reales y las coordenadas del plano de la imagen digital entre la transformación de la perspectiva, a través de las diferentes direcciones de múltiples imágenes digitales bidimensionales tomadas, el uso de la tecnología de visión estereoscópica de la computadora, los cálculos de coincidencia para obtener un gran número de los mismos puntos de nombre de la imagen fotografiada, a fin de llevar a cabo una solución nula tres para derivar la cámara digital. Los parámetros de los elementos de orientación interna y externa de la cámara digital, para que finalmente a través de los algoritmos de nivelación de la red libre de luz frontal y regional, el cálculo de los datos de coordenadas de la nube de puntos tridimensionales del sujeto, que también puede generar modelo de cuadrícula tridimensional. [22] La moderna tecnología de fotogrametría digital supone un gran avance con respecto a los métodos tradicionales de fotogrametría, ya que puede adquirir una amplia gama de fotografías digitales multiángulo y realizar cálculos de procesamiento global a la vez; el actual software de post-procesamiento de fotogrametría puede leer automáticamente los parámetros de la cámara almacenados en las fotografías digitales, e introducir la "nivelación de parámetros de autocalibración" en el cálculo de nivelación de la red de área interna del software. "Este método también elimina la incapacidad de continuar el cálculo debido a la orientación inexacta en el algoritmo tradicional, y todos los resultados de los tres nulos en el cálculo se completan automáticamente por la organización de software "nivelación de red libre". Los resultados obtenidos por la moderna tecnología de fotogrametría son similares a los de la actual tecnología de escaneado láser en 3D, que puede obtener una gran cantidad de datos de nubes de puntos espaciales en 3D sin contacto, sentando una sólida base para la extracción de resultados posteriores.

#### 2.4.1.1. SISTEMAS DE COORDENADAS EN FOTOGRAMETRÍA

---

La fotogrametría se basa en la geometría espacial bidimensional de los puntos de la imagen en las fotografías digitales, que se transforman computacionalmente para obtener la posición espacial del punto correspondiente del sujeto.

(1) Sistema de coordenadas del plano de la imagen o-xy

El sistema de coordenadas del plano de la imagen es un sistema de coordenadas en ángulo recto en el plano de la imagen que representa la posición del punto de la imagen en el

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

plano de la imagen. Si el centro de la fotografía es  $S$ , el punto focal o en la dirección de la fotografía y el plano de la imagen se llama punto principal de la imagen. El punto principal de la imagen suele utilizarse como origen del sistema de coordenadas del plano de la imagen. El sistema de coordenadas de la escala del marco se suele utilizar como los ejes  $x$  e  $y$ , con el eje  $x$  en línea con la dirección del rumbo y el eje  $y$  perpendicular al eje  $x$ , y es generalmente un sistema de coordenadas a la derecha, siendo el punto focal  $P$  de las dos líneas el origen (como se muestra en la figura 8).

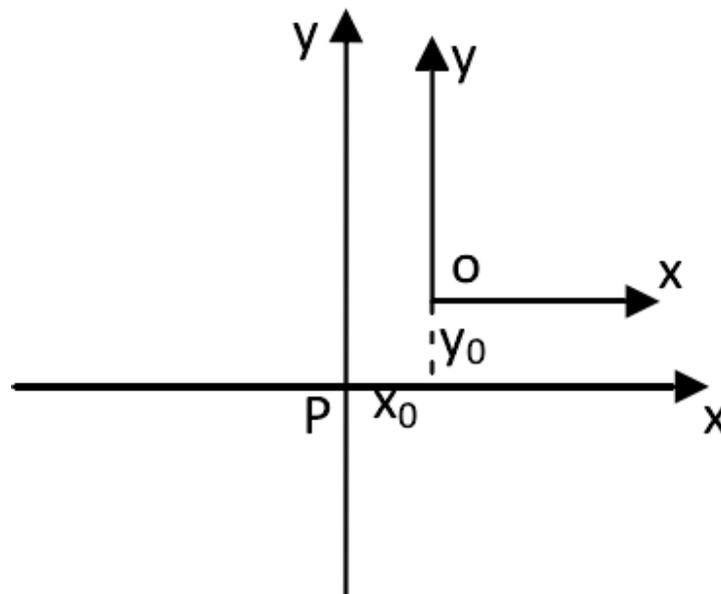


Figura 8 Sistema de coordenadas del plano

(2) Sistema de coordenadas del espacio de la imagen  $S$ -xyz

El sistema de coordenadas del espacio de la imagen se utiliza para representar la posición del punto de la imagen en el espacio de la imagen. El sistema de coordenadas se basa en el centro de proyección  $S$  como origen, el eje principal de la luz fotográfica como eje  $z$ , los ejes  $x$  e  $y$  son paralelos a los ejes  $x$  e  $y$  del sistema de coordenadas del plano de la imagen, y la dirección ascendente es positiva según la regla de la mano derecha (como se muestra en la figura 9).

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

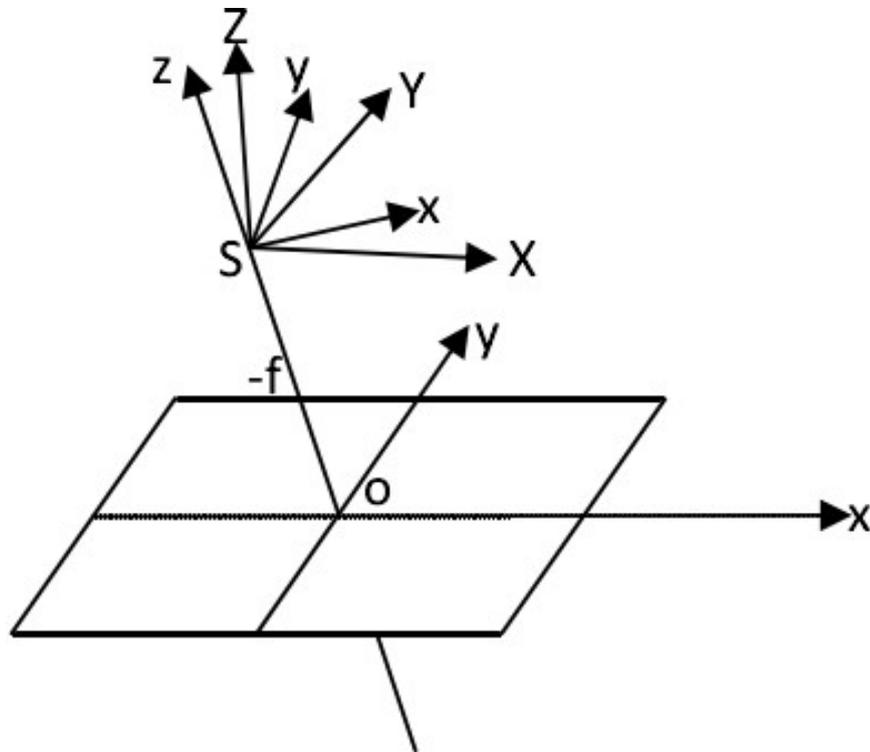


Figura 9 Sistema de coordenadas del espacio

Las coordenadas del punto de la imagen en el sistema de coordenadas del espacio de la imagen son  $(x, y, -f)$ ,  $(x, y)$  se pueden obtener midiendo las coordenadas del punto de la imagen en el sistema de coordenadas del plano de la imagen y  $f$  obteniendo la distancia principal de la imagen.

(3) Sistema de coordenadas del espacio objeto

El sistema de coordenadas del espacio del objeto es a la vez un sistema de coordenadas de medición del espacio terrestre para representar las coordenadas del objeto a medir en el sistema de coordenadas unificado nacional. El sistema de coordenadas del espacio físico es un sistema de coordenadas a la izquierda.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

2.4.1.2. ELEMENTOS DE ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN

---

Al reconstruir las características geométricas espaciales y las propiedades físicas de un objeto basándose en la fotogrametría, el cálculo del modelo 3D reconstruido requiere el establecimiento de una relación matemática entre la imagen digital y el objeto medido. Antes de poder establecer esta relación, es necesario determinar la posición espacial y la actitud del centro de fotografía de la cámara digital y el sistema de coordenadas espaciales del objeto. Los parámetros que definen estas actitudes y posiciones espaciales se denominan en fotogrametría elementos de orientación de la imagen. Los parámetros que describen la posición espacial del centro de la cámara y de la imagen entre sí se denominan elementos de orientación interna, y los parámetros que describen la actitud y la posición del centro de la cámara y de la imagen en el sistema de coordenadas del suelo se denominan elementos de orientación externa. [24]

(1) Elemento de orientación interna

El elemento de orientación interna puede describirse mediante tres parámetros, a saber, el centro de la fotografía  $S$ , la distancia vertical  $f$  a la imagen y las coordenadas  $x_0, y_0$  del punto maestro de la imagen o en el sistema de coordenadas del marco de la imagen. Este no es el caso en la práctica, ya que ligeras variaciones en el procesamiento o el uso a largo plazo pueden hacer que los elementos de orientación internos varíen de una cámara a otra, y aunque  $x_0$  e  $y_0$  son valores pequeños, para la fotogrametría estos parámetros pueden tener un impacto significativo en los resultados.

(2) Elemento de orientación externa

El elemento de orientación externa de la imagen consta de seis parámetros principales. Entre ellos se encuentran tres elementos lineales ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) utilizados para describir los valores de las coordenadas del centro fotográfico, y tres elementos angulares ( $\phi, \omega, \kappa$ ) que describen la pose espacial del plano de la imagen.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

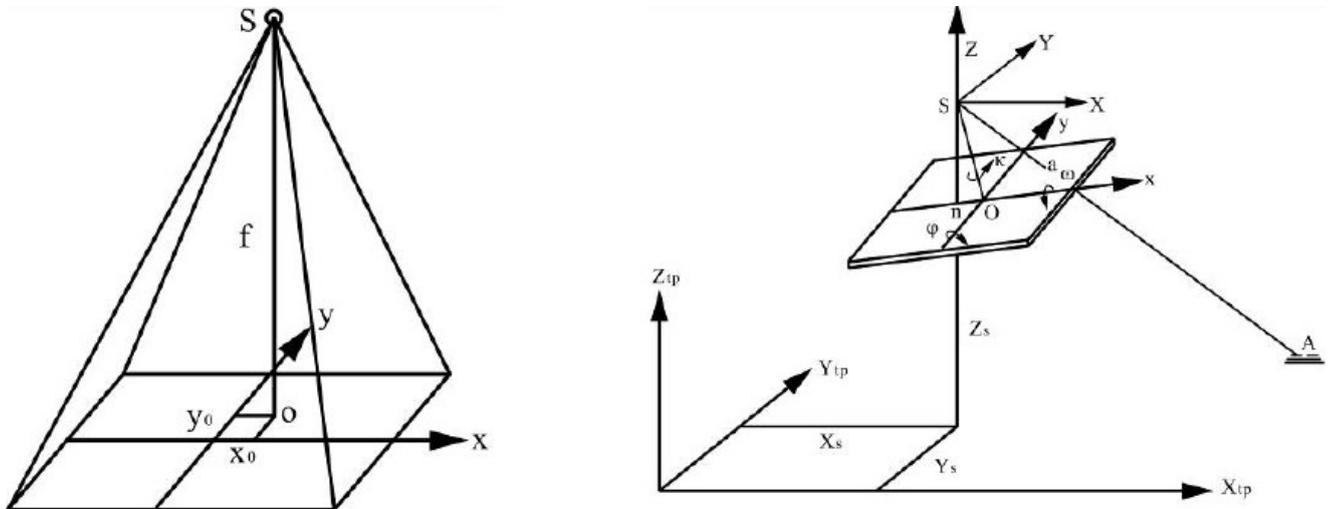


Figura 10 Elementos de orientación interna y externa

Al determinar los elementos de orientación interna y externa de la imagen, se puede recuperar la forma y la posición espacial del haz fotográfico y reconstruir un modelo espacial tridimensional del sujeto para obtener información geométrica y propiedades físicas de la escena del terreno.

2.4.1.3. ECUACIÓN DE CONDICIÓN COLINEAL

La ecuación de colinealidad es la relación analítica más importante en la teoría de la fotogrametría (mostrada en la Figura 2-1). Esta ecuación describe la relación geométrica entre el punto de la imagen, el centro de proyección y el punto del objeto, los tres deben estar situados en una línea recta. En la fotogrametría digital de aproximación y en la fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados de baja altitud, la ecuación de condición de colinealidad es el método de solución más común. La solución de transformación lineal directa, el método de reunión del frente espacial y la solución del rayo múltiple en fotogrametría se procesan con cada rayo de composición como unidad de procesamiento. Las dos ecuaciones de la Ec. 2-1 expresan dos ecuaciones planas, y la línea entre el punto de la imagen, el centro de la proyección y el punto del objeto es la intersección de estas dos ecuaciones planas. [25]



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

$$x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}$$
$$y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}$$

Figura 11 Ecuación de condición colineal

Como:

$x, y$  - coordenadas del plano de la imagen del punto de la imagen.

$f, x_0, y_0$  - elementos de orientación dentro de la imagen.

$X_s, Y_s, Z_s$  - las coordenadas del espacio del objeto del punto fotográfico.

$X, Y, Z$  - las coordenadas del espacio del objeto.

$a_i, b_i, c_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) - los 9 cosenos direccionales de los 3 elementos de orientación exteriores de la imagen 12

$$a_i \begin{cases} a_1 = \cos \phi \cos \kappa - \sin \phi \sin \omega \sin \kappa \\ a_2 = -\cos \phi \sin \kappa - \sin \phi \sin \omega \cos \kappa \\ a_3 = -\sin \phi \cos \omega \end{cases}$$
$$b_i \begin{cases} b_1 = \cos \omega \sin \kappa \\ b_2 = \cos \omega \cos \kappa \\ b_3 = -\sin \omega \end{cases}$$
$$c_i \begin{cases} c_1 = \sin \phi \cos \kappa + \cos \phi \sin \omega \sin \kappa \\ c_2 = -\sin \phi \sin \kappa + \cos \phi \sin \omega \cos \kappa \\ c_3 = \cos \phi \cos \omega \end{cases}$$

Figura 12 Los 3 elementos de orientación



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

2.4.2. ANÁLISIS DE ERRORES DE LA FOTOGRAMETRÍA

---

En la precisión de la fotogrametría digital contemporánea influyen varios factores, que se resumen en la cámara, las condiciones ambientales, la precisión de los puntos de control del terreno y el software de solución.

2.4.2.1. *EL EFECTO DE LAS CÁMARAS DIGITALES EN LA PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES*

---

Las cámaras digitales desempeñan un papel fundamental en la fotogrametría y son una herramienta directa en su aplicación. La calidad de la propia cámara determina en gran medida la calidad y la precisión de los datos espaciales 3D obtenidos. Los principales factores que influyen en la precisión o el error de la cámara en los resultados de las mediciones son los siguientes<sup>[26]</sup>

(1) Errores del sistema de imagen de la cámara

La imagen de la cámara digital es un complejo proceso de conversión fotoeléctrica. El error del sistema de imágenes se refiere a la desviación del objeto de la imagen en la posición espacial, que se debe a varios factores.

Errores de aberración del objetivo. La aberración del objetivo se refiere a la lente de la cámara en el proceso de diseño y producción de defectos.

El error de alineación del sensor. Las cámaras digitales tienen elementos sensibles a la luz en lugar de los negativos de las cámaras tradicionales. Estos elementos sensibles a la luz convierten las señales luminosas en señales eléctricas y las almacenan para formar fotografías digitales, y hay pequeños errores en la disposición física de estos elementos sensibles a la luz, que inevitablemente afectan a la precisión de las imágenes de las fotografías.

Además, no se puede ignorar el error de perspectiva del objetivo de la cámara.

De los tres factores de influencia mencionados, la distorsión del objetivo de la cámara es la que más influye en la precisión de la medición. En el caso de los objetivos de las cámaras de fotogrametría, hay grandes desviaciones en los bordes del objetivo, y las fotografías digitales resultantes cambian en los bordes para formar una distorsión en forma de almohada o barril, que se hace gradualmente más grande desde el punto central hacia los bordes, y esta distorsión se reduce principalmente a través de los parámetros de orientación interna en el proceso de procesamiento de datos.

(2) Resolución de la imagen digital



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

La resolución en píxeles o en fotos digitales de una cámara digital es un factor muy importante para los resultados fotogramétricos. En términos sencillos, es el efecto combinado del objetivo de la cámara y el punto de píxel de la cámara, que se expresa finalmente en la resolución de la fotografía digital.

El detalle del sujeto se refleja en los píxeles de la fotografía digital, por lo que cuantos más píxeles tenga el sujeto, más detalle se registrará. Cuanto mayor sea la resolución, más coordenadas de la nube de puntos estarán disponibles para la reconstrucción 3D y más detalles se reflejarán en el objeto real.

Así, en las mismas condiciones ambientales, el aumento de los píxeles de la cámara digital mejorará definitivamente la precisión de los datos de la nube de puntos 3D; luego, bajo la condición de un cierto número de píxeles de la cámara, la minimización de la distancia de disparo también puede mejorar la calidad de los datos.

---

*2.4.2.2. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN LA PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES*

La calidad de las fotografías tomadas con una cámara digital se ve afectada por las condiciones ambientales, ya que factores como la luz, la calidad del aire y los cambios de temperatura influyen en la calidad de las fotografías.

Según el principio de la imagen de la cámara, el exceso de luz o la escasez de luz repercutirá en la calidad de la imagen. Las sombras de luz excesivas, el contraluz y el fuerte contraste entre la luz fuerte y la débil durante la fotogrametría darán lugar a una medición inexacta de la cámara y a tiempos de exposición inadecuados, lo que dará lugar a una mala calidad de la imagen, que afectará directamente a la precisión de los resultados de la medición en las fases posteriores de interpretación. <sup>[27]</sup>

La niebla en las zonas montañosas, la bruma contaminada, la excesiva humedad del aire y otros factores no sólo afectan a la claridad de la imagen, sino que también la presencia de diversas partículas finas en el aire o la distribución desigual del vapor de agua en el aire pueden provocar la refracción de la luz, haciendo que la posición de la imagen se desvíe y provocando grandes errores en la medición de los resultados de los datos 3D.

Además, el aire caliente que fluye hacia arriba en el suelo en condiciones de alta temperatura también puede causar distorsión o viñeteado de la imagen digital, lo que afecta directamente a la calidad de la imagen.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 2 - TÉCNICAS TRADICIONALES DE CARTOGRAFÍA DEL TERRENO Y DE TLS

*2.4.2.3. INFLUENCIA DE LA PRECISIÓN DEL PUNTO DE CONTROL EN LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN*

---

Tanto la fotogrametría aérea como la fotogrametría de aproximación terrestre requieren mediciones suplementarias de puntos de control en el suelo para calibrar el posicionamiento del sistema de cámaras. La distribución y el número de puntos de control en el área de estudio tendrán, por tanto, un impacto en la precisión de las coordenadas de la nube de puntos 3D de la reconstrucción 3D. Además, los errores en la medición de los propios puntos de control pueden acumularse en el sistema fotogramétrico, así como la precisión de los puntos de control en la imagen digital. <sup>[28]</sup>

*2.4.2.4. INFLUENCIA DEL SOFTWARE DE POST-SOLUCIÓN EN LA PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES*

---

El software de solución es la parte más importante del trabajo después de la calibración geométrica de las imágenes digitales y los puntos de control, y el software de solución desarrollado sobre la base de los principios de la fotogrametría no es raro en la actualidad. Todo el proceso de solución de software es básicamente una operación de caja negra, que el personal de medición desconoce y sólo puede analizar el producto digital final para comprobar su exactitud.



### 3. ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL ESCANEADO LÁSER 3D: UN EJEMPLO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN LA UPV

El escaneo láser 3D es una tecnología de alto nivel que permite la adquisición rápida de datos de nubes de puntos de alta densidad y precisión sin contacto, lo que permite el escaneo y la medición rápidos de objetos en escenas y espacios complejos y la adquisición directa de cantidades masivas de datos de nubes de puntos, de ahí el nombre de "tecnología de replicación en vivo". Sus ventajas han dado lugar a una amplia gama de aplicaciones en la conservación del patrimonio, el control de las deformaciones y la modelización digital de las ciudades.

En muchos casos, debido a factores como el campo de visión del escáner, la forma y el tamaño del objeto y las obstrucciones de los árboles, no se puede obtener la información 3D completa de un objeto instalando una estación de una sola vez. El cosido de las nubes de puntos consiste en poner todos los datos de las nubes de puntos en el mismo sistema de coordenadas, por lo que es necesario convertir las nubes de puntos en coordenadas. En la actualidad, las coordenadas tridimensionales en ángulo recto se convierten utilizando el método de los siete parámetros, es decir, tres parámetros de traslación, tres de rotación y uno de expansión. Con la llegada de nuevas técnicas de medición, la conversión de coordenadas cartesianas espaciales en 3D para grandes ángulos de Euler se convertirá en el principal problema al que nos enfrentamos, y el modelo simplificado de linealización sólo es aplicable a la conversión de coordenadas para pequeños ángulos de Euler. En la actualidad, los algoritmos más maduros incluyen el método Gauss-Newton mejorado basado en el método iterativo de diferencia de niveles propuesto por Luo Changlin et al. [29]

En este trabajo, se selecciona un tramo de carretera de la UPV como objeto de investigación, se establecen seis estaciones de escaneo para obtener datos de escaneo, mientras que el GPS-RTK se utiliza para medir las coordenadas de los puntos de control en tiempo real, con el fin de lograr la conversión de las coordenadas de escaneo en coordenadas espaciales.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

3.1. INTRODUCCIÓN A LA EXPLORACIÓN DE OBJETOS

Para este experimento se utilizó como zona principal una sección del campus de Valencia, con una longitud total de más de 90 m y una anchura de más de 40 m. Se seleccionaron 6 lugares de escaneo para el escáner láser 3D con el fin de obtener datos espaciales más completos desde múltiples ángulos y cubrir las características topográficas y geomorfológicas detalladas de la zona de estudio. Se utilizó una estación total junto con el escáner láser 3D para determinar los puntos de posición de escaneo y los puntos de calibración de conversión de coordenadas. Se recogieron un total de 356403368 puntos. En el mapa se muestra una visión general de la figura 13.



Figura 13 Plano de ubicación de zona

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

3.2. MEDICIÓN GPS-RTK DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LA ZONA DE ESTUDIO

A lo largo de la zona experimental, se espaciaron uniformemente seis puntos de mira alrededor de las estaciones de medición, manteniendo un mínimo de dos puntos de mira observables en cada estación. Esto se muestra en la figura 13.

El Lecica GX1230 se utilizó para realizar mediciones estáticas rápidas de los objetivos en el área de estudio, utilizando el sistema de referencia del suelo "ETRS89", la proyección "UTM30 Zona", el elipsoide "GRS 1980", para cada objetivo se midieron las coordenadas en el sistema de coordenadas del plano espacial en ángulo recto y la distribución se muestra en la figura 14.



Figura 14 Plano de objetivo



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

donde los datos de las coordenadas se muestran en la tabla 2:

| LAS COORDENADAS DE OBJETIVO |                           |                                |              |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|
| Número de puntos            | Coordenada vertical- X(m) | Coordenadas horizontales- Y(m) | Altura- H(m) |
| s1                          | 728956,108                | 4373654,138                    | 7,188        |
| s2                          | 728964,766                | 4373650,391                    | 7,208        |
| s3                          | 728938,925                | 4373617,323                    | 7,949        |
| s4                          | 728901,772                | 4373627,958                    | 7,397        |
| s5                          | 728922,702                | 4373562,711                    | 7,439        |
| s6                          | 728938,044                | 4373557,711                    | 7,538        |

*Tabla 2 Las coordenadas de objetivo*

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneo láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

3.3. **ÁREA DE ESTUDIO - ADQUISICIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS DEL ESCÁNER LÁSER 3D**

Se utilizó un escáner láser terrestre Trimble TX6 para el área de estudio. Se seleccionaron seis estaciones de barrido y se distribuyeron alrededor de la zona estudiada de manera que cada estación cubriera el máximo espacio en su respectiva toma de datos, y se seleccionó un nivel de estación correspondiente para cada estación, con un nivel de barrido de 2, una distancia de barrido de 150m-200m y una resolución de barrido de unos 7mm. La distribución de las estaciones se muestra en la figura 15.



Figura 15 Plano de ubicación de zona

Una vez terminada la recogida de datos, se obtuvieron los datos brutos de los seis sitios.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

3.3.1. COMPARACIÓN DE LA ALINEACIÓN DE DATOS

Utilicé el software "Trimble RealWorks 11.0" para procesar los datos internos, en primer lugar, realicé la alineación manual de la nube de puntos y la alineación automática de la nube de puntos, los dos resultados de la alineación no eran visibles a simple vista, los diagramas de alineación se muestran en la figura 16.



*Figura 16 Alineación manual*

Sin embargo, el informe de alineación le permite comprobar cuál es el que proporciona el menor error residual global. En el siguiente figura 17 se muestra una comparación entre el registro automático y el manual.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

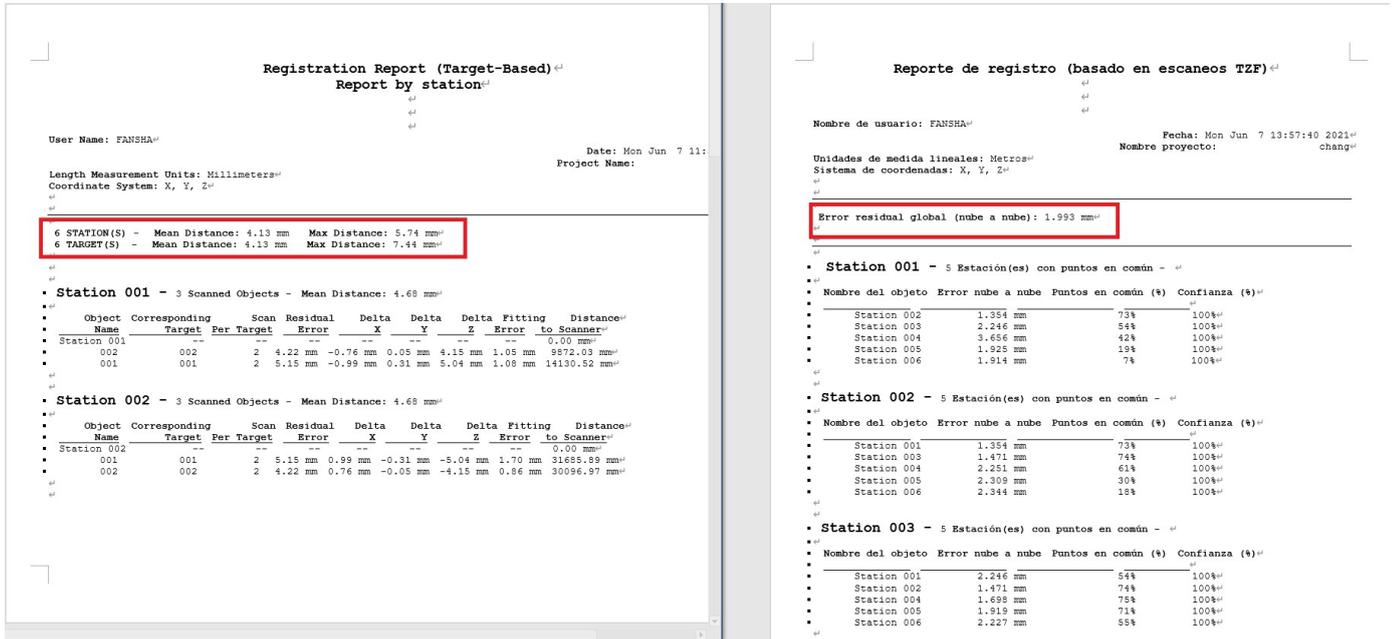


Figura 17 informe de comparar

Se puede observar que el error total restante registrado manualmente es de "1,99 mm", mientras que el error total restante registrado automáticamente es de "4,13 mm". Por lo tanto, se observa que el registro manual da mejores resultados y es más preciso.

## OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

### MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

#### 3.3.2. GEORREFERENCIACIÓN DE LOS DATOS

Georreferencíé la nube de puntos de las seis estaciones de la zona de estudio registrando automáticamente los seis puntos de destino establecidos en el campo, como se muestra en la figura. Sin embargo, durante el proceso de registro, se produjeron desplazamientos de los puntos marcadores durante las mediciones estáticas y errores al añadir los puntos objetivo a mano, lo que dio lugar a grandes errores en los resultados, como se muestra en la figura 18.

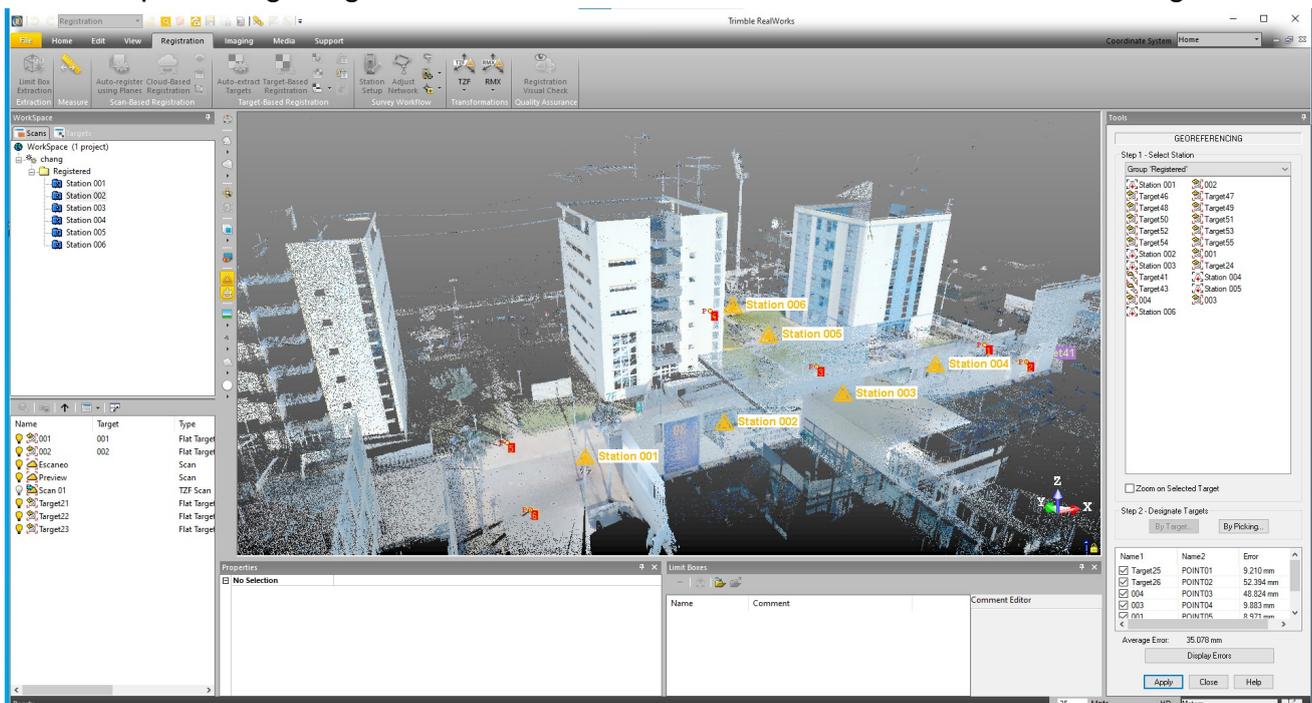


Figura 18 Referencia geográfica

Tienen un error medio de 35,078 mm, un resultado que se impone directamente en la posterior fusión de calibración de coordenadas espaciales en 3D.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 3 - Adquisición de datos y análisis de la precisión del escaneado láser 3D: un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

3.3.3. EXTRACCIÓN DE DATOS SOBRE EL TERRENO

"Trimble RealWorks 11.0 tiene muchas funciones inteligentes, cómodas y eficaces a nuestra disposición. Esto se debe a que los datos escaneados contienen información sobre la vegetación, los vehículos, los edificios o los peatones que no son el objetivo. El resto de la vegetación, los edificios, los peatones, etc. se consideran ruido y hay que eliminarlos mediante la función "Muestreo" que proporciona "RealWorks", como se muestra en la zona de estudio. Tenemos que extraer las carreteras a nivel del suelo (como se muestra en la figura 19. El modelo 3D mostraba demasiado ruido no deseado, que se eliminó y el resultado final se muestra en la figura 20

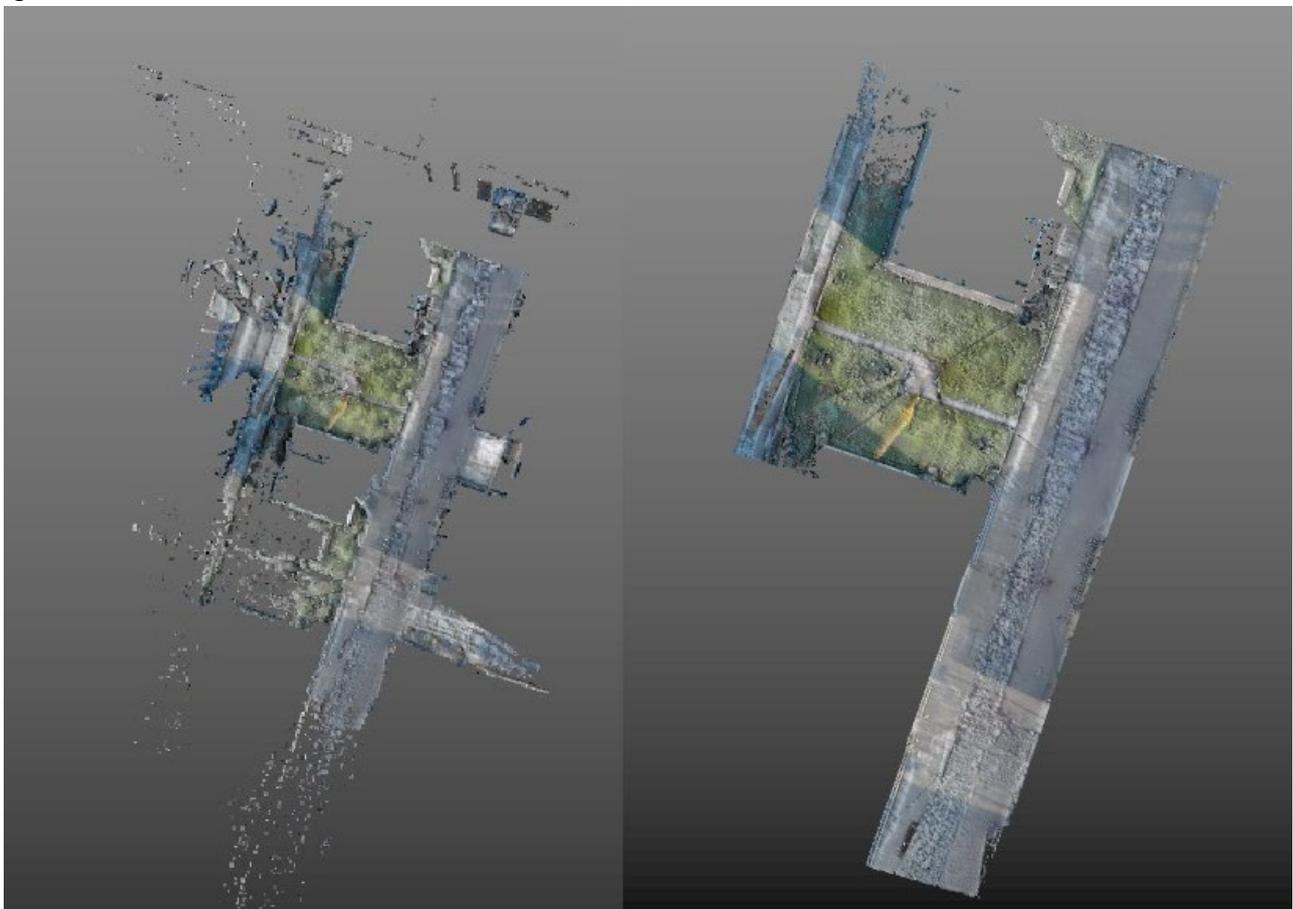


Figura 19 Extracción de los resultados del terreno

Figura 20 Resultados de la eliminación del ruido



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

## 4. ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE APROXIMACIÓN - UN EJEMPLO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN LA UPV

Para la topografía digital de aproximación, es necesario entender primero el objeto a medir y la

---

topografía del área de estudio, comprender las condiciones de los límites del área de estudio y aclarar la relación espacial entre la topografía, el objeto a medir y la luz. Para aclarar las características de la distribución de los rasgos y la relación inter-obscura del paisaje, se selecciona una ruta fotográfica preliminar, se planifica un plan fotográfico y se perfecciona el plan de rodaje. <sup>[29]</sup>

En el proceso de estudio del lugar, es importante tener en cuenta los cambios en la luz a lo largo del tiempo, para el objeto bajo prueba cuando la sombra es la menor, cuando la luz es la más oblicua, cuando la temperatura es la más alta, cuando el polvo es el más, y así sucesivamente, todos estos factores detallados pueden afectar el efecto de la medición.

Además, la selección y planificación de la ruta a seguir es esencial, ya que un plan de planificación inadecuado no sólo afectará a la precisión, sino que puede incluso provocar el fracaso de los datos de la nube de puntos 3D reconstruida.

Otro objetivo de la encuesta es elegir la ubicación de los puntos de control en el suelo, lo que debería facilitar la medición de coordenadas en una etapa posterior y también cumplir el requisito de que estos puntos estén lo más lejos posible dentro de la zona de filmación cuando se filman varias estaciones. Al mismo tiempo, debe tenerse en cuenta la distribución de los puntos de control en la zona de estudio, que debe desempeñar un papel de control general, es decir, debe establecerse un cierto número de puntos de control alrededor del límite de la encuesta en la medida de lo posible, además de puntos de control para las partes del terreno con grandes diferencias de elevación.

El área de estudio muestreada aquí es la misma que la del escáner láser 3D, y utilizamos una cámara Gopro9 y una barra de remolque larga para ayudar a simular la fotografía a bajo nivel del UAV.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

#### 4.1. ENFOQUE TÉCNICO DE LA CÁMARA Y LA FOTOGRAFÍA CON DRONES

Existen ciertos requisitos en cuanto a la forma de disparar la cámara digital que se utiliza para fotografiar el objetivo que se va a inspeccionar, en función del trabajo que realizamos sobre el terreno, la elaboración de un plan de tiro y la colocación de puntos de control. Photoscan Professional, por ejemplo, contiene recomendaciones para la fotografía de cámara para la fotogrametría de cerca.

En este caso, la cámara se utilizó para imitar el movimiento de un dron mediante una cámara de mano.

##### 4.1.1. ORIENTACIÓN POSITIVA DEL OBJETO DE MEDICIÓN

No es aconsejable fotografiar al sujeto en forma de posición dispersa de la cámara centrada en un punto concreto (como se muestra la figura 20) y sí es aconsejable fotografiar al sujeto en un movimiento paralelo. Y el ángulo de la cámara debe inclinarse un poco para que el objetivo sea más realista. (Como se muestra en figura 22).<sup>[30]</sup>



Figura 21 Forma incorrecta de disparar

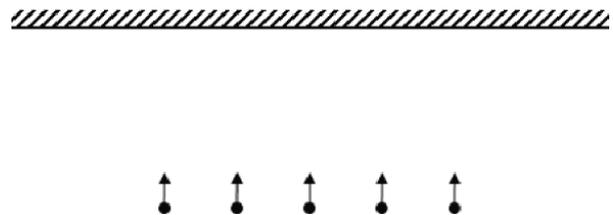


Figura 22 Forma incorrecta de disparar

Además, no hay que olvidar los factores ambientales a la hora de fotografiar las imágenes, y hay ciertas condiciones en las que no es adecuado realizar el trabajo fotográfico.

(1) Planificación razonable para evitar la obstrucción

Razonable planificación de la ruta de disparo es esencial, no sólo puede mejorar en gran medida la calidad de la fotografía, para la reconstrucción de la nube de puntos de espacio tridimensional precisión de las coordenadas también tiene una imagen importante, para algunas condiciones de terreno complejo, la planificación cuidadosa elección razonable, no sólo puede reducir en gran medida los obstáculos en primer plano para el objeto de destino oscurecido, sino también en la medida de lo posible para proteger el área de superposición de fotos de disparo continuo.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

**MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV**

(2) Superposición de fotos adecuada

Para la fotogrametría de aproximación, es importante asegurarse de que haya un solapamiento suficiente entre dos fotografías consecutivas o relacionadas, y gran parte de la literatura recomienda un solapamiento del 80% o no menos del 60%. Sólo con un solapamiento suficiente puede el software de posprocesamiento reconstruir coordenadas de nubes de puntos 3D de gran precisión utilizando principios fotogramétricos, ya que un solapamiento insuficiente no sólo afecta a la precisión del modelo reconstruido, sino que también puede dar lugar a errores o fallos en la reconstrucción.

(3) Evita disparar en condiciones de calor y humedad

Para la fotogrametría del cuerpo geológico, especialmente cuando el cuerpo de la roca es el objeto de medición, porque la roca recibe una fuerte radiación solar dará lugar a un fuerte aumento de la temperatura de la superficie de la roca, la superficie de la roca caliente formará un flujo de gas caliente a la atmósfera, formando un flujo de gas caliente, desde el ángulo de disparo del suelo es fácil de formar el impacto de las sacudidas, tendrá un mayor impacto en el error de medición.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de  
aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

4.1.2. MÉTODOS DE SIMULACIÓN DE RUTAS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

(1) Rutas de tipo cuadrículado

La planificación de rutas más utilizada para la ortofotografía es del tipo raster, es decir, las rutas son paralelas entre sí y toda la ruta se planifica como una forma raster regular (como se muestra en la figura 23). Cuando el terreno no es ondulado, la altura del trazado de la cuadrícula suele ser constante. La mayor ventaja de este plan de ruta es que garantiza que la altura vertical del objetivo es aproximadamente la misma que la del suelo, de modo que las fotografías del suelo obtenidas por la cámara digital tienen aproximadamente la misma resolución. [30]

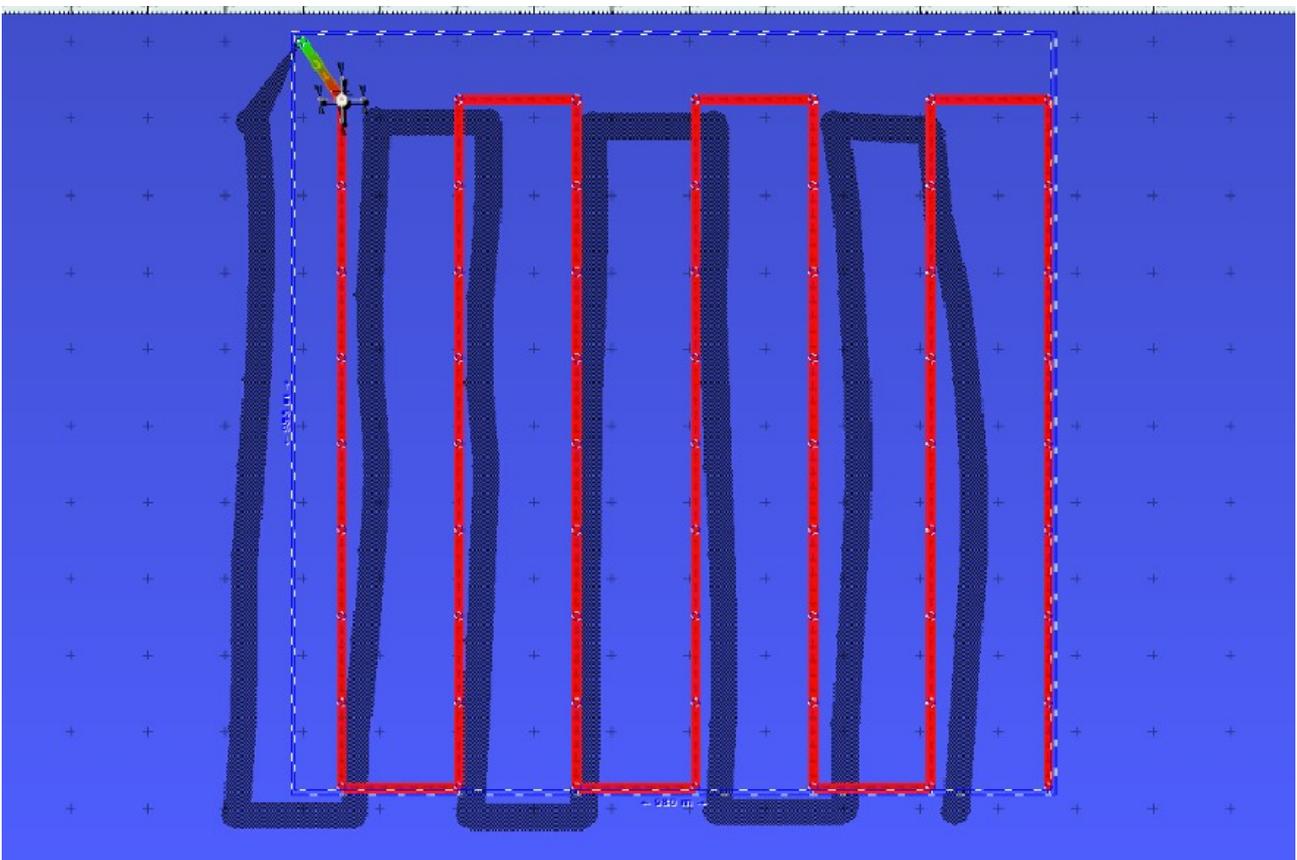


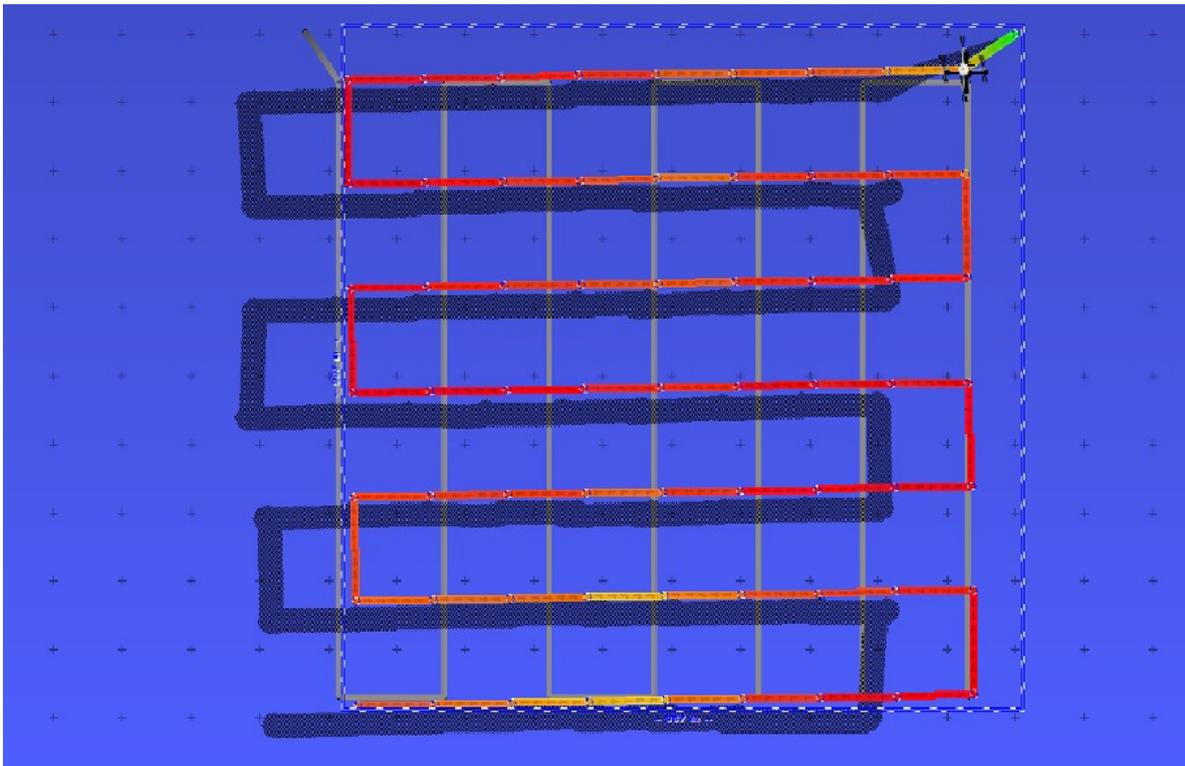
Figura 23 Mapa de ruta de tipo rasterizado

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

(2) Rutas combinadas

Para obtener una mejor imagen espacial en 3D del objeto en cuestión sobre el terreno, a menudo es posible utilizar una combinación de rutas de fotografía aérea. Por ejemplo, se toman líneas en una ortofoto de tipo raster y luego se utiliza una combinación de rutas raster perpendiculares entre sí en la dirección superior (como se muestra en la figura 23), esta combinación es más adecuada para situaciones en las que el terreno no es muy ondulado y hay muchos edificios. [30]



*Figura 24 Rutas combinadas*

Dependiendo de las condiciones del terreno en el lugar, y teniendo en cuenta las características de la situación operativa real, puede haber más combinaciones con el único objetivo de reducir el espacio muerto fotográfico y adquirir datos de imágenes espaciales en 3D en todas las direcciones.

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

4.2. ADQUISICIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS PARA LA FOTOGRAMETRÍA DE APROXIMACIÓN AÉREA SIMULADA

Combinando los medios anteriores, se utilizó la misma zona de prospección y los mismos puntos de control (como se muestra la figura 12) para tomar fotografías de ruta rasterizadas de toda la zona de prospección (como se muestra la figura 24) utilizando una Gopro9 y un bastón de mano extendido, con una superposición de fotos de más del 70% y un ángulo de inclinación del objetivo de unos 60°. La altura de la cámara sobre el suelo era de 3 m y se tomaron 370 fotografías para el estudio fotogramétrico inclinado.



Figura 25 Adquisición de datos fotogramétricos

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

Para la comparación con los datos del escáner láser 3D, se utilizaron los mismos seis puntos de control del suelo y los puntos de control del suelo se midieron rápidamente utilizando RTK.

4.2.1. TRATAMIENTO INTERNO DE DATOS

A continuación, se realizará el procesamiento fotogramétrico en el software “Agisoft Photoscan Professional”. Principales procesos (como se muestra la figura 26) Precisión de asentamiento del punto de control (como se muestra en la figura 27) Basándose en el informe de precisión de los asentamientos, puede verse que el error de los puntos de control se controla básicamente dentro de los 3 cm, lo que cumple los requisitos de precisión de la fotogrametría.

Antes de generar los datos de textura de la nube de puntos en 3D, los datos de la nube de puntos se limpiarán manualmente de ruido para producir un modelo 3D de calidad óptima. Los datos finales en color de la nube de puntos 3D generada se muestran en la figura 28, junto con la imagen de la ortofoto, que es clara y refleja con precisión los detalles de las juntas de piedra en la zona de estudio (como se muestra la figura 29).

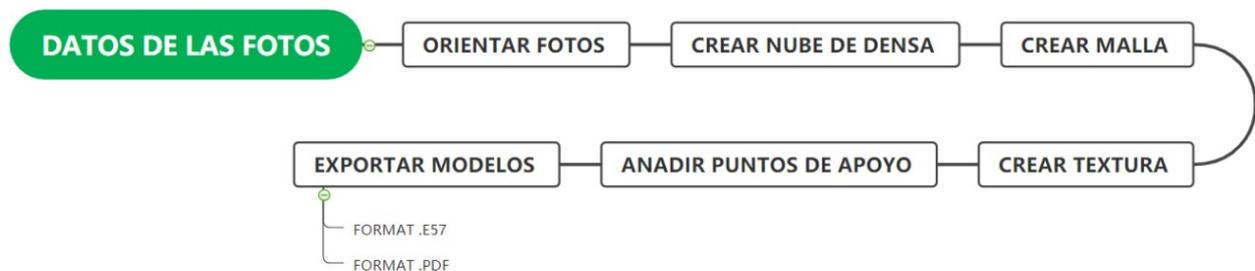


Figura 26 Diagrama de flujo

| Markers                                    | X (m)         | Y (m)          | Z (m)    | Accuracy (m) | Error (m)       | Projections |
|--|---------------|----------------|----------|--------------|-----------------|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> punto1 | 728956.102000 | 4373654.134000 | 7.193000 | 0.005000     | 0.037692        | 14          |
| <input checked="" type="checkbox"/> punto2 | 728964.766000 | 4373650.390000 | 7.214000 | 0.005000     | 0.033929        | 16          |
| <input checked="" type="checkbox"/> punto5 | 728922.702000 | 4373562.710000 | 7.439000 | 0.005000     | 0.030417        | 4           |
| <input checked="" type="checkbox"/> punto6 | 728938.047000 | 4373557.721000 | 7.535000 | 0.005000     | 0.027628        | 10          |
| <b>Total Error</b>                         |               |                |          |              | <b>0.032636</b> |             |

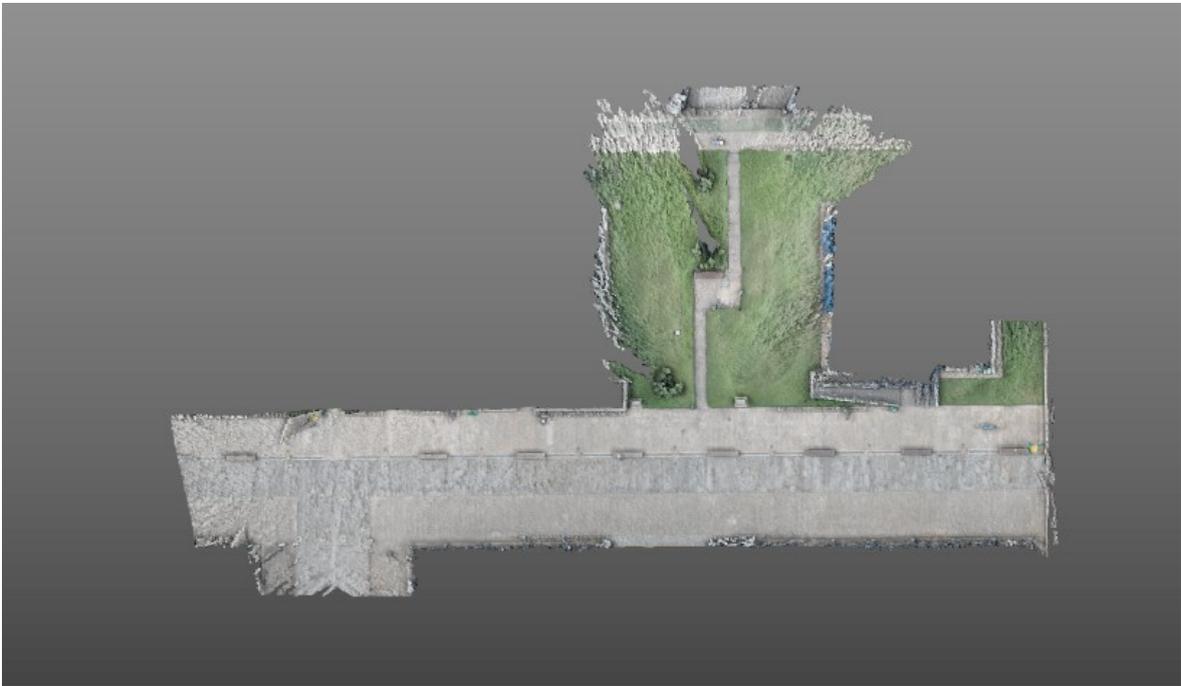
Figura 27 Error en el punto de control



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 4 - Adquisición de datos y análisis de precisión de la fotogrametría digital de  
aproximación - un ejemplo de un tramo de carretera en la UPV

Modelo de color de la textura 3D tras la eliminación del ruido:



*Figura 28 Ortofotografía*

Planos de detalle específicos:



*Figura 29 Detalle HD*



## 5. COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE LAS TÉCNICAS DE ESCANEAMIENTO LÁSER 3D Y DE FOTOGRAMETRÍA

---

La tecnología de escaneo láser 3D y la fotogrametría digital son dos sistemas de medición distintos con enfoques técnicos completamente diferentes, pero comparten la misma forma de expresión de los resultados de los datos y tienen características técnicas complementarias.

Sin embargo, la premisa de la comparación requiere una calibración de las coordenadas espaciales en 3D, la premisa es garantizar que ambos utilizan el mismo sistema de coordenadas espaciales durante el proceso de adquisición de datos. En otras palabras, el sistema de coordenadas utilizado para los puntos de control de conversión de coordenadas de escaneo láser 3D cuando se recogen los datos espaciales debe ser el mismo que el sistema de coordenadas utilizado para los puntos de control del suelo para la fotogrametría de aproximación, de modo que los datos de coordenadas de la nube de puntos espaciales 3D generados anteriormente (como se muestra en la figura 30) puedan tener el mismo datum, y con el mismo sistema de coordenadas las dos caras de los datos puedan utilizarse a través de "Trimble RealWorks 11.0" para comparar.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

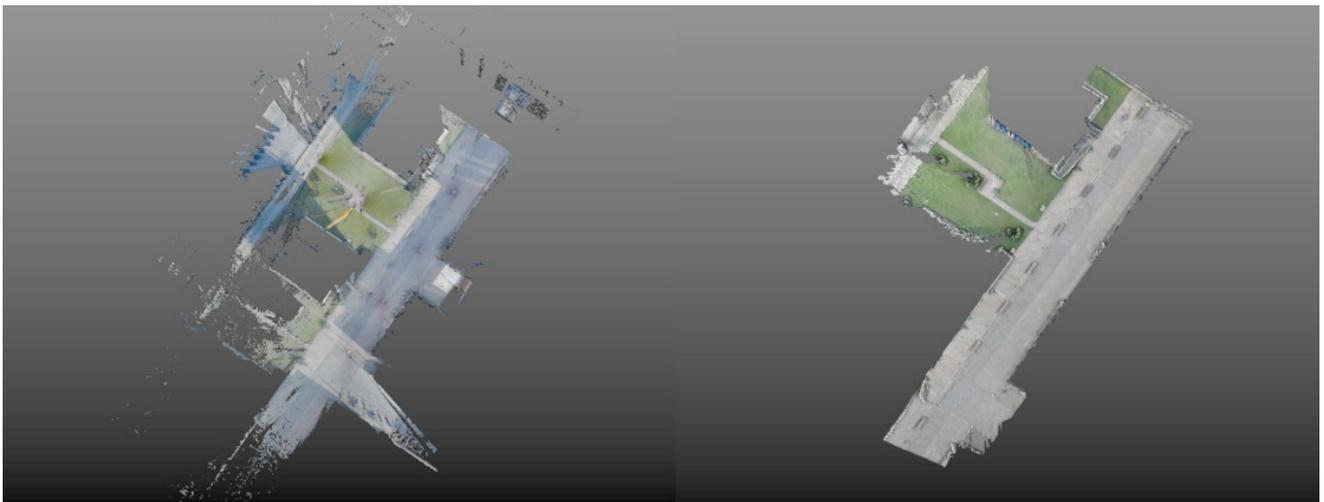
---

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

**5.1. COMPARACIÓN DE LOS ERRORES EN LOS DATOS DE LAS NUBES DE PUNTOS 3D**

---

Utilizando el método anterior, teóricamente es posible importar y fusionar los datos de la nube de puntos del escáner láser 3D con los datos de la nube de puntos fotogramétrica. Los datos del escáner láser 3D se utilizan como referencia y las características geométricas de la nube de puntos se comparan y calculan para lograr una calibración fusionada de las dos fases. (Como se muestra la figura30)



*Figura 30 Datos de la nube de puntos 3D de dos instrumentos*

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

5.1.1. COMPARACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE DATOS DE NUBES DE PUNTOS 3D

Los dos modelos se seleccionaron para la "Inspección 3D" y los datos de la nube de puntos escaneados por láser en 3D adquiridos se fusionaron con los datos del modelo de cuadrícula en 3D tomados por la cámara para la calibración y el análisis de errores (mostrados en la figura 31). La distancia más corta es de 0,000 m y la más grande es de 0,100 m. De este análisis (mostrado en la figura 32), casi el 40% de las distancias se muestran en azul claro, entre 0,00m y 0,04m, principalmente en el centro del modelo, con la excepción de los grandes errores en el modelo de borde. El 40% de las distancias se muestran en amarillo claro, entre 0,00 mm y 0,07 m, principalmente al principio y al final de la carretera. Como se puede ver en la (figura 33), las mediciones de la nube de puntos LIDAR son menos ruidosas y presentan una imagen más clara de la superficie y los bordes del objeto, lo que es mejor para realizar mediciones precisas, crear mallas 3D, etc. Mientras que los datos de la nube de puntos sin procesar recogidos por la fotogrametría se basan en las características identificables del objeto para ser emparejados con la secuencia de imágenes y requieren más tiempo y una gran labor de limpieza mediante la eliminación manual de los datos espurios de la nube de puntos.

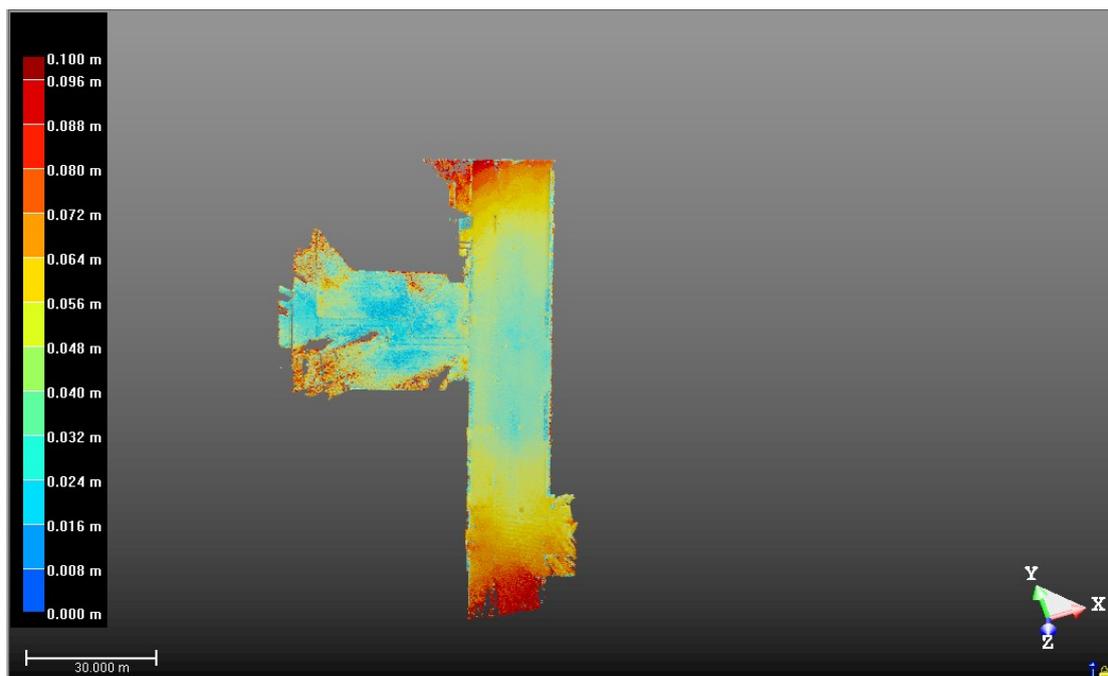


Figura 31 análisis de errores de 0,1 m

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

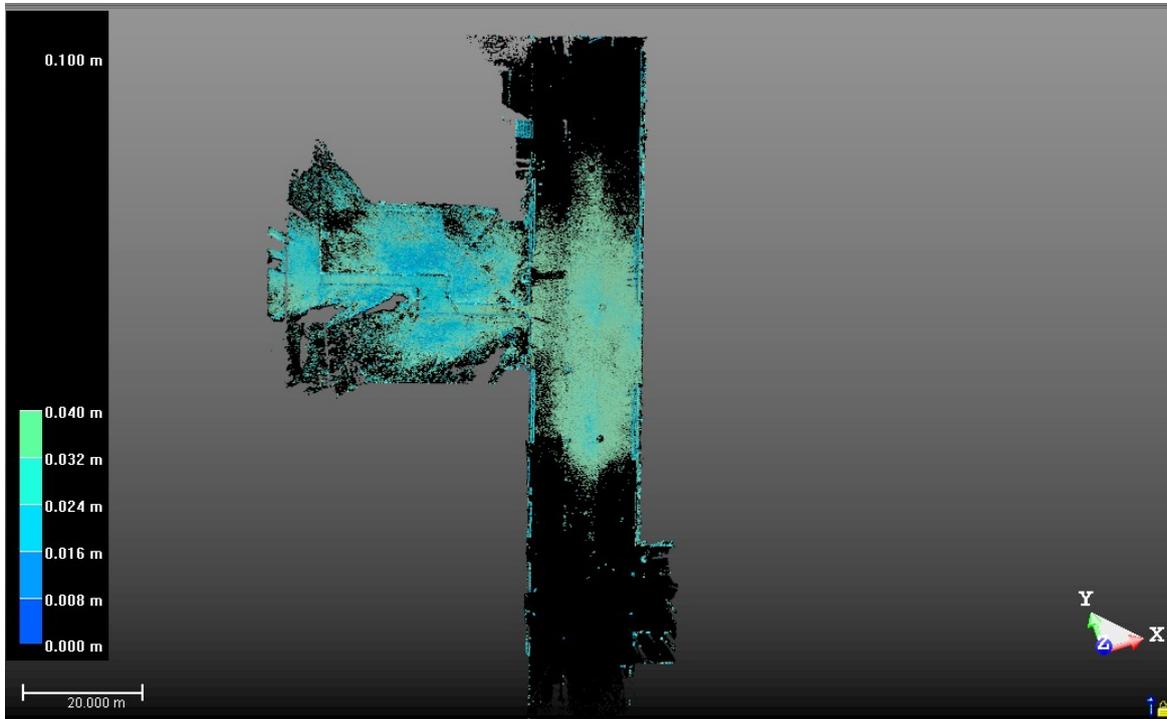


Figura 32 análisis de errores de 0,04 m

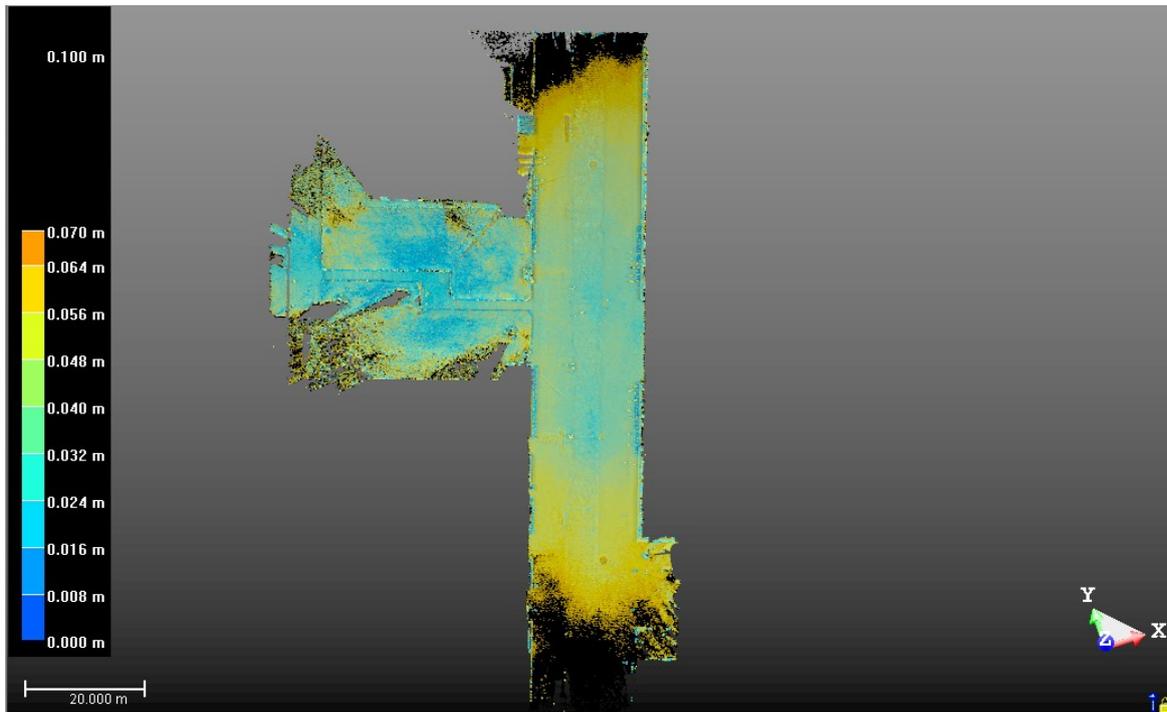


Figura 33 análisis de errores de 0,07 m

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

5.1.2. COMPARACIÓN DE LOS SEGMENTOS DE LÍNEA DE LOS DATOS DE LA NUBE DE PUNTOS 3D

Para investigar las diferencias y comparaciones específicas entre los datos de la nube de puntos 3D y los datos del modelo de malla 3D, hemos trabajado con los datos brutos para representar segmentos de línea (como se muestra en la figura 34 y 35). A través de la función "dibujo", se representan las principales similitudes, principalmente en forma de barrancos entre la carretera y el césped, y en la representación de objetos fijos como tapas de alcantarilla, alcantarillas, barandillas de escaleras, etc.

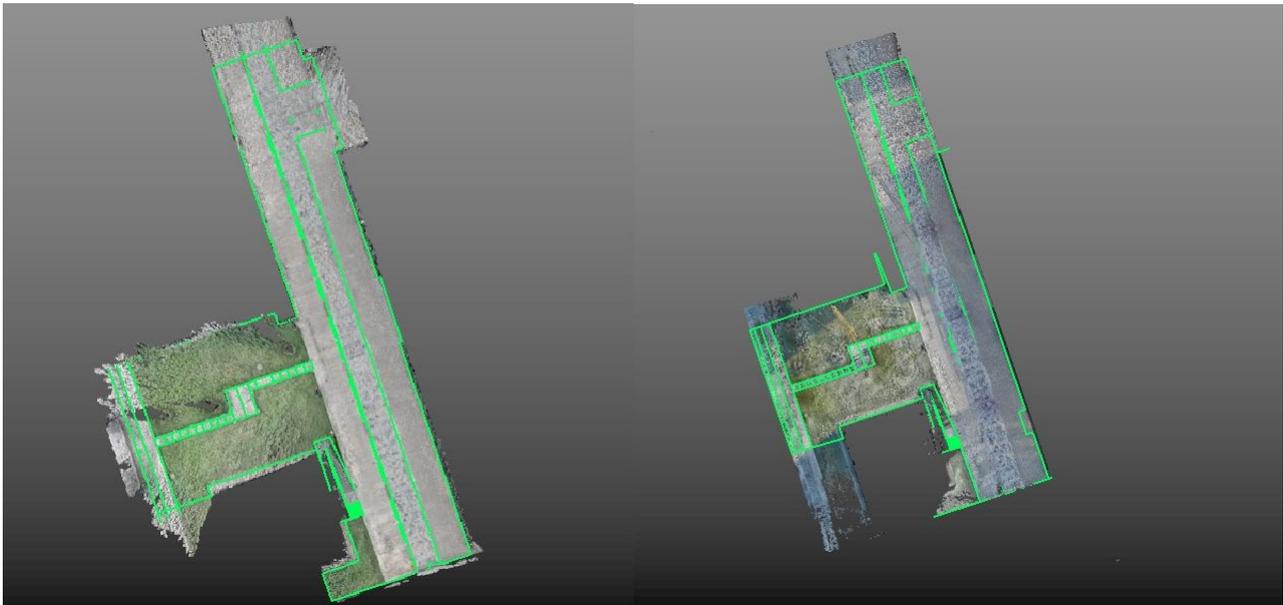


Figura 34 Modelos fotogramétricos

Figura 35 Modelo de escáner láser 3D

OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

La comparación de los datos de los segmentos de línea se realizó mediante la importación de "AutoCad" (como se muestra en la figura 36) y hubo pequeños errores de datos entre los segmentos de línea y los segmentos de línea, como se muestra en la tabla.

Los detalles se muestran en la (tabla).

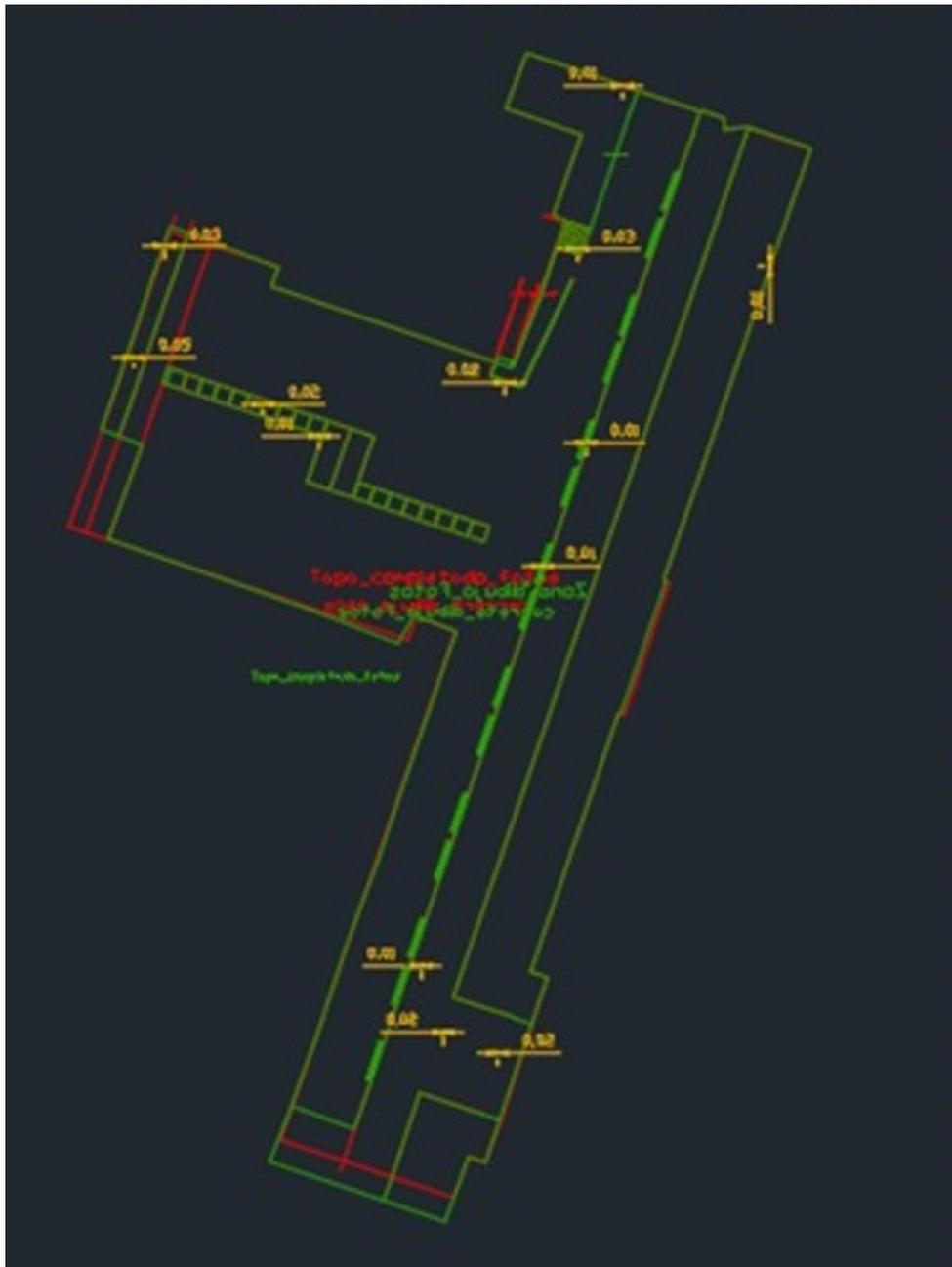


Figura 36 Comparación entre segmentos de línea



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría

Esta tabla resume los errores de datos que existen entre los segmentos de línea.

|                                | Largo(m)    | Ancho(m)    | Distancia(m)  | Distancia(Promedio) |
|--------------------------------|-------------|-------------|---|---------------------|
| Carrera_bicicleta_escaner      | 32,586<br>4 | 1,8159      | 0,0390  | 0,0390              |
| Carrera_bicicleta_Fotos        | 21,207<br>2 | 1,8549      |   |                     |
| Carrera_peatones_escaner       | 32,586<br>4 | 2,3113      | 0,0725  | 0,0725              |
| Carrera_peatones_Fotos         | 21,207<br>2 | 2,4821      |   |                     |
| Piedra_peatones_escaner        | 34,807<br>3 | 34,901<br>3 | 0,0642;0,0156;0,0255;0,0201;0,02420;0,0247;0,0170;<br>0,0091;0,0147;0,0138;0,0101;0,0229                              | 0,0217              |
| Piedra_peatones_Fotos          | 6,4325      | 6,4717      |   |                     |
| escalera_escaner               | 2,7224      | 2,5906      | 0,0735;0,0076;0,0114;0,0219;0,0215;0,0298;<br>0,0276;0,0222;0,0038;0,0244   | 0,0244              |
| escalera_Fotos                 | 2,7555      | 2,6425      |   |                     |
| pared_norte_escaner            | 18,031<br>4 | 0,0000      | 0,0265;0,0976;0,0287;0,0267   | 0,0449              |
| pared_norte_Fotos              | 17,963<br>9 | 0,0000      |   |                     |
| pared_sur_escaner              | 0,0000      | 0,0000      | 0,0510;0,0604;0,0379;0,0281;0,0470  | 0,0449              |
| pared_sur_Fotos                | 0,0000      | 0,0000      |   |                     |
| Ladrillo_peatones_escaner      | 90,885<br>7 | 5,0181      | 0,0161; 0,0117; 0,0191; 0,0142; 0,00120;<br>0,0010; 0,0062; 0,0032; 0,0038; 0,0061;<br>0,0074; 0,0083; 0,0131; 0,0070 | 0,0085              |
| Ladrillo_peatones_Fotos        | 90,948<br>9 | 5,0116      |   |                     |
| Silla1_escaner                 | 3,9554      | 0,2920      | 0,0198;0,0225;0,0215;0,0222;0,0133  | 0,0199              |
| Silla1_Fotos                   | 3,9559      | 0,2922      |   |                     |
| Silla2_escaner                 | 3,9901      | 0,3055      | 0,0282;0,0204;0,0016;0,0172;0,0185;0,0126   | 0,0141              |
| Silla2_Fotos                   | 3,9890      | 0,2867      |   |                     |
| Silla3_escaner                 | 3,9820      | 0,3035      | 0,0047;0,0068;0,0124;0,0028   | 0,00733             |
| Silla3_Fotos                   | 3,9717      | 0,2923      |   |                     |
| Comparar el promedio total es: |             |             |   | <b>0,0297</b>       |

Tabla 3 Error de segmento de línea



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

**MEMORIA | 5 - Comparación de los datos de las técnicas de escaneo láser 3D y de  
fotogrametría**

Esta tabla muestra que, al comparar los segmentos de línea representados por los datos de las nubes de puntos, el mayor error se refleja en el sendero, con un error medio de 0,0725 m. La razón de este resultado puede deberse al escaso número de nubes de puntos en las ubicaciones de los bordes, a la presentación incompleta de las líneas limítrofes, al error humano en el proceso de representación, etc. El menor error se produce en la silla, lo que se debe a que la silla está situada en el centro de la zona de estudio, con una alta densidad de nubes de puntos y una línea de demarcación completa y clara.

## 5.2. RESUMEN DE ESTE CAPÍTULO

---

De la investigación se desprende que tanto las técnicas de escaneo láser 3D como las de fotogrametría de aproximación tienen una gran precisión en la adquisición de datos. Las mediciones de nubes de puntos LiDAR tienen menos ruido y desorden y presentan una imagen más clara de la superficie del objeto y de los bordes, lo que es más propicio para realizar mediciones precisas, crear mallas 3D, etc. Por el contrario, la fotogrametría adquiere datos de nubes de puntos sin procesar que se basan en características identificables de los objetos para ser emparejados con las secuencias de imágenes y requiere un largo y extenso trabajo de ordenación mediante la eliminación manual de datos de nubes de puntos espurios.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 6 - presupuesto del proyecto

## 6. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

### 6.1. DIAGRAMA DE GANTT

Los primeros pasos del presupuesto del proyecto pueden representarse mediante un diagrama de GANTT<sup>[31]</sup> para visualizar rápidamente la planificación y la programación de las diferentes tareas que deben llevarse a cabo para la realización completa del proyecto, es decir, desde la planificación hasta el desarrollo y la obtención del resultado final.

Con este figura37 se puede ver muy claramente el tiempo estimado para ejecutar el proyecto, la secuencia de tareas, los recursos o procedimientos necesarios para las tareas y su realización, todo ello bien representado.

Y este diagrama muestra que la secuencia es irreversible y que cada tarea está interrelacionada y tiene las conexiones necesarias entre ellas. Por ejemplo, si no realizamos la adquisición de datos con un láser 3D, no podemos llevar a cabo el procesamiento interno de los datos.

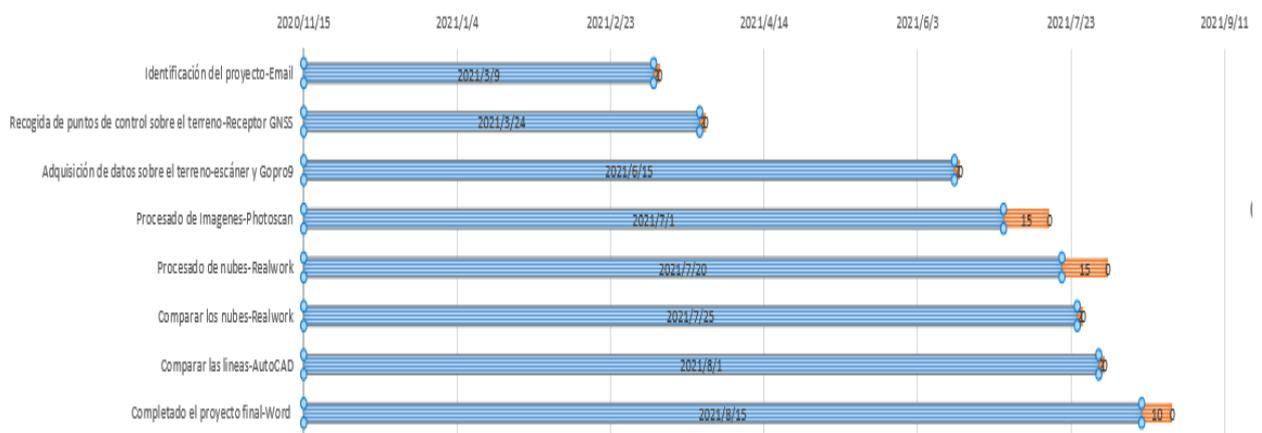


Figura 37 Diagrama de GANTT



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 6 - presupuesto del proyecto

6.2. PRESUPUESTO

A efectos presupuestarios, hemos calculado que el número de horas que necesitamos trabajar en función del número de días obtenido mediante el gráfico GANTT, basado en una jornada laboral de seis horas, es de aproximadamente 300 horas.

| Actividades                | Duración (días) | Duración (total horas) |
|----------------------------|-----------------|------------------------|
| Salida a campo             | 4               | 24                     |
| Los nubes de escáner       | 2               | 16                     |
| Los nubes de fotogrametría | 1               | 8                      |
| Comparar los nubes         | 1               | 8                      |
| <i>Duración total:</i>     | <i>8</i>        | <i>56</i>              |

Tabla 4 Duración del proyecto



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 6 - presupuesto del proyecto

Como se desprende de los datos anteriores, hemos estimado el presupuesto de costes mediante precios medios aproximados de mercado y el gasto del proyecto se divide en costes directos y otros costes, como se muestra en la tabla 5.

| Actividades                | Costes directos | Otros costes |
|----------------------------|-----------------|--------------|
| Salida a campo             |                 |              |
| Las nubes de escáner       |                 |              |
| Las nubes de fotogrametría | 2898.00 €       | 607.32 €     |
| Comparar las nubes         |                 |              |
| Duración total:            | 3505.32 €       |              |

Tabla 5 Presupuesto total



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 6 - presupuesto del proyecto

6.2.1. COSTES DIRECTOS

Los costes directos se refieren a los costes directos de los proyectos realizados, como el coste del tiempo, los materiales y el personal empleado en la realización de los trabajos.

Para calcular estos costes, debemos conocer el tiempo dedicado a cada actividad, el equipo y las herramientas utilizadas y el personal. Aquí hemos dividido a todas las personas implicadas en el proyecto en una sola persona para facilitarnos el cálculo de los costes.

| Actividades                | Costes directos  |         |                                      |         |
|----------------------------|------------------|---------|--------------------------------------|---------|
|                            | Recursos humanos |         | Medios materiales                    |         |
| Salida a campo             | 1 geomático      | 320 €   | Vehículo, RTK,<br>3D escaner, Gopro9 | 380 €   |
| Las nubes de escáner       | 1 geomático      | 400 €   | Ordenador,<br>Licencia Realwork      | 849 €   |
| Las nubes de fotogrametría | 1 geomático      | 200 €   | Ordenador,<br>Licencia PhotoScan     | 549 €   |
| Comparar las nubes         | 1 geomático      | 200 €   | -                                    | 0 €     |
|                            | Total:           | 1.120 € | Total:                               | 1.778 € |
|                            | Total:           | 2.898 € |                                      |         |

Tabla 6 Costes directos

6.2.2. OTROS COSTES

Como el presupuesto de este proyecto se calcula alquilando personal, materiales, equipos, etc. a otras empresas, no incluimos los costes indirectos del proyecto.

Sin embargo, por lo general estamos obligados a pagar el 21% de IVA (Impuesto sobre el Valor Añadido) de acuerdo con el Código Fiscal español. Como no está directamente relacionado con el proyecto, lo clasifico como otros costes.

| Otros costes |         |
|--------------|---------|
| iva (21%)    | 607.32€ |
| Total:       | 607.32€ |

Tabla 7 Otros costes



## 7. CONCLUSIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

Este documento comienza con una breve introducción a la tecnología de escaneo láser 3D y a la fotogrametría, señalando la importancia de su desarrollo para el campo de la topografía y la cartografía, en las siguientes áreas.

- (1) Se discuten los antecedentes y el estado actual de la investigación sobre la tecnología de escaneo láser 3D y la fotogrametría, respectivamente, y se resumen los principales contenidos de la investigación y la composición estructural de esta tesis.
- (2) Se introducen la clasificación y los principios de la tecnología de escaneo láser 3D, la fotogrametría y otras técnicas cartográficas, se resume el proceso de preprocesamiento de datos de la tecnología de escaneo láser 3D y sus ventajas y características en la cartografía topográfica, y se analiza un análisis comparativo con otras técnicas cartográficas y los errores a los que está sometida la tecnología de escaneo láser 3D. Además, se describen las teorías básicas de la fotogrametría, como el sistema de coordenadas espaciales de las fotografías digitales, los elementos de orientación de la imagen, e incluso la ecuación de condición colineal. La cámara, las condiciones ambientales, la precisión de los puntos de control en el suelo y el software de no cálculo se resumen principalmente en los errores fotogramétricos.
- (3) La precisión de la adquisición de datos de escaneo láser 3D se investiga mediante experimentos de escaneo en la carretera del edificio escolar de la "UPV". Se describen las tareas específicas del experimento, principalmente el escaneo y las mediciones RTK. A partir de los datos de la nube de puntos escaneada y de las coordenadas de los puntos de control de las mediciones RTK, se investiga la diferencia de precisión entre la alineación manual y la automática.
- (4) Se realizó una nueva simulación del experimento de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados en el camino del edificio de la escuela "UPV", y se introdujo el método de filmación y la forma de filmar la ruta de la fotografía aérea de simulación. Las imágenes se post-procesaron con el software Agisoft Photoscan mediante la orientación, la generación de nubes de puntos, la importación de puntos de control, la generación de nubes de puntos de nuevo, la generación de mallas y la generación de texturas.
- (5) Comparación de gráficos y segmentos de línea de los datos de las nubes de puntos 3D de dos instrumentos diferentes.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

MEMORIA | 7 - Conclusiones

7.2. ANÁLISIS COMPARATIVO

Ambos métodos de medición lograron adquirir datos y generar modelos 3D. Por el contrario, la fotogrametría extrae información sobre el objeto de estudio a partir de las imágenes tomadas y el LiDAR adquiere una nube de puntos de coordenadas 3D del objetivo a través de la diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción de los pulsos láser, pero la diferencia entre ambos no sólo radica en las distintas formas de adquirir datos, sino también en su coste, precisión y el entorno en el que se utilizan.

|                               | Fotogrametría   | LiDAR 3D   |
|-------------------------------|---|--|
| Métodos de medición           | Medición pasiva   | Medición activa  |
| Principios de imagen          | Posicionamiento geométrico en perspectiva                                 | Posicionamiento geométrico en coordenadas polares  |
| Métodos de recogida de datos  | Foto de ida   | Muestreo punto por punto para obtener datos espaciales de alta precisión y densidad                                      |
| Datos obtenidos               | Datos de imágenes 2D con información de textura, espectral y de otro tipo | Datos de la nube de puntos con coordenadas geométricas de cada punto con información sobre la intensidad de la reflexión |
| Condiciones de vulnerabilidad | Vulnerable a la luz y al entorno  | Puede penetrar en la vegetación para obtener información sobre el terreno  |
| Procesamiento de datos        | Bajo nivel de automatización, que requiere la intervención manual         | Facilidad para automatizar el procesamiento  |
| Ciclo de producción           | Más largo   | Más corto  |
| Costes de producción          | Bajo  | Alto   |

Tabla 8 Tabla de comparación técnica



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 7 - Conclusiones

De hecho, no hay una respuesta correcta a la pregunta de cuál de estos dos métodos es mejor; se trata simplemente de cuestiones específicas de la aplicación. Para algunos casos de uso, la fotogrametría es mejor; para otras aplicaciones, el LiDAR es mejor. A grandes rasgos, la regla general es que la fotogrametría es adecuada para lugares grandes que no están obstruidos por la cubierta de árboles u otros obstáculos, mientras que la tecnología LiDAR es adecuada para lugares más pequeños obstruidos.

Se organiza en los siguientes puntos

- (1) Los datos de la nube de puntos se obtienen de diferentes maneras. El escaneo láser 3D se obtiene directamente de las coordenadas tridimensionales de la nube de puntos, la nube de puntos sin procesamiento adicional puede ser la medición espacial; la fotogrametría se basa en fotos digitales para reconstruir los datos de la nube de puntos tridimensionales, necesita un número de vistas diferentes de la foto por un gran número de cálculos para obtener los resultados de los datos de la nube de puntos tridimensionales.
- (2) la fotogrametría a menudo necesita hacer una medición de control auxiliar, utilizada para llevar a cabo la reconstrucción de datos de nubes de puntos tridimensionales; el escaneo láser tridimensional sólo en la conversión de coordenadas geodésicas necesita controlar la medición de puntos, muchas veces puede utilizar coordenadas relativas.
- (3) La precisión de los resultados de los datos es diferente. La precisión del posicionamiento de los puntos del escaneo láser 3D es mayor que la de la fotogrametría digital en el análisis de los puntos, la precisión de los datos del escaneo láser se distribuye uniformemente, mientras que el análisis de la fotogrametría de la precisión de los datos por la luz, la tasa de superposición de imágenes y otros factores afectados.
- (4) Se requieren diferentes condiciones ambientales. La tecnología de escaneo láser 3D es la ocurrencia activa de la fuente de luz láser, casi independiente de la influencia de la luz ambiental, mientras que la fotogrametría tiene ciertos requisitos para la luz ambiental, la temperatura, etc.
- (5) Las texturas de color se consiguen de diferentes maneras. La tecnología de escaneo láser 3D se ajusta por la intensidad de la reflexión láser para igualar la información en escala de grises, mientras que la información de color tiene que ser igualada y superpuesta a los datos de la nube de puntos a través de la película de imagen digital, hay un cierto error; los resultados de los datos de fotogrametría se reconstruyen directamente a partir de los puntos de píxel de la película de imagen, por lo que la información de color también se obtiene directamente.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Xi Xiaohuan, Luo Shezhou, Wang Fangjian, Wang Cheng (Centro de Observación de la Tierra y Ciencia Digital de la Tierra, Academia China de Ciencias) **Revisión del estado y desarrollo de los sistemas de escaneo láser terrestre**, Pekín 100094, 2019:1-5
- [2] PETER C.DAWSON, MARGARET M.BERTYLLI. **Application of 3D Laser Scanning to the Preservation of Fort Conger, a Historic Polar Research Base on Northern Ellesmere Island, Arctic, Canada** June, 2013, [Arctic](#), 66(2):147-158;
- [3] Riccardo Fanti | Giovanni Gigli | Luca Lombardi | Deodato Tapete | Paolo Canuti, **Terrestrial laser scanning for rockfall stability analysis in the cultural heritage site of Pitigliano (Italy)**, Published online: 22 May 2012:1-12.
- [4] García García, Francisco; Buchón Moragues, Fernando Francisco. (2019). **Estudio 3D mediante georradar y láser escáner de la Capilla de la Comunión de la Basílica Menor de San Jaime de Algemesí (Valencia)**. *Historia, pensamiento y humanismo actual* (711 - 734).
- [5] Huixia Zhang, Wenbo Zhu, **Teoría y aplicación del procesamiento de datos de escaneo láser 3D** [M], 2016: 214.
- [6] Hao G, Hu F, Yue Zhaolin. **Un método de preprocesamiento de datos de nubes de puntos de escaneo láser 3D** *Mapping Science*, 2013:1
- [7] Zhang A-W, Hu S-X, Cai G-J, et. **Métodos de procesamiento de datos láser 3D a gran escala en tierra**. *Foro Tecnológico de Fronteras de la Ciencia Topográfica y Cartográfica*, 2019:70
- [8] Yang Jing, Liu Shoujun. **Software de mapeo y modelado con escáner láser 3D basado en nubes de puntos de imagen**, *Mapping Bulletin*, 2017(6): 119-120
- [9] Wu Jing, Cang Fengxiang, Wang Jian, **Modelado 3D de edificios basado en datos de escaneo láser 3D**, *Surveying and Mapping Engineering*, 2007, 16(5): 57-60.
- [10] Gao Shaowei pantalones Zhiyi, Wang Xiaolong, **Datos de nubes de puntos láser 3D para la cartografía topográfica** [J]. *Boletín de cartografía*. 2014 (3): 67-70
- [11] Liu CH, Yang W. **Adquisición y modelado espacial de estructuras mediante escaneo láser 3D** [J]. *Engineering Survey*, 2006,(4):49-53
- [12] Li Qiaoli. **Modelado 3D de estatuas basado en datos de nubes de puntos** [D]. Tesis de maestría, Universidad de Tongji, 2009
- [13] Lu Xiushan, Huang Lei. **Método de extracción cuadrículada de información de edificios basado en datos de escaneo láser** [J]. *Revista de la Universidad de Wuhan (Información Edición científica)*, 2007, 32 (10):852-855
- [14] Cao Shuaihua. **Estudio experimental sobre la aplicación del modelado 3D para la fotogrametría de inclinación de los UAV** [D]. Kunming: Universidad Tecnológica de Kunming, 2017.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 8 – bibliografía

- [15] Lv Lei, Xing Hanfa, Wang Xuzhuan. Aplicación de la tecnología de escaneo láser 3D en la finalización de construcciones urbanas La aplicación de la tecnología de escaneo láser 3D en la medición de la terminación de edificios urbanos [J]. Urban Surveying, 2014( 1): 94-98.
- [16] Li Ying, Lin Zongjian, Su Guozhong, et al. Reconstrucción de modelos 3D de datos Smart3D [J]. Ciencia topográfica y cartográfica, 2017, 42(9): 88-93.
- [17] Wu Guomei. El método de construcción de modelos 3D realistas basado en la tecnología de fotogrametría de inclinación [J]. World Nonferrous Metals, 2017 (9): 296-298.
- [18] Shao Jie, Zhang Aiwu, Wang Shumin, et al. Investigación sobre la fusión de la nube de puntos láser 3D y la imagen CCD [J]. investigación [J]. China Laser, 2013, 40(5): 228-235
- [19] Yan Yang, Li Yongqiang, Wang Yingjie, et al. Nube de puntos láser tridimensional combinada con imágenes de UAV para la reconstrucción de escenas tridimensionales [J]. Investigación sobre la reconstrucción de escenas en 3D [J]. Boletín de Topografía y Cartografía, 2016 (1): 84-87.
- [20] Wang Xiang, Huang Jian. Principio y proceso de producción del mapa ortofotográfico digital [J]. Topografía y cartografía modernas.2000, 23(1): 33-35.
- [21] Ruan Jun, Tao Xiongjun, Wei Xinko, et al. Modelado tridimensional y análisis de obstrucción de árboles en líneas de transmisión basado en el punto LIDAR de un UAV de ala fija Modelado 3D basado en datos en la nube y análisis de barreras de árboles de las líneas de transmisión eléctrica[J]. Construcción de Energía del Sur Southern Energy Construction,2019,6(1):114-118.
- [22] WANG Jinqiang, FANG Yuanmin, DENG Debiao. Alineación de puntos láser en 3D basada en puntos de control con el mismo nombre alineación de nubes[J]. Ciencia, Tecnología e Ingeniería, 2012(1):22-24+30.
- [23] YANG Feng, MIAO Zhixiu, LIN Chunfeng, et al. Combinación de vehículos aéreos no tripulados y escaneo láser 3D en tierra y técnicas de escaneo láser terrestre para obtener MDE y DOM de alta precisión[J]. Estudio de los ferrocarriles,2013,39(4): 27-29.
- [24] Yang Feng, Lin Zhixiu, Lin Chunfeng, et al. Combinación de la tecnología de escaneo láser 3D con vehículos aéreos no tripulados y terrestres para obtener MDE y DOM con precisión Kor [J]? Encuesta sobre los ferrocarriles, 2013 (4), 27-29.
- [25] Zhan-Yu Wei, Arrowsmith Ramon, Hong-Lin He, et al. Generación de datos de nubes de puntos de alta densidad y análisis de precisión basados en el método SfM[J]. Sismo Geology,2015,02:636-648
- [26] CHUNG D, LEE Y D S.Registration of multiple-range views using the reverse-calibration technique[J].Pattern Recognition,1988,31(4):457-464..
- [27] Li F, Liu YY, Li SUNGUI. Modelado 3D y análisis de precisión basado en la tecnología de fotogrametría de inclinación de UAV [J]. Jiangxi surveying and mapping, 2019, (03): 40-42.
- [28] Li L, Wang Shuangting, Wang Chunyang et al. Un nuevo marco de clasificación para nubes de puntos de fotogrametría de inclinación [J]. Información de teledetección. 2019, 34(06): 84-90.



OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA VECTORIAL A PARTIR DE DIVERSAS  
TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS TRIDIMENSIONALES

---

MEMORIA | 8 – bibliografía

- [29] Duan Zongen, Zhang Haisheng. Modelado 3D de bajo coste con fotografía de una sola lente inclinada [J]. Topografía urbana, 2019, (04).129-131.
- [30] Cao Shuang, Ma Jian, Ma Wen. Construcción de modelos 3D de edificios basados en la fotografía de inclinación de UAV de un solo objetivo[J]. GuilinRevista de la Universidad Politécnica, 2019, 39(03): 643-649.
- [31] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%98%E7%89%B9%E5%9B%BE>