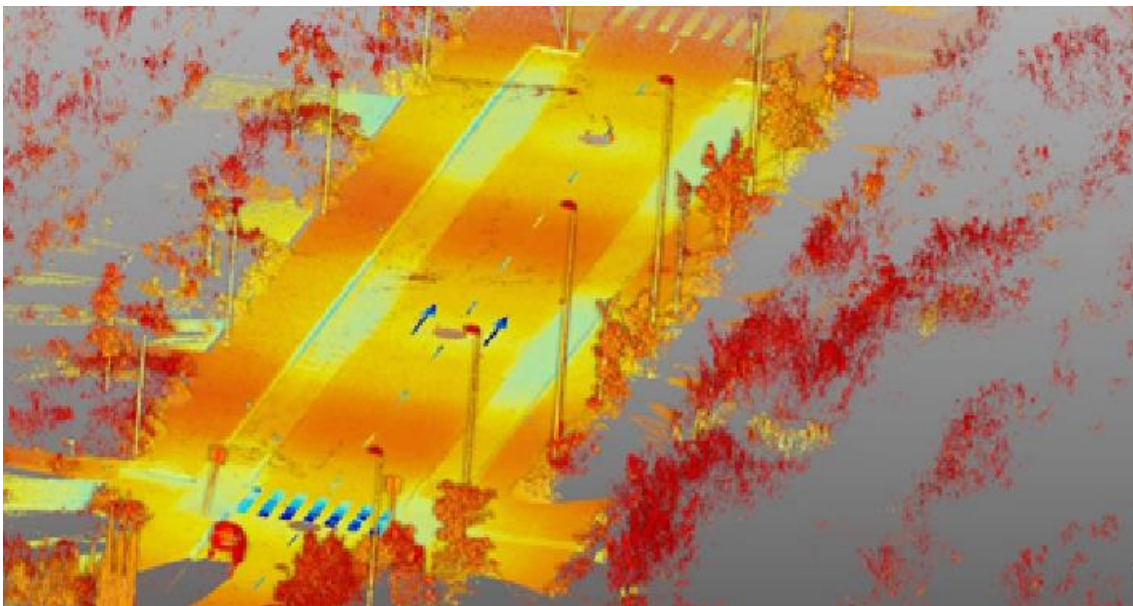


Metodologías terrestres para la obtención de datos tridimensionales masivos



Autor: Jaime Marin Arques

Tutor: Fernando Francisco Buchón Moragues

Curso académico: 2019-2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a mi tutor, Fernando Francisco Buchón Moragues, por su apoyo, consejos y sus conocimientos en la realización de este proyecto.

También cabe agradecer a todos el profesorado del Grado de ingeniería geomática y topografía por las enseñanzas que me han sido transmitidas, dándome así la capacidad de ser un profesional en el oficio.

A mi familia y novia por todo el apoyo económico y emocional que me permiten tener la posibilidad de alcanzar mis objetivos.

Y a mis compañeros de carrera, que han sido buenos amigos, en especial a Josep Salvador, Miguel Signes y Sergio Funes haciendo que tenga recuerdos maravillosos para toda la vida.

Resumen

En la actualidad, existen varias metodologías de obtención de datos tridimensionales masivos mediante metodologías terrestre de manera rápida precisa con un coste muy bajo, y con una gran amplitud de usos.

El objeto de este proyecto es concretamente la obtención de estos utilizando diferentes instrumentos como láser escáner, mapeo móvil y fotogrametría terrestre.

Para eso se realizará este trabajo, para exponer diferentes métodos de obtención de esta información y poder hacer una comparación de los resultados obtenidos de los diferentes métodos para ver si podemos obtener un modelo 3D con una buena precisión para un uso profesional, pudiendo así, ser capaces así de ahorrar en costes y en tiempo.

Abstract

At present, there are several methodologies for obtaining massive three-dimensional data using terrestrial methodologies in a fast and precise way with a very low cost, and with a wide range of uses.

The object of this project is to obtain these using different instruments such as laser scanning, mobile mapping and terrestrial photogrammetry.

For that this work will be carried out, to expose different methods of obtaining this information and to be able to make a comparison of the results obtained from the different methods to see if we can obtain a 3D model with good precision for professional use, thus being able to be thus able to save on costs and time.

Resum

En l'actualitat, hi ha diverses metodologies d'obtenció de dades tridimensionals massius mitjançant metodologies terrestre de manera ràpida precisa amb un cost molt baix, i amb una gran amplitud d'usos.

El objecte de aquest projecte és l'obtenció d'aquests utilitzant diferents instruments com làser escàner, mapatge mòbil i fotogrametria terrestre.

Per això es realitzarà aquest treball, per exposar diferents mètodes d'obtenció d'aquesta informació i poder fer una comparació dels resultats obtinguts dels diferents mètodes per veure si podem obtenir un model 3D amb una bona precisió per a un ús professional, podent així, ser capaços així d'estalviar en costos i en temps.

1. Índice

Agradecimientos	1
Resumen.....	2
Abstract	3
Resum.....	4
1. Índice	6
2. Índice de figuras	6
3. Objetivo.....	8
4. Localización geográfica	9
5. Conceptos previos	10
5.1. Fotogrametría	10
5.2. Sistemas de Mapeo Móvil	11
6. Instrumentación.....	15
6.1. GPS	15
6.2. Laser escáner.....	16
6.3. Cámara (móvil)	17
6.4. Cámara GoPro Hero 5	20
6.5. Complementos	22
7. Desarrollo	23
7.1 Procedimiento en campo	23
7.2 Procedimiento en gabinete.....	25
7.1 Trimble RealWorks	27
7.2 Agisoft PhotoScan Pro	37
8. Presupuesto	48
9. Conclusión	51
10. Bibliografía	52

2. Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica 1.....	9
Figura 2. Localización geográfica 2.....	9
Figura 3. Localización geográfica 3.....	9
Figura 4. Esquema clasificación fotogrametría	10
Figura 5. Dispositivo GPS.....	11
Figura 6. Cámara Doceda 2360	11
Figura 7. Laser escáner FARO	12
Figura 8. Sistemas de mapeo móvil, 1) Leica Pegasus Two, 2) Faro Road-Scanner, 3) Topcon IP-S3 HD1, 4) Trimble MX8, 5) Leica Pegasus: Back pack.....	13
Figura 9. Tabla especificaciones técnicas MMS	13
Figura 10. Leica GPS 1200 + Series.....	15
Figura 11. Tabla especificaciones técnicas GPS	15
Figura 12. Láser escáner Trimble TX-6	16
Figura 13. Tabla de especificaciones niveles laser escáner.....	16
Figura 14. Cámara móvil iPhone 11	17
Figura 15. Especificaciones técnicas de la cámara iPhone 11.....	19
Figura 16. Cámara GoPro Hero 5.....	20
Figura 17. Dimensiones cámara GoPro Hero 5	20
Figura 18. Especificaciones de la cámara GoPro Hero 5	21
Figura 19. Diana blanco y negro.....	22
Figura 20. Objetivo esférico	22
Figura 21. Croquis de campo.....	23
Figura 22. Foto diana sobre punto de control	23
Figura 23. Foto jalón GPS sobre punto de control	23
Figura 24. Estacionamiento Láser Escáner	24
Figura 25. Pasada con cámara sujeta a mástil	24
Figura 26. Mapa conceptual desarrollo proyecto	25
Figura 27. Escaneos en formato. txf.....	26
Figura 28. Fotografías tomadas con iPhone 11.....	26
Figura 29. Fotografías tomadas con GoPro Hero 5	26
Figura 30. Coordenadas obtenidas con GPS	26
Figura 31. Extracción de puntos.....	27
Figura 32. Nube sin registrar	27
Figura 33. Autoextracción de objetivos	28

Figura 34. Ajuste de objetivos.....	29
Figura 35. Todo registrado	29
Figura 36. Georreferenciación 1.....	34
Figura 37. Georreferenciación 2.....	34
Figura 38. Georreferenciación 3.....	35
Figura 39. Situación de las estaciones y los puntos de apoyo	35
Figura 40. Detalle de la nube de puntos	36
Figura 41. Detalle de la nube de puntos 2	36
Figura 42. Nube de puntos dispersa.....	37
Figura 43. Nube de puntos densa	38
Figura 44. Nube de puntos densa detalle	38
Figura 45. Eliminación de ruido.....	39
Figura 46. Orientación absoluta sobre fotograma	39
Figura 47. Orientación absoluta	40
Figura 48. Parámetros de generación de la malla.....	40
Figura 49. Malla triangular	41
Figura 50. Detalle de malla con color.....	41
Figura 51. Malla con color.....	41
Figura 52. Posiciones de cámaras y solapamientos de imágenes.....	42
Figura 53. Tabla de cámara	42
Figura 54. Gráfico de residuos para cámara	43
Figura 55. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.....	43
Figura 56. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores	44
Figura 57. EMC de puntos de apoyo y puntos de apoyo.....	44
Figura 58. Modelo digital de elevaciones.....	45
Figura 59. Tabla salarial del convenio laboral de oficinas y despachos	
Figura 1. Localización geográfica 1.....	48
Figura 60. Tabla de coste por día	49
Figura 61. Tabla Presupuesto total	49

3. Objetivo

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grados (TFG) consiste en obtención de datos tridimensionales masivos mediante metodologías terrestres utilizando técnicas tanto de fotogrametría como de topografía. En concreto, el modelado de un tramo de carretera correspondiente a la Calle Catedrático José Beltrán, Paterna (Valencia).

Se realizará un modelo 3D gracias al escaneo realizado con un láser escáner con coordenadas precisas obtenidas mediante un GPS, para obtener mediciones y análisis de la carretera a estudiar (rasante, bombeo, retranqueo, etc.), como también se utilizarán técnicas de fotogrametría.

Para ello se procederá a hacer unos escaneos con el Laser Escáner Trimble TX-6, para la realización de este escaneo se han colocado a lo largo del tramo de carretera unas dianas esféricas y otras cuadradas para el apoyo de este. Estas dianas han sido debidamente georreferenciadas mediante un equipo GNSS modelo Leica GPS 1200 + Series.

También se procederá a hacer un modelado mediante técnicas de fotogrametría utilizando los mismos puntos de apoyo que para el proceso anterior y realizando varias pasadas, haciendo fotos cada cierta distancia para cubrir completamente el tramo a estudiar.

Finalmente, se va a concluir con los resultados obtenidos mediante estas técnicas topográficas de obtención datos tridimensionales masivos (GPS, Láser escáner y cámara) y los reportes de estos, con la tecnología de sistemas de obtención de datos tridimensionales con dispositivos móviles (Mobile Mapping System).

4. Localización geográfica

La localización geográfica elegida para este proyecto se encuentra en el límite del municipio de Paterna, Valencia. “El término municipal de Paterna ocupa una extensión de 35,85 km² y está situado a una altura media de 70 msnm. Limita con Benimàmet (Valencia), Bétera, Burjassot, Quart de Poblet, Godella, La Eliana, Manises, Ribarroja del Turia y San Antonio de Benagéber” (Wikipedia).

La carretera a estudio corresponde a la Calle Catedrático José Beltrán, muy cerca del límite municipal próximo a Burjassot.



Figura 1. Localización geográfica 1

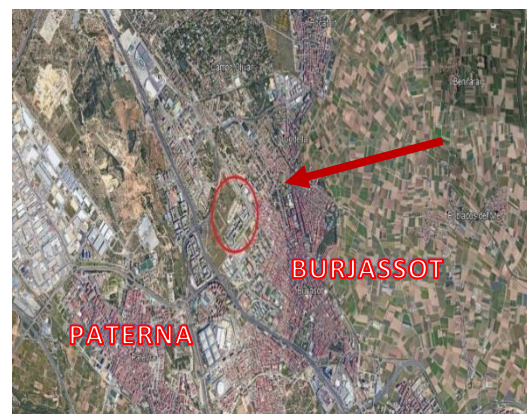


Figura 2. Localización geográfica 2



Figura 3. Localización geográfica 3

5. Conceptos previos

5.1. Fotogrametría

La fotogrametría es la ciencia o técnica que nos permite crear modelos 3D a partir de múltiples fotografías 2D, con el objetivo de dimensionar y posicionar objetos que representan, por medio de medidas realizadas a partir de la intersección de 2 o más imágenes.

La definición más actual es la dada por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS): *"es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos"*. En cualquier caso, se puede definir que la Fotogrametría es la ciencia que permite, a partir de fotografías, obtener las medidas del objeto fotografiado.

La fotogrametría es necesaria para la generación de una base de datos cartográfica, aunque principalmente se usaba para el levantamiento de fachadas y edificios mediante el uso de fotografías terrestres, poco a poco se ha ido utilizando cada vez más en el ámbito de fotografías aéreas para el levantamiento de cartografía base.

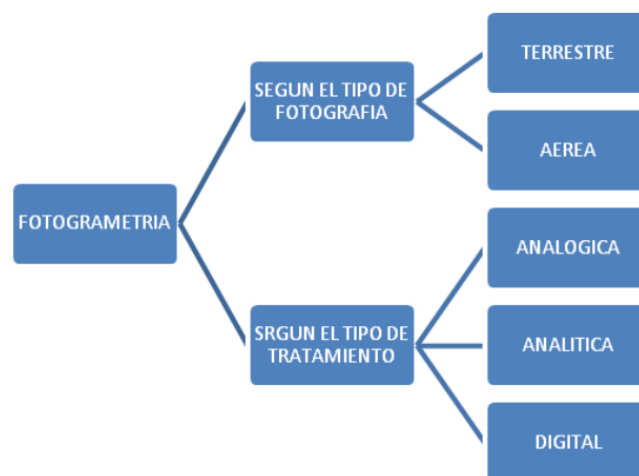


Figura 4. Esquema clasificación fotogrametría

La fotogrametría está clasificada según el tipo de fotografía y según el tipo de tratamiento de estas fotos.

Este proyecto trata sobre la fotogrametría terrestre así que nos vamos a centrar en la fotogrametría terrestre, esta modalidad utiliza fotografías terrestres; es decir tomadas desde un soporte, donde la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos.

5.2. Sistemas de Mapeo Móvil

Los MMS o sistemas de mapeo móvil (Mobile Mapping System) surgen a raíz de la necesidad de realizar captura de datos cartográficos masivos en infraestructuras o fachadas agilizando estos procesos debido a la movilidad que estos sistemas nos ofrecen. Estos están compuestos por dispositivos de (I) georreferenciación, (II) dispositivos de imágenes digitales y (III) dispositivos de escaneo laser.

(I) Dispositivos de georeferenciación

En la actualidad para determinar la posición absoluta del vehículo y sus cámaras y escáneres con el movimiento se utilizan los receptores GPS o GNSS, que pueden generar datos posicionales con una gran precisión. Estos receptores GPS funcionan en un modo diferencial respecto a una base adecuada para ello o con un servicio global de DGPS. También existen sistemas que utilizan un segundo



Figura 5. Dispositivo GPS

receptor GPS colocado a una cierta distancia (línea base) con la que diferenciando la posición que ofrece este receptor secundario las observaciones de fase proporcionan unas mediciones muy precisas del rumbo del vehículo. Aun así, puesto que estos vehículos suelen circular en áreas urbanas con edificios altos la señal de los satélites GPS o GNSS puede ser muy débil o inexistente por lo que se suele utilizar una unidad de medida inercial o un odómetro para proporcionar información adicional.

(II) Dispositivos de imágenes digitales

Debido a la velocidad de movimiento de los vehículos de mapeo y la proximidad de los objetos objetivo, el uso de múltiples conjuntos de cámaras para proporcionar imágenes panorámicas de 360 grados en el plano horizontal es muy común. Sin embargo, se siguen utilizando sistemas que utilizan cámaras individuales, estas son cámaras de video digital que utilizan CMOS de formato muy pequeño, pero, como ya hemos dicho, el uso de múltiples cámaras ahora es muy comunes en dispositivos móviles mapeo de vehículos.

Uno de los sistemas más utilizados se trata del sistema Doceda 2360, el cual debe su nombre a la figura geométrica utilizada en geodesia el cual se trata de una figura de 12 caras en el que cada cara tiene una forma de pentágono aproximándose así a una esfera. Este sistema utiliza 11 cámaras con una cámara de formato pequeño generando un cuadro 640 x 480 píxeles de tamaño que al fusionar el resultado de cada una de las imágenes forman una imagen de 2400 x 1200 píxeles.



Figura 6. Cámara Doceda 2360

(III) Dispositivos de escaneo laser

Los numerosos establecidos tipos de escáneres láser 3D montados en trípode que son ampliamente utilizados que realizan escaneo láser terrestre, incluidos los escáneres láser panorámicos y de cámara; el uso de la técnica de medición de fase para distancias cortas; y la necesidad de medir ángulos horizontales y verticales, ha tenido poco papel en los sistemas de mapeo móvil. De hecho, los escáneres láser 3D que están disponibles en la actualidad para trabajos de topografía solo se pueden usar para mediciones estáticas en su modo operativo 3D nativo, incluso cuando están montados en un vehículo, ya que la operación de escaneo en una sola ubicación fija a menudo toma varios minutos. Sin embargo, un número muy pequeño de escáneres láser 3D de las compañías alemanas Faro y Z + F han sido operados en vehículos de mapeo móvil, pero con sus movimientos angulares horizontales (acimutales) desactivados, lo que los convierte efectivamente en escáneres láser 2D.



Figura 7. Laser escáner FARO

De hecho, el énfasis principal en el mapeo móvil está en el uso de escáneres láser 2D que pueden adquirir rápidamente perfiles de rango o elevación que comprenden los valores de distancia y angular medidos dentro de un solo plano 2D. Estas mediciones de perfil se llevan a cabo utilizando el escáner láser para medir las distancias y ángulos requeridos simultáneamente dentro de una serie de planos paralelos sucesivos que se cruzan con las superficies de la carretera, pavimentos, "mobiliario urbano", edificios y vegetación que se encuentran adyacentes a las carreteras o calles a lo largo que los vehículos de mapeo móviles están

siendo conducidos. De hecho, en muchos aspectos, los escáneres láser 2D que se montan en vehículos de mapeo móviles son, en principio, bastante similares a los escáneres láser que se utilizan en el escaneo láser en el aire, excepto que generalmente se operan a distancias de unas pocas decenas de metros, en lugar de los varios cientos o miles de metros que se encuentran en el escaneo láser en el aire. Al igual que con el escaneo láser en el aire, la tercera dimensión de los datos de perfil capturados se está creando mediante el movimiento hacia adelante de la plataforma vehicular en la que está montado el escáner láser 2D. La ubicación de cada nuevo perfil de rango se mide continuamente (y con mucha precisión) utilizando un conjunto integrado de dispositivos de posicionamiento, que comprende un receptor GPS o GNSS, una IMU; y un odómetro o dispositivo DMI, a medida que el vehículo avanza.

A continuación, comentaremos los MMS que existen a nivel comercial como el Leica Pegasus Two, Road Scanner C Faro, el IP-S3 de Topcon y el Mx8 de Trimble en cuanto a los que van en vehículo y Leica Pegasus: Back pack a pie.



Figura 8. Sistemas de mapeo móvil, 1) Leica Pegasus Two, 2) Faro Road-Scanner, 3) Topcon IP-S3 HD1, 4) Trimble MX8, 5) Leica Pegasus: Back pack

Empresa	Modelo	Descripción
Leica, Suiza	Pegasus Two	Escáner láser 8 cámaras CCD GNSS IMU DMI (opcional)
Faro, EE. UU.	Road-Scanner	8 cámaras GNSS Escáner láser FARO PHOTON 120 IMU
Topcon, Japón	IPS-3 HD1	Escáner láser Cámara esférica CCD Receptor GNSS IMU DMI
Trimble, EE.UU.	MX8	2 escáneres láser (VQ-50/VQ-450) 2 cámaras + 1 opcional panorámica GNSS (POS LV 420 POS LV 520) DMI
Leica, Suiza	Pegasus: Back pack	5 cámaras CCD Escáner Dual Velodyne VLP-16 IMU Sensor GNSS

Figura 9. Tabla especificaciones técnicas MMS

1. Leica Pegasus Two

El Pegasus Two de Leica, está compuesto de 8 cámaras de 5.5 megapíxeles, un láser escáner P40 de hasta 1 000 000 puntos/s, sensor GNSS que incluye triple banda –L-Band, SBAS y QZSS– para las constelaciones GPS, GLONASS, Gaileo y BeiDou, soporte para antenas simple y dual, entrada de sensor de rueda, grado táctico sin restricciones ITAR, IMU FOG de bajo ruido.

También de manera opcional se puede solicitar un sensor de rueda 1000 pulsaciones por rotación, IP 67, sello de tiempo integrado para los datos del sensor de rueda (mediante el controlador GNSS).

2. Faro Road-Scanner

El sistema incluye dos FARO Focus3D Laser Scanners, una cámara esférica de 360° Ladybug5 de 30 megapíxeles, un sistema de navegación inercial Applanix y software de Siteco. La flexibilidad para separar los escáneres láser Focus3D y usarlos de manera independiente como escáneres láser autónomos, hace que esta solución se diferencie de los sistemas tradicionales de mapeo móvil y mejora ampliamente la rentabilidad de la inversión para los clientes.

3. Topcon IPS-3 HD1

6 Camaras que dan una imagen panoramica de alta resolucion 30 megapixel, escaner laser de 700 000 puntos por segundo, frecuencia dual sensor GNSS que establece posición geoespacial y sistema inercial IMU conectado a la rueda para odometria.

4. Trimble MX8

Escáneres láser duales móviles de 360 grados de rendimiento que recogen más de 1 000 000 de puntos por segundo, cámaras digitales de alta frecuencia con orientaciones establecidas que capturan imágenes panorámicas y de superficie de alta resolución, sistema de posicionamiento y orientación POS LV que ofrece actualizaciones de posición hasta 200Hz.

5. Leica Pegasus: Back pack

Pegasus Back pack de Leica, compuesto por cinco cámaras de 5.5 megapíxeles, dos láseres escáner Velodyne VLP-16 de 60 000 puntos por segundo, un sensor GNSS/IMU/SPAN con banda triple, para las constelaciones GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, y la nueva tecnología SLAM (del inglés Simultaneous Localization and Mapping), que permite orientar el MMS, cuando se pierde la señal, con el sistema GNSS/IMU.

6. Instrumentación

6.1. GPS

El GPS que se ha utilizado se trata del modelo Leica GPS 1200 + Series, que pertenece al laboratorio de instrumentos de la Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad Politécnica de Valencia.

Características a destacar

Receptores GPS1200	GX1230 GG/ATX1230 GG	GX1230	GX1220 (GG)	GX1210
Tecnología GNSS	SmartTrack+	SmartTrack	SmartTrack(+)	SmartTrack
Tipo	Doble frecuencia	Doble frecuencia	Doble frecuencia	Monofrecuencia
Canales	72 canales 14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS 12 L1 + 12 L2 GLONASS	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS 12 L1 + 12 L2 GLONASS → GX1220 GG (con opción DGPS)	14 L1 GPS 2 SBAS (con opción DGPS)
RTK	SmartCheck+	SmartCheck	No	No
Indicadores de estado	3 indicadores LED: para alimentación, seguimiento, memoria			
Receptores GPS1200	GX1230 GG/GX1230/GX1220 GG/GX1220	GX1210	ATX1230 GG	
Puertos	1 puerto de alimentación, 3 puertos seriales, 1 puerto de controlador, 1 puerto de antena		1 puerto alimentación/controlador, Puerto de tecnología inalámbrica Bluetooth*	
Tensión de alimentación, Nominal	12 VCC			Nominal 12 VCC
Consumo	receptor 4,6 W + controlador + antena			1,8 W
Entradas y PPS	Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada	Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada		
Antena estándar	SmartTrack+ AX1202 GG	SmartTrack AX1201	SmartTrack+ ATX1230 GG	
Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado	

Figura 11. Tabla especificaciones técnicas GPS



Figura 10. Leica GPS 1200 + Series

Receptores GPS1200 GX1230 (GG)/ATX1230 GG

Receptor universal para todas las aplicaciones.

14 L1 + 14 L2
(GPS)

Soporta L2C

12 L1 + 12 L2 (GLONASS)GX1230
GG/ATX1230 GG

2 SBAS

Registro de datos

RTK y DGPS 100% disponible

Función Móvil o Referencia GX1220
(GG)/GX1210

14 L1 + 14 L2 (GPS)

GX1210: sólo 14 L1 (GPS)

Soporta L2C

GX1220 (GG)

12 L1 + 12 L2 (GLONASS)GX1220 GG

2 SBAS

6.2. Laser escáner

Para la realización de este proyecto, se ha utilizado el láser escáner Trimble modelo TX-6 perteneciente al Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad Politécnica de Valencia.

Este equipo, respecto al laser, contiene un campo de visión de 360° X 317° con una precisión angular de 80 microradianes. La velocidad media es de 1,2 MHz, lo que quiere decir unos 1.200.000 puntos/segundo. Y para la imagen contiene una cámara HDR de 10 megapíxeles con la cual obtiene imágenes a color.

Para la utilización de este laser escáner debemos tener una tarjeta de memoria SD o un pen drive el cual servirá para exportar nuestro proyecto.

Tenemos que tener en cuenta que este dispositivo tiene varios niveles de precisión, con los que podremos elegir el que se ajuste más a nuestro proyecto.

Estos niveles tienen las siguientes características:

Parámetros de escaneo	Vista preliminar	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Alcance Máx. ¹	80/120 m	80/120 m	80/120 m	80/120 m
Duración del escaneo (minutos) ³	02:00	03:00	05:00	19:00
Espaciamiento entre puntos a 10 m	15,1 mm	—	—	—
Espaciamiento entre puntos a 30 m	—	22,6 mm	11,3 mm	5,7 mm
Espaciamiento entre puntos a 300 m	—	—	—	—
Número de puntos	8,7 Mpts	34 Mpts	138 Mpts	555 Mpts

Figura 13. Tabla de especificaciones niveles laser escáner

Cabe mencionar que el alcance de este laser escáner es de 80m para que mantenga un buen nivel de precisión. El Trimble TX6 está homologado con la norma IP54 y cuenta con un espejo protegido, lo cual le permite capturar datos en entornos difíciles y bajo la luz brillante del sol. Y con su láser de la clase 1 no peligroso para los ojos puede utilizarse de forma segura en lugares públicos concurridos.

Respecto a las dimensiones el Trimble TX6 tiene 335 mm de ancho x 386 mm de alto x 242 mm de profundidad pesa 11 kilos y está alimentado por baterías de un tiempo de escaneo por batería de 2 horas.



Figura 12. Láser escáner Trimble TX-6

6.3. Cámara (móvil)

Para este proyecto debido a que nos queremos centrar en la comparación de las diferentes metodologías y los costes de estos, vamos a emplear la cámara de un móvil, en concreto el móvil de la marca Apple, modelo iPhone 11.

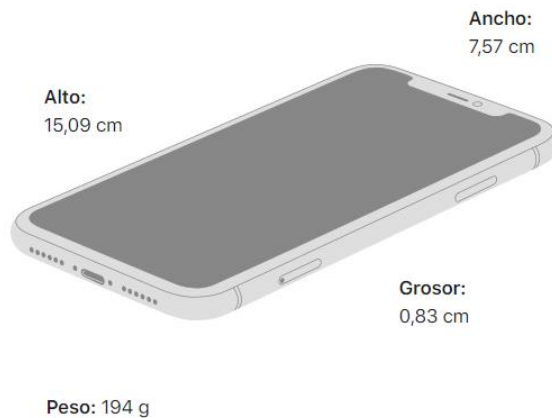


Figura 14. Cámara móvil iPhone 11

Cuyas especificaciones técnicas mostramos a continuación:

Capacidad¹	64 GB
	128 GB
	256 GB

Dimensiones y peso²



Pantalla



Liquid Retina HD
Pantalla LCD Multi-Touch de 6,1 pulgadas
(en diagonal) con tecnología IPS
Resolución de 1.792 por 828 píxeles
a 326 p/p
Contraste de 1.400:1 (típico)
Pantalla True Tone
Gama cromática amplia (P3)
Respuesta háptica
Brillo máximo de 625 nits (típico)
Cubierta oleófuga antihuellas
Compatible con la presentación simultánea
de múltiples idiomas y grupos de caracteres

La pantalla del iPhone 11 tiene esquinas redondeadas que rematan el diseño curvo del teléfono, y esas esquinas se encuentran dentro de un rectángulo estándar. Si se mide el rectángulo estándar, la pantalla tiene 6,06 pulgadas en diagonal (la superficie real de visión es inferior).

Resistencia a las salpicaduras, el agua y el polvo³

Calificación IP68 según la norma IEC 60529 (hasta 2 metros de profundidad durante un máximo de 30 minutos)

Cámara

Cámara dual de 12 Mpx con gran angular y ultra gran angular
Ultra gran angular: apertura de $f/2,4$ y campo de visión de 120°
Gran angular: apertura de $f/1,8$
Zoom óptico de alejamiento x2 y zoom digital hasta x5
Modo Retrato con efecto bokeh avanzado y Control de Profundidad
Iluminación de Retratos con seis efectos (Luz Natural, Luz de Estudio, Luz de Contorno, Luz de Escenario, Luz de Escenario Mono y Luz en Clave Alta Mono)
Estabilización óptica de imagen (gran angular)
Lente de cinco elementos (ultra gran angular) y lente de seis elementos (gran angular)
Flash True Tone más luminoso con sincronización lenta
Fotos panorámicas (hasta 63 Mpx)
Cubierta de la lente de cristal de zafiro
100 % Focus Pixels (gran angular)
Modo Noche
Ajustes automáticos
HDR Inteligente de última generación para fotos
Gama cromática amplia para fotos y Live Photos
Corrección de ojos rojos avanzada
Estabilización automática de imagen
Modo ráfaga
Geoetiquetado de fotos
Captura de imagen en formato HEIF y JPEG

Grabación de vídeo

Grabación de vídeo en 4K a 24, 30 o 60 f/s
Grabación de vídeo en 1080p HD a 30 o 60 f/s
Grabación de vídeo en 720p HD a 30 f/s
Rango dinámico ampliado para vídeo hasta 60 f/s
Estabilización óptica de imagen para vídeo (gran angular)
Zoom óptico de alejamiento x2 y zoom digital hasta x3
Zoom de audio
Flash True Tone más luminoso
Vídeo QuickTake con seguimiento de sujetos
Vídeo a cámara lenta en 1080p a 120 o 240 f/s
Vídeo en time-lapse con estabilización
Estabilización de vídeo con calidad de cine (4K, 1080p y 720p)
Enfoque automático continuo
Permite sacar fotos de 8 Mpx mientras grabas vídeo en 4K
Reproducción con zoom
Grabación de vídeo en formato HEVC y H.264
Grabación en estéreo

Cámara TrueDepth

Cámara de 12 Mpx
Apertura de $f/2,2$
Modo Retrato con efecto bokeh avanzado y Control de Profundidad
Iluminación de Retratos con seis efectos (Luz Natural, Luz de Estudio, Luz de Contorno, Luz de Escenario, Luz de Escenario Mono y Luz en Clave Alta Mono)
Animoji y Memoji
Grabación de vídeo en 4K a 24, 30 o 60 f/s
Grabación de vídeo en 1080p HD a 30 o 60 f/s
Vídeo a cámara lenta en 1080p a 120 f/s
HDR Inteligente de última generación para fotos
Rango dinámico ampliado para vídeo a 30 f/s
Estabilización de vídeo con calidad de cine (4K, 1080p y 720p)
Gama cromática amplia para fotos y Live Photos
Retina Flash
Estabilización automática de imagen

Batería y alimentación⁹

Hasta 1 hora más de autonomía que en el iPhone Xr

Reproducción de vídeo:
Hasta 17 horas

Reproducción de vídeo (en streaming):
Hasta 10 horas

Reproducción de audio:
Hasta 65 horas

Carga rápida:
Hasta un 50 % de carga en 30 minutos¹⁰ con un adaptador de 18 W o superior (se vende por separado)

Batería recargable integrada de iones de litio

Carga inalámbrica (funciona con cargadores Qi¹¹)

Carga por conexión USB con un ordenador o adaptador de corriente

Figura 15. Especificaciones técnicas de la cámara iPhone 11

6.4. Cámara GoPro Hero 5

Ya que este proyecto se trata de una investigación de diferentes metodologías de obtención de datos terrestres masivos intentaremos realizar fotos con diferentes cámaras para evaluar cual sería el método idóneo.



Figura 16. Cámara GoPro Hero 5

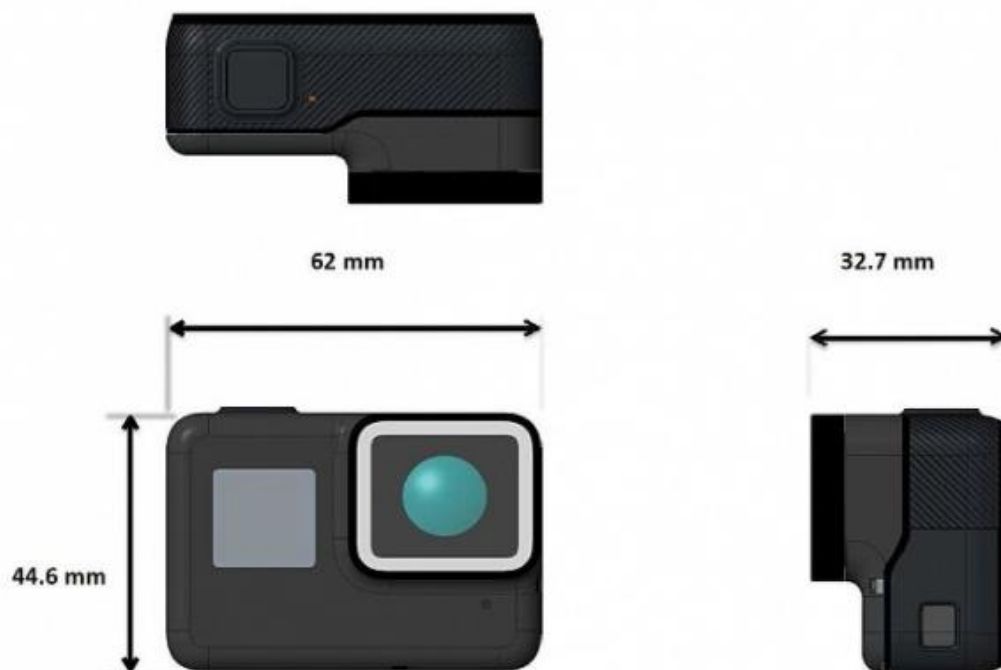


Figura 17. Dimensiones cámara GoPro Hero 5

Peso	118g (4.2 oz) con batería; 90g (3.2 oz) sin la batería
Dimensiones	62 mm x 44.6 mm x 33.7 mm
Batería	Removible Li-ion o Li-Polymer Capacidad: 1220mAh, 3.85V
Lente	Lente asferico de 6 elementos, todo de vidrio
Puertos	USB Tipo C, HDMI
Almacenamiento	Tarjeta MicroSD minimo de Clase 10 o UHS-1 y con espacio de hasta 64gb
Audio	Microfono Interno Mono. Compresion AAC y control automatico de ganancia
LCD	Interfaz Tactil
Conectividad	WiFi, Bluetooth 4.1 + BLE

En cuanto a las especificaciones técnicas de la cámara tenemos

Sensor	Sony 12MPx
Chipset	Ambarella A9SE
Ángulo lente	170°
Dimensiones	62 x 44,6 x 33,7 mm
Peso	117 gramos
Batería	1220 mAh
Vídeo	4K a 30fps nativo 1080p a 120fps
Otros	Pantalla táctil 2" WiFi Bluetooth Sumergible 10m

Figura 18. Especificaciones de la cámara GoPro Hero 5

6.5. Complementos

Objetivos blanco y negro

Estos objetivos son de elaboración propia por el Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría, en concreto, por el profesor Fernando Francisco Buchón Moragues. Las dimensiones de este objetivo son 15,5cm de altura X 35 cm de ancho en la caja, y respecto al objetivo blanco y negro son de 15 cm X 15 cm.



Figura 19. Diana blanco y negro

Cabe destacar que la distancia desde la marca del suelo hasta el centro son 0,077 m, distancia a tener en cuenta en el proceso de georreferenciación.

Objetivos esféricos

Estas esferas son muy útiles a la hora de facilitar la referenciación entre los escaneos facilitando la unión entre los escaneos, mejorando así la precisión de la nube de puntos.



Figura 20. Objetivo esférico

En este proyecto se han utilizado las esferas de la marca Trimble con un diámetro de 10mm.

7. Desarrollo

7.1 Procedimiento en campo

Para empezar a desarrollar este proyecto, procedemos a realizar un estudio de la zona a estudio, eligiendo las posiciones de los estacionamientos y de los puntos de apoyo.



Figura 21. Croquis de campo

A continuación, se empezó la toma de datos dándole coordenadas a los puntos de apoyo con el receptor GNSS. Estos puntos nos servirán para dotar de coordenadas a las nubes de puntos que sacaremos más adelante.



Figura 22. Foto diana sobre punto de control



Figura 23. Foto jalón GPS sobre punto de control

Una vez dada las coordenadas a los puntos de apoyo procedimos a la realización de los escaneos, para nuestro proyecto decidimos hacer 3 estacionamientos a lo largo de la carretera. Para los escaneos colocamos 6 objetivos esféricos además de las dianas cuadradas de 150mm de lado para tener puntos de referencia a la hora de registro. El nivel de escaneos que utilizamos es el 2 con una duracion de 5 minutos por escaneo con imagen HDR.



Figura 24. Estacionamiento Láser Escáner

Finalmente se procede a hacer las fotos, para ello hemos realizado 3 pasadas con la camara del movil (una en el eje de la calzada, una al lado izquierdo de la calzada y otra en el lado derecho de la calzada) en los que se ha tomado 100 fotos por pasada, y otra pasada con la camara GoPro Hero 5, para ello se ha colocado la cámara a un mástil de 3 metros con una inclinación de 45° para un mayor cubrimiento del terreno, tomando una foto cada segundo.



Figura 25. Pasada con cámara sujeta a mástil

Debido a la situación pandémica con el COVID-19 se ha tenido que hacer una selección reducida de las fotos a utilizar, ya que el equipo del que se dispone daba bastantes problemas con el procesado de estas, por lo que al final se ha decidido trabajar con 65 fotos.

7.2 Procedimiento en gabinete

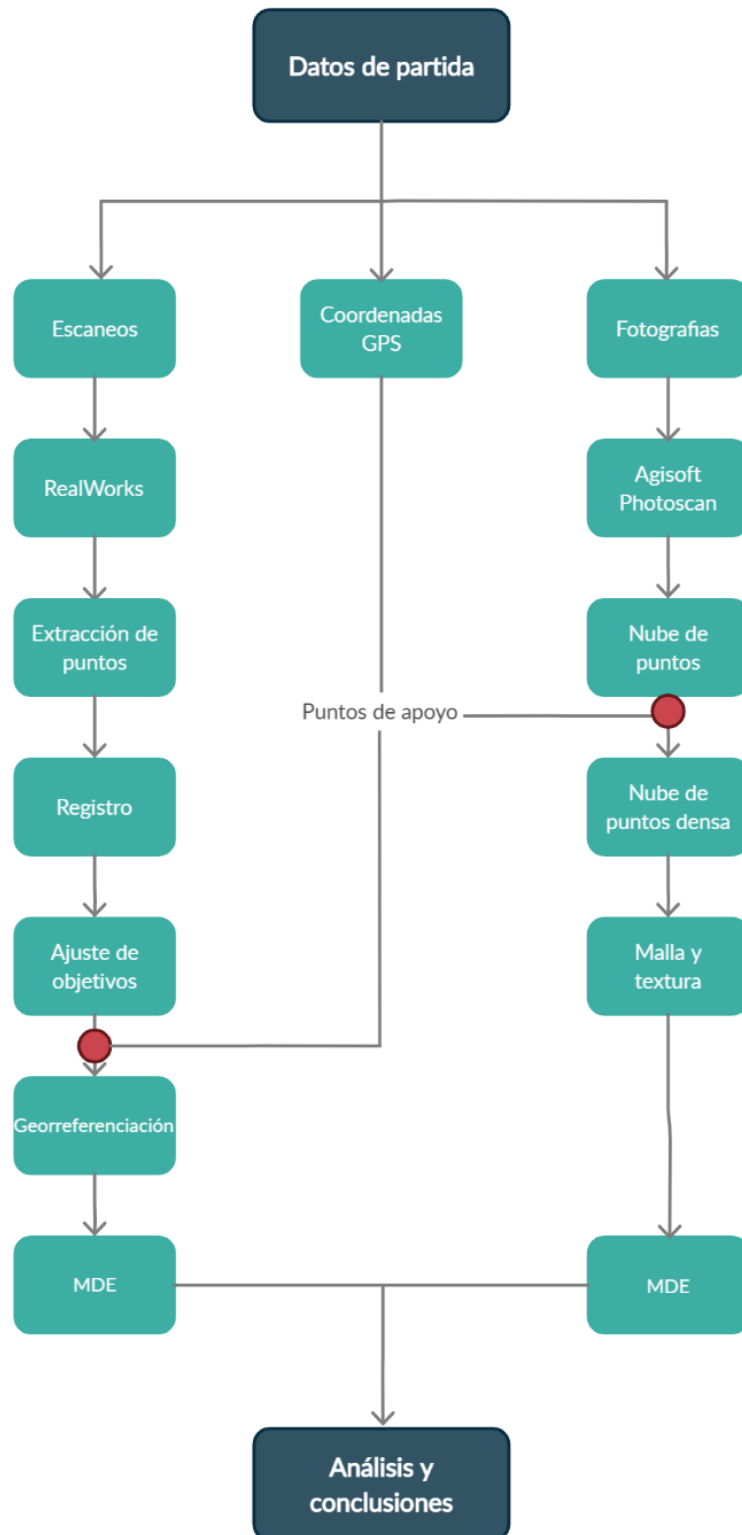


Figura 26. Mapa conceptual desarrollo proyecto

Una vez obtenidos los datos de partida tenemos:

- 3 escaneos en formato .tzh

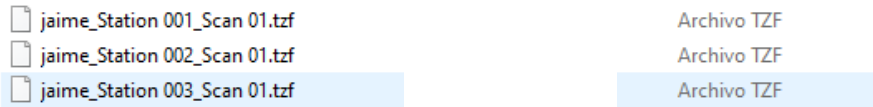


Figura 27. Escaneos en formato. tzh

- 100 fotos tomadas con cámara móvil por pasada un total de 300 fotos formato .jpg

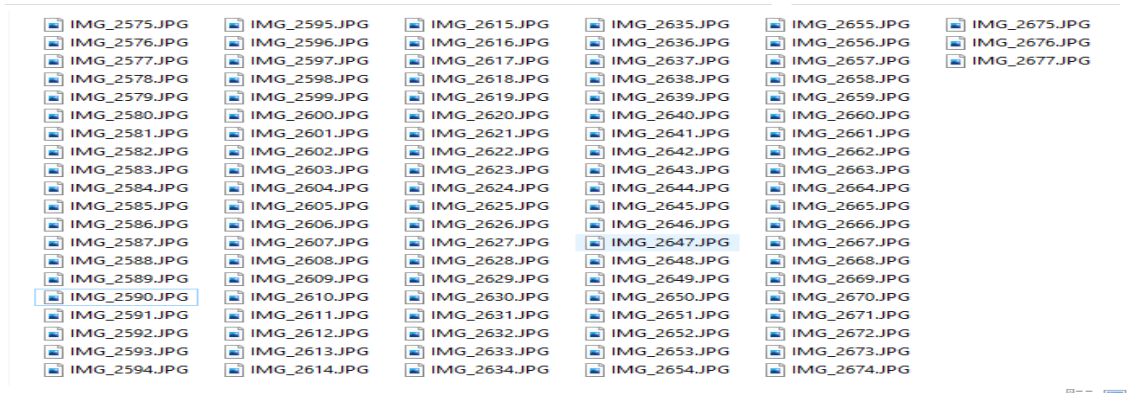


Figura 28. Fotografías tomadas con iPhone 11

- 65 fotos obtenidas con la cámara GoPro Hero 5 formato .jpg

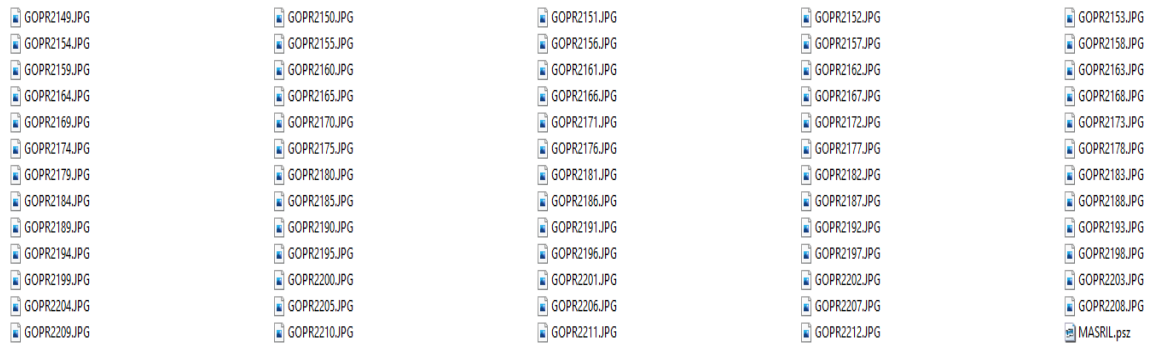


Figura 29. Fotografías tomadas con GoPro Hero 5

- Coordenadas obtenidas con GPS

	X	Y	Z
9001	721341,770	4377285,640	49,694
9002	721355,080	4377323,301	49,900
9003	721377,135	4377336,739	49,777

Figura 30. Coordenadas obtenidas con GPS

7.1 Trimble RealWorks

El primer paso a seguir es importar los ficheros del láser escáner al programa que vamos a utilizar en este caso se va a utilizar el Trimble Real Works, en el cual se va a importar los 3 escaneos.

El tipo de formato de archivo que se va a utilizar es el Trimble Real Works que trabaja con archivos .rwi, .tzf, .tcf aunque en el caso de trabajar con otro software de otra compañía dichos formatos pueden cambiar.

Una vez en el Real Works le damos a “importar y registrar”, tendremos que crear un nuevo proyecto y darle nombre, y creamos un grupo nuevo, una vez hecho esto seleccionamos los archivos de nuestro proyecto con “seleccionar archivos” para elegir el tipo de archivo que queramos importar a continuación seleccionamos las características del láser que queramos.

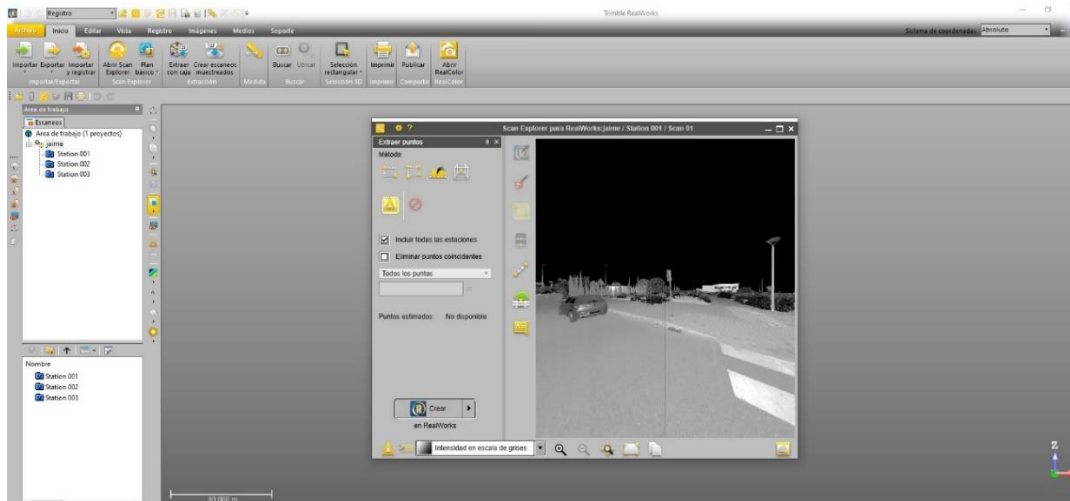


Figura 31. Extracción de puntos

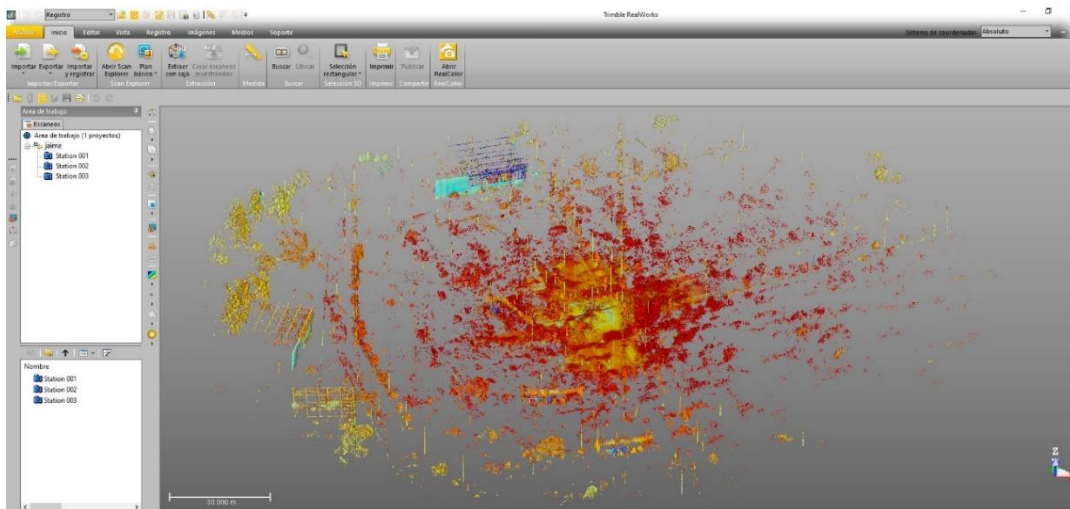


Figura 32. Nube sin registrar

Lo siguiente, es elegir el método de muestreo en las opciones de la extracción, para este caso se elige el método de “generar un escaneo de vista previa” que generaría 2 millones de puntos por escáner, y a continuación, el método de “extracción automática de objetivos y registro” seleccionando los tipos de objetivos que hemos utilizado, en nuestro caso los objetivos esféricos de 0.100m de diámetro y objetivos blanco y negro. Esto nos dará una nube de puntos ya registrada.

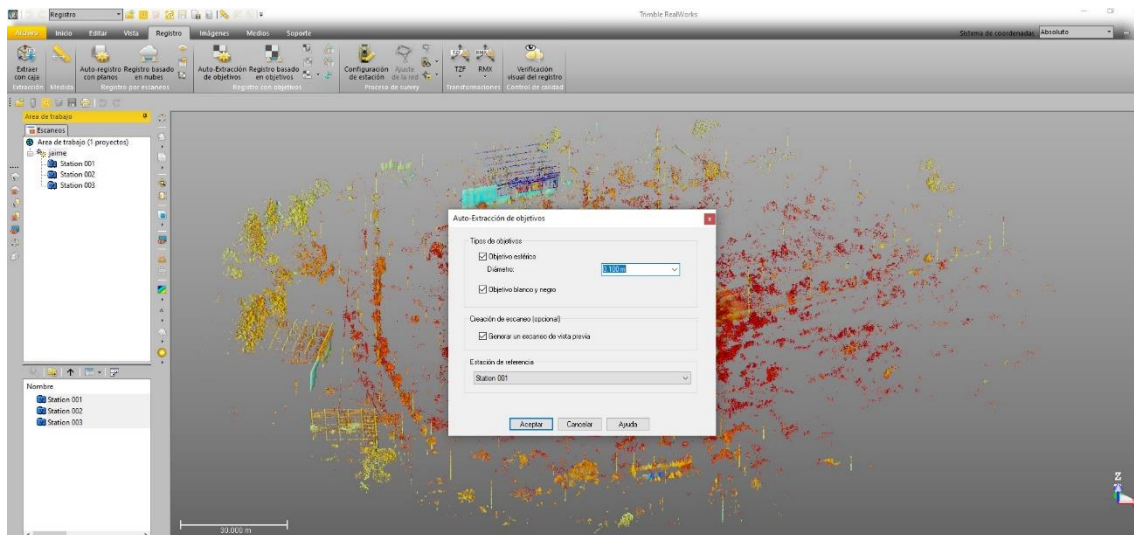


Figura 33. Autoextracción de objetivos

El registro que vamos a utilizar será manual por objetivos, normalmente cuando usamos objetivos el proceso lo hacemos de forma automática y cuando termina se abre una nueva herramienta que es “registro manual de objetivos” donde podremos editar los mismos, eliminándolos o creando nuevos donde no los haya encontrado, de esta forma reajustaremos la red de objetivos y generaremos un informe de precisiones. Esta herramienta la podremos usar independientemente de que hayamos hecho el auto registro por objetivos, seleccionamos el proyecto en el que hemos hecho el registro y le damos a “registro basado en objetivos”. En la herramienta de registro basado en objetivos podremos seleccionar la estación que queramos editar y los objetivos que tiene, le damos a analizar y se abre una herramienta que se llama “analizador de objetivos”, esta herramienta nos permite eliminar o añadir objetivos en cada estacionamiento, en esta herramienta si le damos a “extraer” creara un nuevo objetivo que el programa no haya detectado automáticamente, ya sea una esfera o un objetivo blanco y negro. En la ventana de analizador de objetivos nos saldrá una nueva barra de herramientas para indicar el diámetro o el blanco y negro y le damos a “guardar” con el nombre del objetivo para guardar el nuevo objetivo. Una vez se haya registrado todos los objetivos le damos a “ajustar” para que vuelva a hacer el ajuste. Una vez estén todos los escaneos “apareados” podemos sacar el informe de precisiones en formato Word, si aplicamos y agrupamos los estacionamientos los tendremos todos dentro de una misma carpeta, de esta forma sabremos todos los

escaneos que estén correctamente registrados. En el caso de que haya algún escaneo fuera, significara que no han entrado en el ajuste.

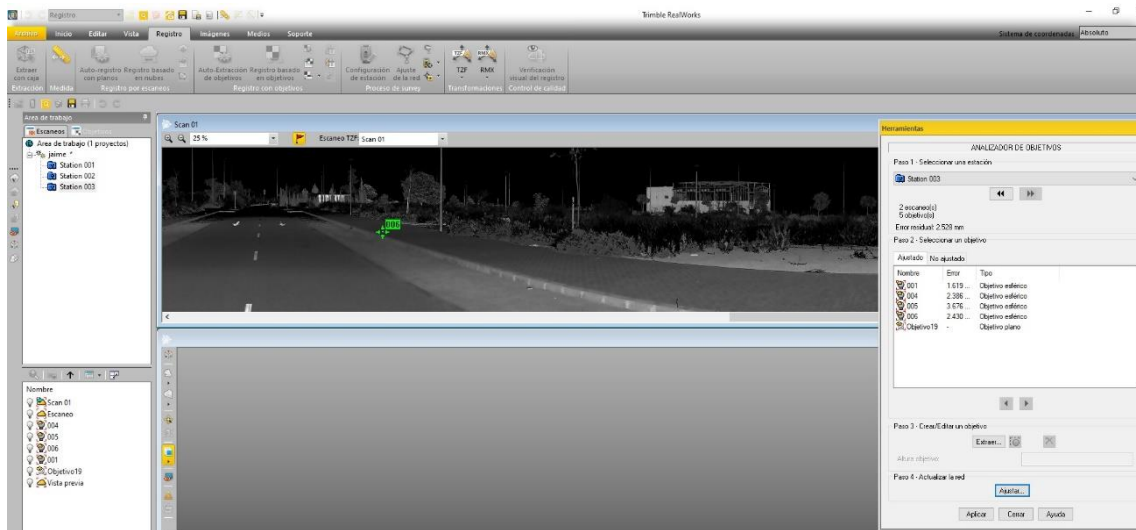


Figura 34. Ajuste de objetivos

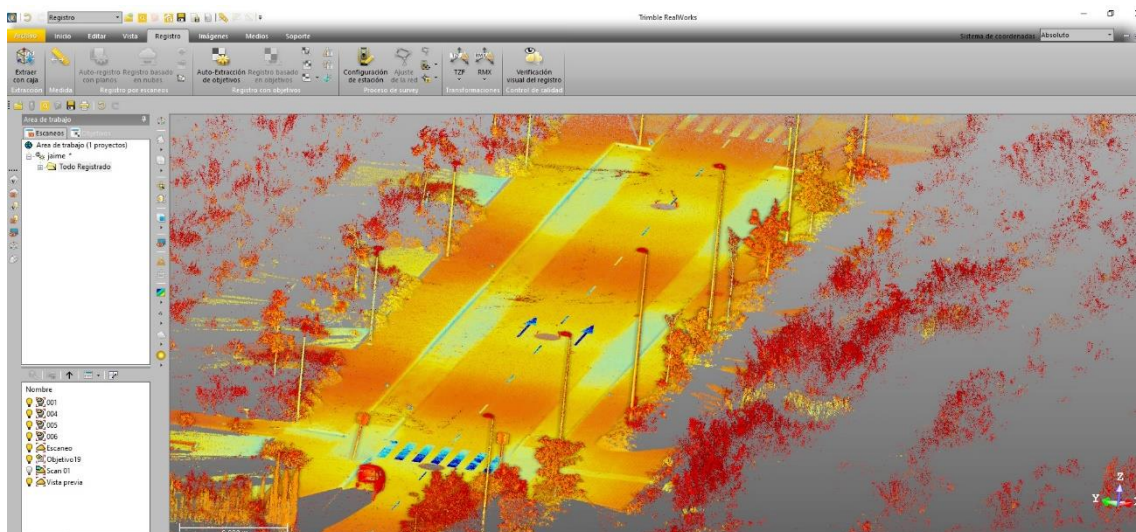


Figura 35. Todo registrado

Reporte de Registro (Objetivos)

Informe por estaciones

Fecha: Tue Jul 21 17:35:40 2020

Nombre proyecto:
jaime

Unidades de medida lineales: Metros

Sistema de coordenadas: X, Y, Z

3 ESTACION(ES) - Distancia media: 1.776 mm Distancia máx: 2.528 mm

7 OBJETIVO(S) - Distancia media: 1.743 mm Distancia máx: 3.676 mm

Station 001 - 7 Objetos escaneados - Distancia media: 0.963 mm

Nombre	Objetivo	Escaneo	Error	Incremento
Incremento	Incremento	Error	Distancia	
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>por objetivo</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>
<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>de ajuste</u>	<u>al escáner</u>	
Station 001	--	--	--	--
--	--	--	0.000 m	
003	003	2	0.229 mm	-0.210 mm -
0.038 mm	0.084 mm	0.866 mm	16.015 m	
002	002	2	1.092 mm	-0.800 mm -
0.221 mm	-0.710 mm	0.769 mm	20.565 m	
001	001	3	0.734 mm	0.602 mm -
0.349 mm	0.234 mm	0.711 mm	34.891 m	
Objetivo7	--	--	--	--
--	--	1.131 mm	12.171 m	
Objetivo24	007	2	1.429 mm	0.043 mm -
1.111 mm	0.897 mm	1.499 mm	35.703 m	
Objetivo25	006	3	1.329 mm	0.042 mm
1.262 mm	-0.415 mm	0.879 mm	43.423 m	

Station 002 - 8 Objetos escaneados - Distancia media: 1.837 mm

Nombre	Objetivo	Escaneo	Error	Incremento
Incremento	Incremento	Error	Distancia	
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>por objetivo</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>
<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>de ajuste</u>	<u>al escáner</u>	
Station 002	--	--	--	--
--	--	--	0.000 m	
006	006	3	2.284 mm	-0.499 mm -
1.056 mm	-1.963 mm	0.697 mm	13.747 m	
005	005	2	3.676 mm	-0.742 mm
0.285 mm	3.589 mm	0.830 mm	24.737 m	
001	001	3	1.762 mm	-0.163 mm
0.007 mm	-1.754 mm	0.752 mm	8.864 m	
002	002	2	1.092 mm	0.800 mm

0.221 mm	0.710 mm	0.688 mm	12.558 m			
	003	003	2	0.229 mm	0.210 mm	
0.038 mm	-0.084 mm	0.802 mm	16.847 m			
	004	004	2	2.386 mm	0.768 mm	-
0.082 mm	2.258 mm	1.091 mm	34.244 m			
	Objetivo14	007	2	1.429 mm	-0.043 mm	
1.111 mm	-0.897 mm	0.980 mm	8.358 m			

Station 003 - 6 Objetos escaneados - Distancia media: 2.528 mm

Nombre	Objetivo	Escaneo	Error	Incremento		
Incremento del objeto	Incremento correspondiente	Error Distancia	Error por objetivo	Incremento residual	Incremento X	
Y	Z	de ajuste	al escáner			
Station 003	--	--	--	--	--	
--	--	--	0.000 m	--	--	
	004	004	2	2.386 mm	-0.768 mm	
0.082 mm	-2.258 mm	0.768 mm	8.645 m			
	005	005	2	3.676 mm	0.742 mm	-
0.285 mm	-3.589 mm	0.743 mm	11.205 m			
	006	006	3	2.430 mm	0.456 mm	-
0.206 mm	2.378 mm	0.782 mm	19.335 m			
	001	001	3	1.619 mm	-0.439 mm	
0.341 mm	1.520 mm	0.953 mm	28.690 m			
	Objetivo19	--	--	--	--	
--	--	1.145 mm	12.748 m			

Informe por objetivos

Nombre de usuario: fbuchon

Fecha: Tue Jul 21 17:35:40 2020

Nombre proyecto:
jaime

Unidades de medida lineales: Metros

Sistema de coordenadas: X, Y, Z

3 ESTACION(ES) - Distancia media: 1.776 mm Distancia máx: 2.528 mm

7 OBJETIVO(S) - Distancia media: 1.743 mm Distancia máx: 3.676 mm

001 - 3 Objetos escaneados - Distancia media: 1.372 mm -
Posición media X=33.357 Y=10.228 Z=-0.022

Nombre	Estación	Error	Incremento	Incremento
Incremento del objeto	Error Distancia	Error residual	Incremento X	Incremento Y
Z	de ajuste	al escáner		
001	Station 001	0.734 mm	0.602 mm	-0.349 mm

0.234 mm	0.711 mm	34.891 m				
	001	Station 002	1.762 mm	-0.163 mm	0.007 mm	-
1.754 mm	0.752 mm	8.864 m				
	001	Station 003	1.619 mm	-0.439 mm	0.341 mm	
1.520 mm	0.953 mm	28.690 m				

002 - 2 Objetos escaneados - Distancia media: 1.092 mm -
Posición media X=19.872 Y=5.006 Z=-1.728

Nombre	Estación	Error	Incremento	Incremento
Incremento	Error	Distancia		
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>			
002	Station 001	1.092 mm	-0.800 mm	-0.221 mm
0.710 mm	0.769 mm	20.565 m		
002	Station 002	1.092 mm	0.800 mm	0.221 mm
0.710 mm	0.688 mm	12.558 m		

003 - 2 Objetos escaneados - Distancia media: 0.229 mm -
Posición media X=9.872 Y=12.494 Z=-1.717

Nombre	Estación	Error	Incremento	Incremento
Incremento	Error	Distancia		
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>			
003	Station 001	0.229 mm	-0.210 mm	-0.038 mm
0.084 mm	0.866 mm	16.015 m		
003	Station 002	0.229 mm	0.210 mm	0.038 mm
0.084 mm	0.802 mm	16.847 m		

004 - 2 Objetos escaneados - Distancia media: 2.386 mm -
Posición media X=50.692 Y=39.722 Z=0.209

Nombre	Estación	Error	Incremento	Incremento
Incremento	Error	Distancia		
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>			
004	Station 002	2.386 mm	0.768 mm	-0.082 mm
2.258 mm	1.091 mm	34.244 m		
004	Station 003	2.386 mm	-0.768 mm	0.082 mm
2.258 mm	0.768 mm	8.645 m		

005 - 2 Objetos escaneados - Distancia media: 3.676 mm -
Posición media X=50.612 Y=20.370 Z=-0.871

Nombre	Estación	Error	Incremento	Incremento
Incremento	Error	Distancia		
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>			
005	Station 002	3.676 mm	-0.742 mm	0.285 mm
3.589 mm	0.830 mm	24.737 m		
005	Station 003	3.676 mm	0.742 mm	-0.285 mm
3.589 mm	0.743 mm	11.205 m		

006 - 3 Objetos escaneados - Distancia media: 2.014 mm -
Posición media X=34.023 Y=26.920 Z=-1.791

<u>Nombre</u>	<u>Estación</u>	<u>Error</u>	<u>Incremento</u>	<u>Incremento</u>	
<u>Incremento</u>	<u>Error</u>	<u>Distancia</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>			
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>				
006	Station 002	2.284 mm	-0.499 mm	-1.056 mm	-
1.963 mm	0.697 mm	13.747 m			
006	Station 003	2.430 mm	0.456 mm	-0.206 mm	
2.378 mm	0.782 mm	19.335 m			
Objetivo25	Station 001	1.329 mm	0.042 mm	1.262 mm	-
0.415 mm	0.879 mm	43.423 m			

007 - 2 Objetos escaneados - Distancia media: 1.429 mm -
Posición media X=33.621 Y=11.887 Z=-1.753

<u>Nombre</u>	<u>Estación</u>	<u>Error</u>	<u>Incremento</u>	<u>Incremento</u>	
<u>Incremento</u>	<u>Error</u>	<u>Distancia</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	
<u>del objeto</u>	<u>correspondiente</u>	<u>residual</u>			
<u>Z de ajuste</u>	<u>al escáner</u>				
Objetivo24	Station 001	1.429 mm	0.043 mm	-1.111 mm	
0.897 mm	1.499 mm	35.703 m			
Objetivo14	Station 002	1.429 mm	-0.043 mm	1.111 mm	-
0.897 mm	0.980 mm	8.358 m			

A continuación, pasamos a la georreferenciación que se trata de una traslación de la nube de puntos a unas coordenadas conocidas, para ello estando en “registro” seleccionamos nuestro proyecto y usamos la herramienta de “Georreferencimiento”, aquí se nos abrirá una ventana emergente con un listado de los objetivos que tenemos

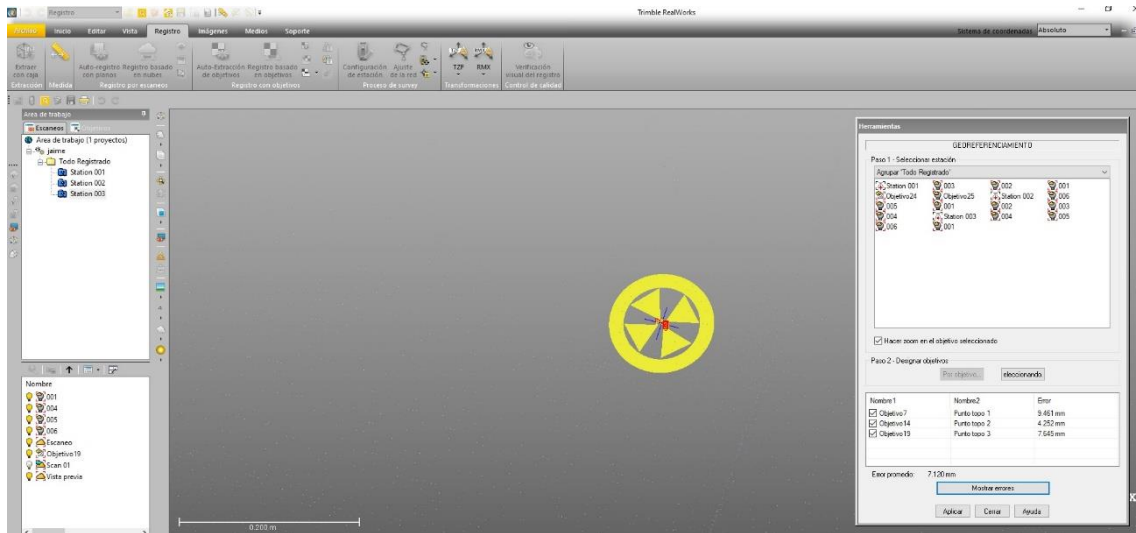


Figura 36. Georreferenciación 1

Entonces seleccionamos las dianas que hemos colocado a lo largo de la carretera y le damos coordenadas en el centro de la diana, hay que tener en cuenta la distancia que hay hasta el centro de la diana, en nuestro caso son 0,079m para el punto topográfico 1 y 0,077m para los puntos topográficos 2 y 3.

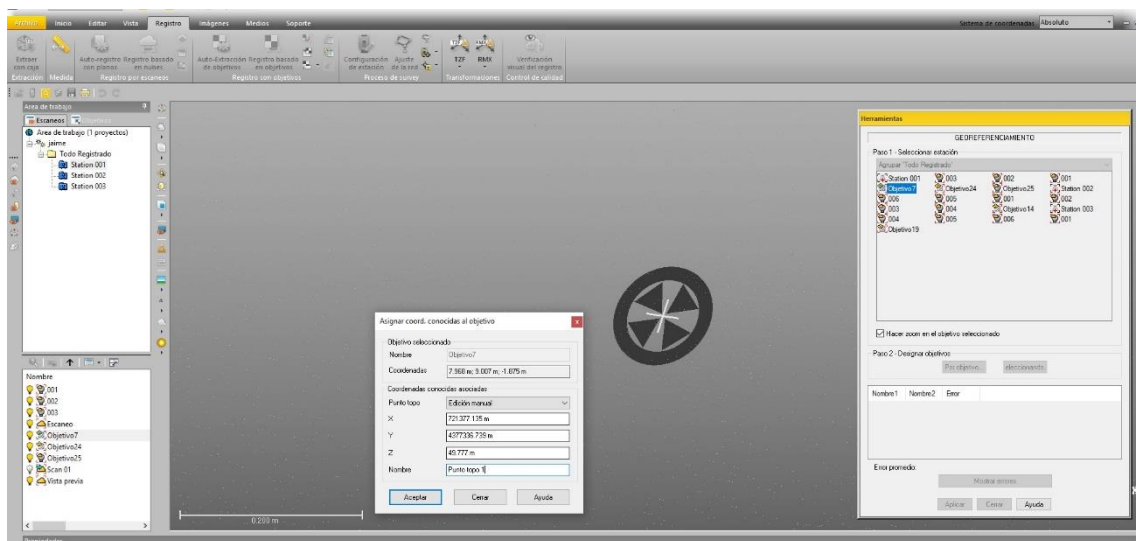


Figura 37. Georreferenciación 2

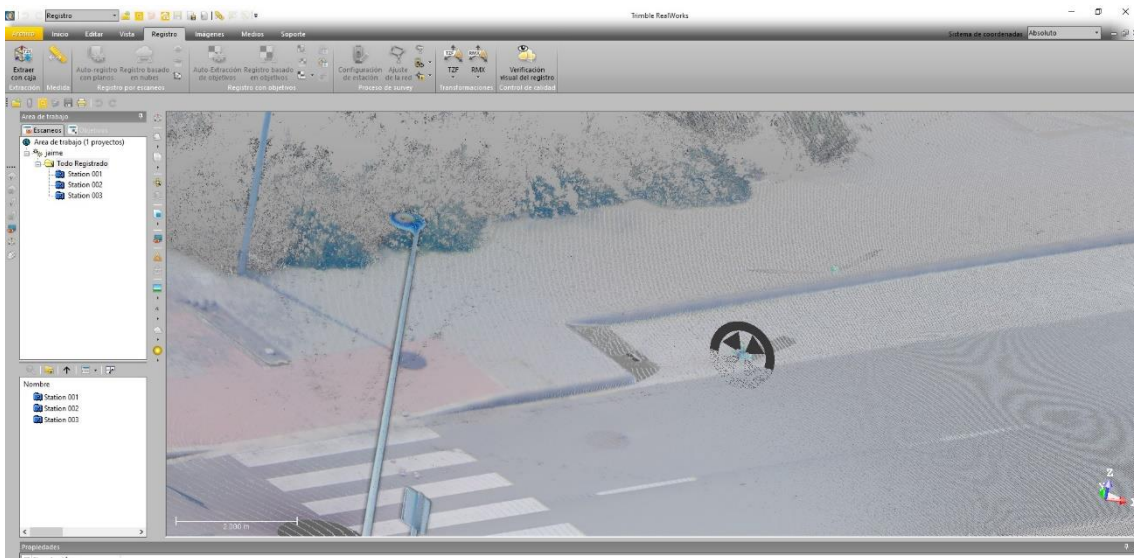


Figura 38. Georreferenciación 3

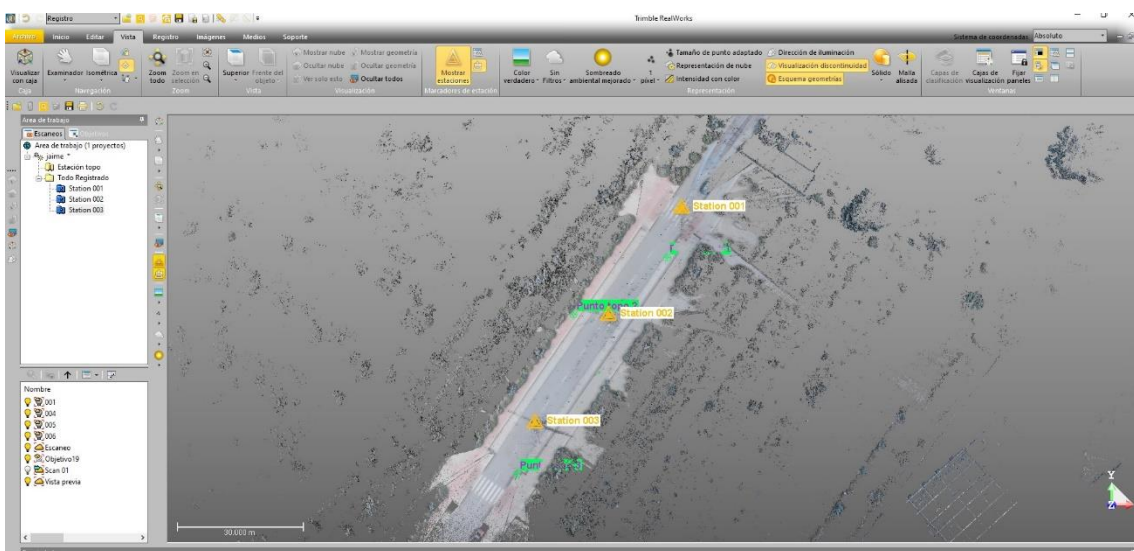


Figura 39. Situación de las estaciones y los puntos de apoyo

De esta manera quedaría la nube quedaría totalmente registrada y georreferenciada.

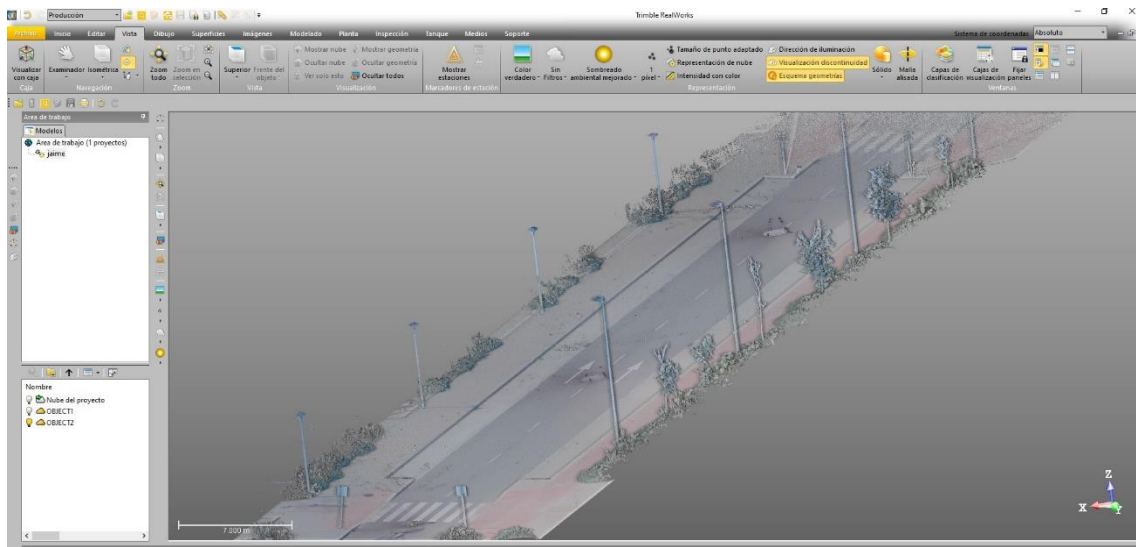


Figura 40. Detalle de la nube de puntos

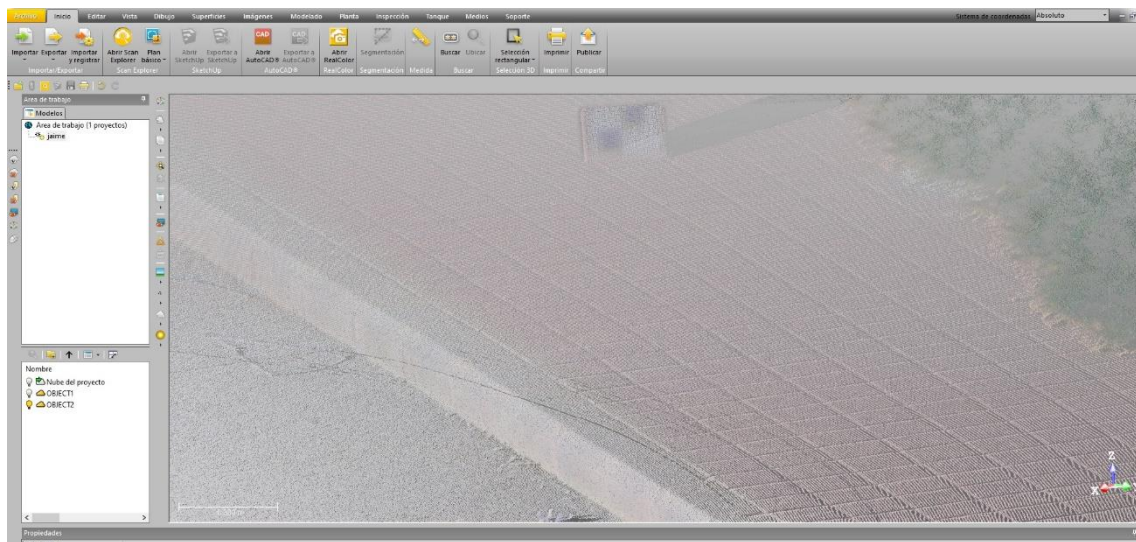


Figura 41. Detalle de la nube de puntos 2

7.2 Agisoft PhotoScan Pro

Cargamos las fotos en Agisoft PhotoScan Pro, aseguramos que en la calibración de cámara e introducimos las características de nuestra cámara, en nuestro caso las de la cámara de móvil (iPhone 11), pero debido a que el iPhone registra las coordenadas de las fotos tendremos un problema a la hora de orientar las fotos por que registrará muy pocos puntos por foto, asique después de hacer varias pruebas de máscaras, se decide usar las tomas de fotos con la cámara GoPro Hero 5. Volvemos a cargar las fotos en el programa pero ahora las obtenidas con la GoPro Hero, repetimos el proceso anterior con las nuevas fotos.

Una vez preparado los ajustes previos comenzamos con el flujo de trabajo, para ello empezamos orientando la foto con el comando “orientar fotos”. Este proceso tiene mucha importancia, por lo que ajustaremos los parametros con una precisión alta y el preprocesamiento desactivado ya que no utilizaremos ningun punto de apoyo, asique este proceso puede tardar varios minutos, incluso horas.

A continuacion se muestra el resultado de la orientacion de estas fotos y la nube de puntos dispersa obtenido de este proceso:

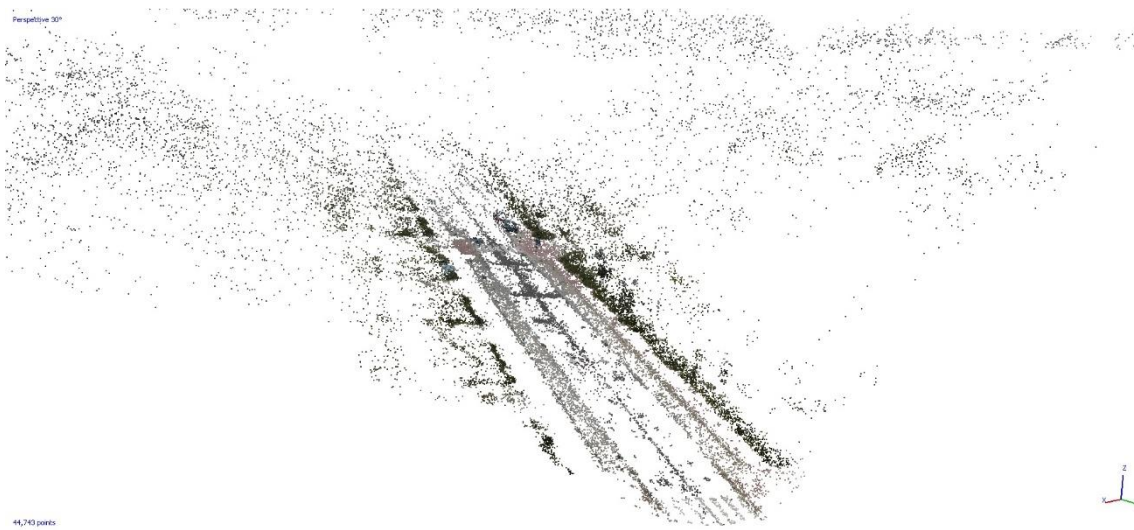


Figura 42. Nube de puntos dispersa

Al continuar con el flujo de trabajo el siguiente paso se trata de generar una nube de puntos densa para ello utilizamos el comando “crear nube de puntos densa” con parámetros de calidad “alta” con una filtración de mapas de profundidad “moderada”, obteniendo la siguiente nube de puntos densa:



Figura 43. Nube de puntos densa



Figura 44. Nube de puntos densa detalle

Seguidamente se procederá a la eliminación de ruido para ello utilizaremos la herramienta “selección de formato libre” con la cual seleccionaremos cuidadosamente los puntos que no estén dentro de la zona de interés del estudio, con lo que una vez seleccionados le damos al botón del teclado “suprimir” y estos puntos serán eliminados.

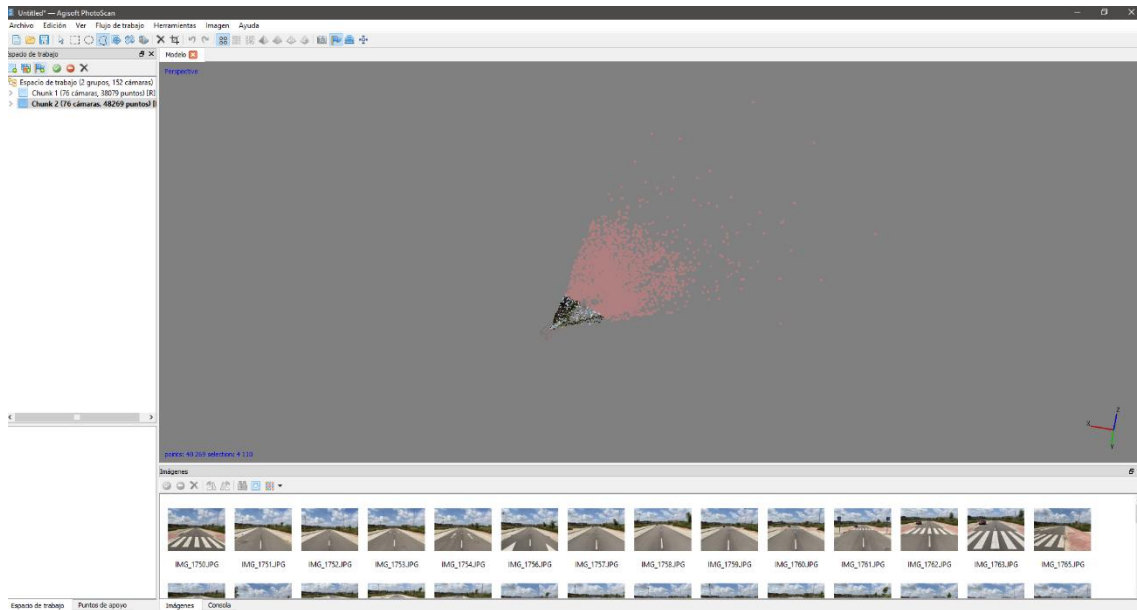


Figura 45. Eliminación de ruido

A continuación, importaremos las coordenadas de los puntos de control que hemos obtenido con el GPS. Se debe tener en cuenta la distancia que hay hasta el centro de la diana, por lo que hay que sumarle esta distancia, en nuestro caso son 0,079m para el punto topográfico 1 y 0,077m para los puntos topográficos 2 y 3.

Para ello creamos un marcador en el centro de nuestras dianas y le añadimos las coordenadas, para asegurarnos que está bien ajustado al centro de nuestra diana entramos en las fotos e iremos ajustando el marcador al centro en varias fotos.

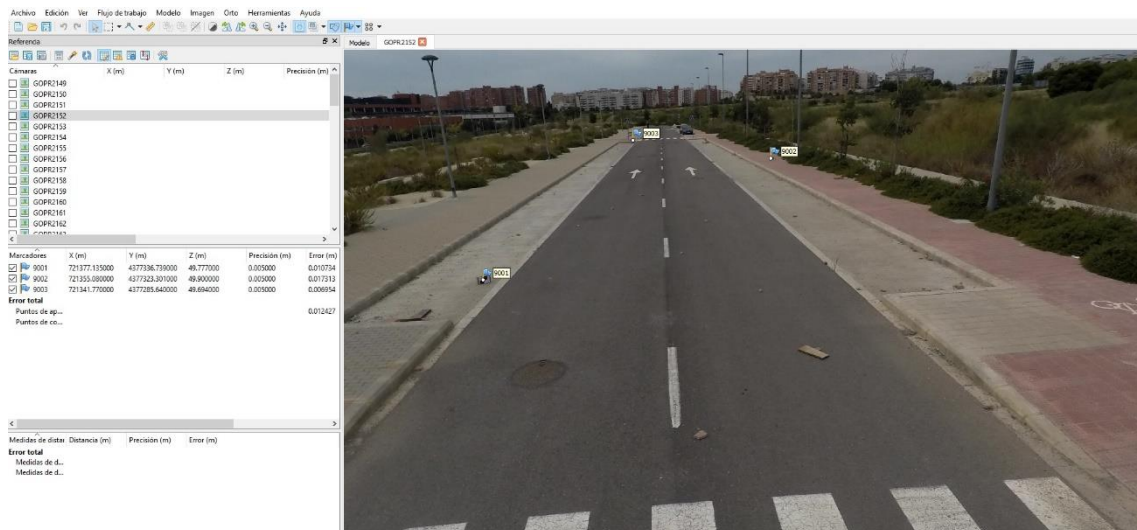


Figura 46. Orientación absoluta sobre fotograma

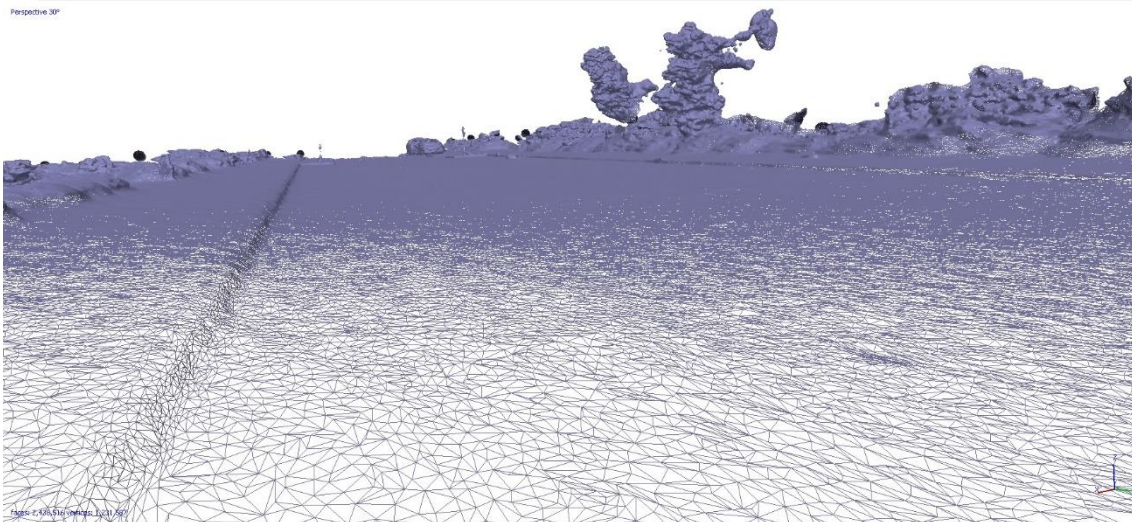


Figura 49. Malla triangular



Figura 50. Detalle de malla con color



Figura 51. Malla con color

Una vez realizados todos los procesos procedemos a sacar el informe del procesamiento fotogramétrico con los que podremos valorar los resultados.

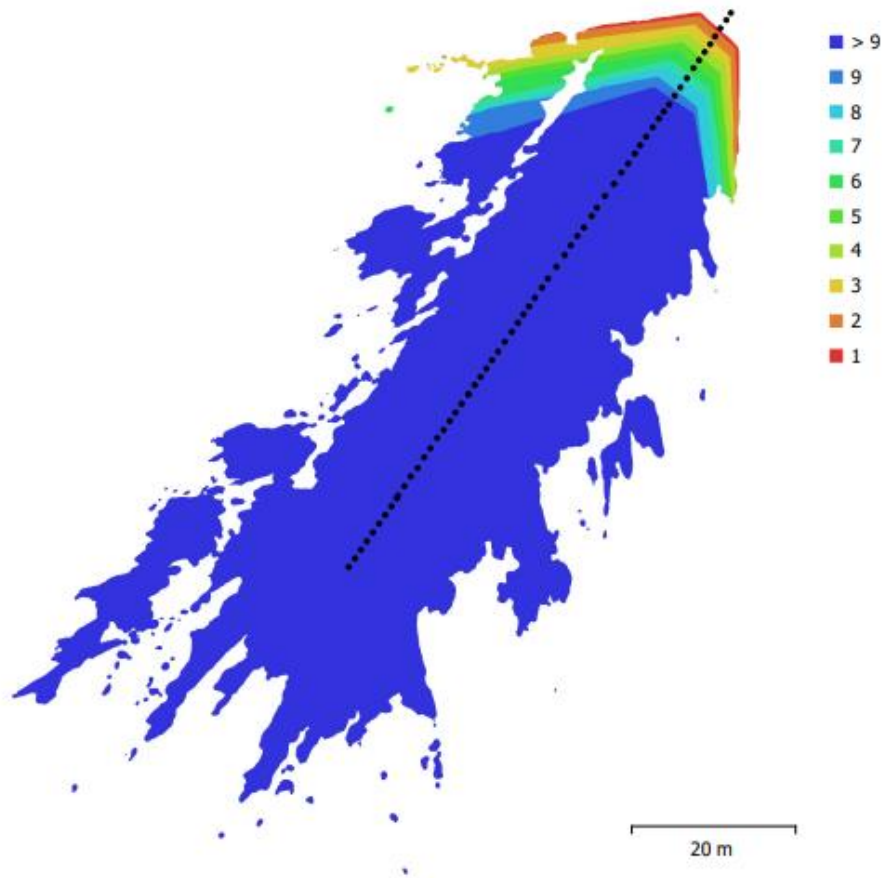


Figura 52. Posiciones de cámaras y solapamientos de imágenes

Número de imágenes: 64	Panorámicas multicámara: 64
Altitud media de vuelo: 22.4 m	Puntos de paso: 44,743
Resolución en terreno: 3.16 mm/pix	Proyecciones: 133,664
Área cubierta: 3.03e+003 m ²	Error de reproyección: 0.943 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
HERO5 Black (3mm)	4000 x 3000	3 mm	1.53 x 1.53 micras	No

Figura 53. Tabla de cámara

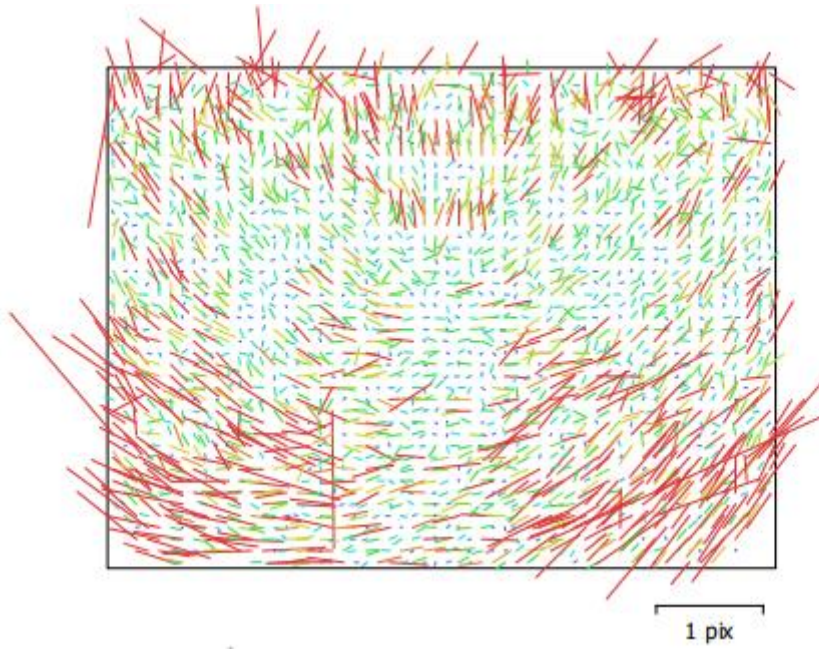


Figura 54. Gráfico de residuos para cámara

Tipo **Cuadro** Resolución **4000 x 3000** Distancia focal **3 mm** Tamaño de píxel **1.53 x 1.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2027.27	0.38	1.00	0.01	0.32	0.36	0.09	-0.09	0.08	0.74
Cx	17.5397	0.28		1.00	0.11	0.01	0.01	-0.00	0.95	0.06
Cy	13.2595	0.42			1.00	0.22	-0.00	-0.00	0.05	0.51
K1	-0.0276287	0.00015				1.00	-0.83	0.76	0.02	0.32
K2	0.0134288	0.00018					1.00	-0.98	0.02	0.06
K3	-0.00253961	8.3e-005						1.00	-0.01	-0.07
P1	0.00212144	4.1e-005							1.00	0.09
P2	-0.000766809	4.8e-005								1.00

Figura 55. Coeficientes de calibración y matriz de correlación

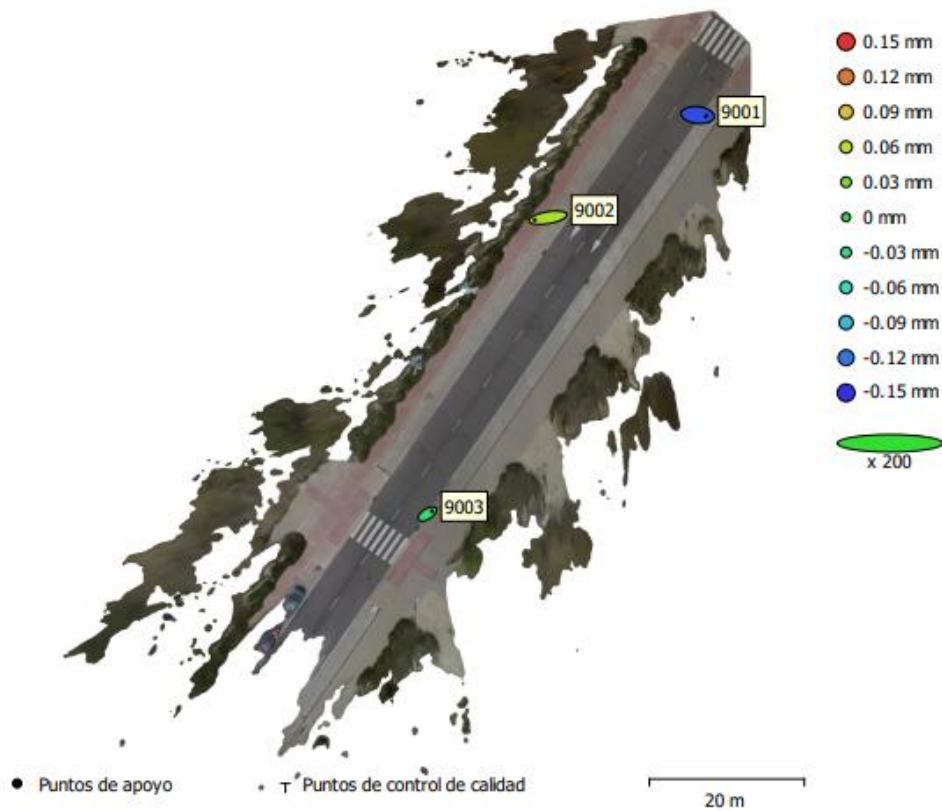


Figura 56. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
3	1.20988	0.283754	0.00866121	1.24271	1.24274

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
9001	1.06665	-0.11943	-0.0137786	1.0734	0.003 (10)
9002	-1.70689	-0.289581	0.0053318	1.73129	0.004 (23)
9003	0.583272	0.378718	-0.0026022	0.695442	0.003 (56)
Total	1.20988	0.283754	0.00866121	1.24274	0.003

Figura 57. EMC de puntos de apoyo y puntos de apoyo

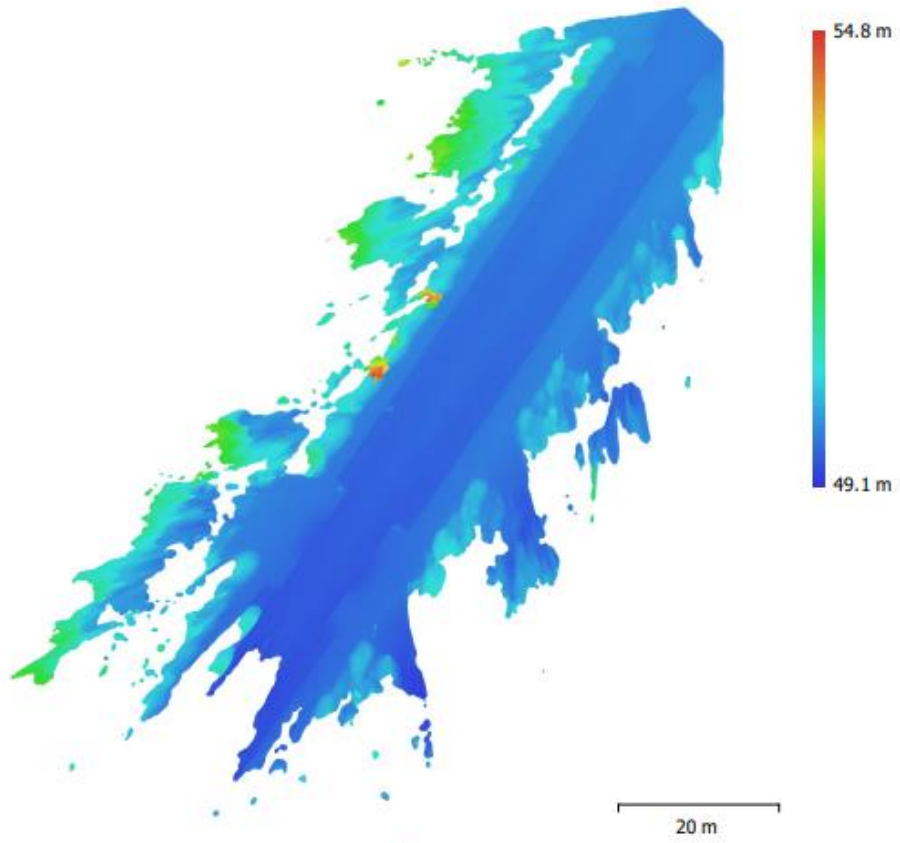


Figura 58. Modelo digital de elevaciones

Resolución: 1.26 cm/pix
Densidad de puntos: 0.625 puntos/cm²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	64
Cámaras orientadas	64
Marcadores	3
Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	44,743 de 54,971
RMS error de reproyección	0.140233 (0.942772 pix)
Error de reproyección máximo	0.424823 (31.3066 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	6.18507 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.35892

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de paso por foto	40,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	2 minutos 10 segundos
Tiempo de orientación	35 segundos
Versión del programa	1.5.3.8407

Mapas de profundidad

Número	64
--------	----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	5 minutos 58 segundos

Nube de puntos densa

Puntos	12,192,588
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	5 minutos 58 segundos

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	1 minuto 53 segundos
Versión del programa	1.5.3.8407

Modelo

Caras	2,424,631
Vértices	1,224,674

Colores de vértices	3 bandas, uint8
---------------------	-----------------

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	5 minutos 58 segundos

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Arbitrario
Datos fuente	Nube de puntos densa

Generales

Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	8 minutos 4 segundos
Versión del programa	1.5.3.8407

Software

Versión	1.5.3 build 8407
Plataforma	Windows 64

8. Presupuesto

A continuación, se va a proceder a la realización del presupuesto para este proyecto. Primero nos ajustaremos a

Estos precios pertenecen a la parte proporcional correspondiente a la de 1 día de trabajo de los que:

- El precio de un ingeniero titulado es el correspondiente al salario base por convenio de un ingeniero en geomática es: 1427,13 € por lo que el sueldo bruto anual es de: 1427,13 + 67,73€ (plus convenio) x 14 pagas = 20928,04€. Y teniendo en cuenta que el coste de empresa: sueldo bruto + SS (aprox 40 % s.b.)

TAULES ODD PROVÍNCIA DE VALÈNCIA 2019				
GRUP	NIVELL		2018	TRAM 1 (1,3%)
I	I	Titulació Superior i Direcció	1.584,89	1.605,49
II	II	Titulació Mitjana o Diplomats/des	1.408,82	1.427,13
II	II	Traductor/a titulat/da e intèrpret jurat/da	1.408,82	1.427,13
III	III	Cap superior	1.322,49	1.339,68
III	III	Cap delineant	1.322,49	1.339,68
III	III	Cap de projecte	1.322,49	1.339,68
III	III	Analista	1.322,49	1.339,68
III	IV	Cap d'oficina	1.230,79	1.246,79
III	IV	Delineant projectista	1.230,79	1.246,79
III	IV	Comptable	1.230,79	1.246,79
III	IV	Programador/a d'ordinador	1.230,79	1.246,79
III	IV	Traductor/a no titulat/da	1.230,79	1.246,79
				TRAM 2 (2%)
IV	V	Oficial 1a Administratiu/a	1.065,07	1.086,37
IV	V	Delineant	1.065,07	1.086,37
IV	V	Operador/a	1.065,07	1.086,37
IV	V	Encarregat/da	1.065,07	1.086,37
IV	VI	Oficial 2a Administratiu/a	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Comercial	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Hostessa	1.010,82	1.031,04
				TRAM 3 (2,3%)
V	VII	Conductor/a	955,33	977,30
V	VII	Gravador/a	955,33	977,30
V	VII	Auxiliar Administratiu/a	955,33	977,30
VI	VIII	Emmagatzemador/a	892,73	913,26
VI	VIII	Consergeja	892,73	913,26
VI	VIII	Ordenança tramitador/a	892,73	913,26
VI	VIII	Telefonista	892,73	913,26
VI	VIII	Neteja	892,73	913,26
VI	VIII	Peó/na?	892,73	913,26
VI	VIII	Mossos/es	892,73	913,26
		Plus conveni totes les categories + 1,5%	66,73	67,73
		Kilòmetre	0,20	0,20
		Dieta completa	20,14	20,14
		Plus idiomes	10 % salari b	10 % salari b
		Plus diumenges i festius + 1,5%	44,37	45,04
		Menyscapte de moneda + 1,5%	49,16	49,90
		Plus menjar + 1,5%	7,77	7,89

Figura 59. Tabla salarial del convenio laboral de oficinas y despachos

- El precio del alquiler del láser escáner oscila entre 300€/400€ el día en cualquier establecimiento de alquiler de instrumental. El equipo GNSS suele rondar los 100€ el día.
- Para el vehículo el alquiler de un coche el precio oscila entre 40€/60€ el día de alquiler dado que nosotros solo lo necesitaremos un día el precio fijado será de 60€ con la gasolina, seguro y dietas incluidos.

- EL software utilizado es el de Trimble Real Works tiene un coste de alquiler de 900€ por lo que serían 30€/día, y el alquiler de la licencia para el Agisoft PhotoScan Pro son 300€ al mes por que son 10€ por día.

PRECIO/DIA (IVA INCLUIDO)	
Artículo	Importe
Ingeniero técnico en Geomática	126,84 €
Alquiler Láser Escáner	350,00 €
Alquiler GNSS	100,00 €
Alquiler vehículo	60,00 €
Software Trimble Real Works	30,00 €
Software Agisoft PhotoScan Pro	10,00 €

Figura 60. Tabla de coste por día

Con estos precios asumimos que las tareas realizadas han sido:

- Trabajo en campo: 1 día de levantamiento topográfico y otro de revisión de datos por lo que se hacen 2 días de trabajo en campo
- Trabajo en gabinete: En el gabinete se ha procedido a todo el procesado de los datos tomados en campo, para ello se ha tenido que importar los datos del GNSS, Laser escáner y fotografías, y procesar todos estos datos. La duración de esto han sido unos 30 días teniendo en cuenta que se ha tenido que el día de volver al campo para hacer una corrección estaba dentro de lo previsible.

Cabe señalar que a todos estos costes se les tendría que añadir el beneficio industrial.

Sabiendo esto se puede decir que:

COSTES		
Artículo	Precio/día	Precio Total
Ingeniero tecnico en Geomatica	126,84 €	3.805,20 €
Alquiler Láser Escáner	350,00 €	350,00 €
Alquiler GNSS	100,00 €	100,00 €
Alquiler vehiculo	60,00 €	120,00 €
Software Trimble RealWorks	30,00 €	900,00 €
Software Agisoft PhotoScan Pro	10,00 €	300,00 €
	TOTAL	5.575,20 €

Figura 61. Tabla Presupuesto total

Por parte de los sistemas de mapeo móvil, ya que este trabajo se trata de hacer una comparativa de las diferentes metodologías de obtención de datos terrestres masivos cabe señalar que el alquiler del alquiler de un MMS en concreto el de la marca Leica modelo Pegasus tiene un coste de 5250€ + IVA el primer día, segundo día y sucesivos 3000€ y la semana completa 12500€ + IVA.

9. Conclusión

Con esto se puede decir que hay una gran variedad de metodologías terrestres para la obtención de datos tridimensionales masivos que podría ser utilizada en una gran amplitud de campos (patrimonio, obras lineales, medicina, etc.), de los cuales se ha centrado en realizar un levantamiento topográfico con GPS y láser escáner y otro por fotogrametría terrestre con GPS también, en la que se ha utilizado distintas cámaras para hacer una comparación de las resoluciones de las nubes de puntos obtenidas de cada modelo.

Después de todo los procesos realizados se asumen que los modelos obtenidos son más que aceptables con buenas resoluciones, ya que visualmente esta resolución geométrica es bastante similar, por lo que se afirma que para un proyecto de esta magnitud al tratarse de un tramo corto las metodologías utilizadas son las óptimas en tiempo y dinero. Pero si se trata de un tramo de mayor magnitud sería recomendable pasar al alquiler de un MMS, ya que la velocidad de obtención de datos es mucho mayor pese a que el coste aumenta también.

Cabe señalar que, por motivos de la situación pandémica que se ha dado no se ha podido realizar las pruebas de superposición de las nubes de puntos ya que el equipo personal del que se dispone no tiene la capacidad de

Se propone como continuidad a este proyecto, realizar el ajuste geométrico entre las nubes de puntos de los métodos de obtención comentados en este proyecto y comprobar realmente las resoluciones geométricas de cada uno de los métodos e instrumentos.

Este proyecto me ha ayudado a asentar los conocimientos sobre la fotogrametría que había obtenido en la carrera, empezando por los levantamientos realizados con el láser escáner y las fotos para su posterior procesado con los softwares indicados.

10. Bibliografía

- UPV, Fernando Francisco Buchón Moragues (2017). *“Apuntes de teoría, Principios de fotogrametría”*.
- UPV, José Antonio Sánchez Sobrino (2017). *“Introducción a la fotogrametría”*.
- FARO. (2019). Manual del usuario de FARO Focus Laser Scanner.
- Web de Trimble, servicio RTX. <http://www.trimblertx.com/>
- Manual y tutoriales de software Trimble RealWorks.
- Web de alquiler de instrumentos. <https://www.instop.es/>