

Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería de Aeronáutica

Identificación y digitalización automatizada de
señalización horizontal en ortofotos

Autor: José Luis Sánchez Coronado

Tutora: Cristina Torrecillas Lozano

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Aeronáutica

Identificación y digitalización automatizada de señalización horizontal en ortofotos

Autor:

José Luis Sánchez Coronado

Tutora:

Cristina Torrecillas Lozano

Profesora titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster: Identificación y digitalización de señalización horizontal en pistas de aterrizaje a partir de ortofotos generadas con drones para actualización cartográfica.

Autor: José Luis Sánchez Coronado

Tutora: Cristina Torrecillas Lozano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia por la confianza que han tenido en mí cada uno de sus días. Principalmente a mis padres y a mi hermana que son los que están cada día al pie del cañón viendo mis progresos y mis caídas. Por enseñarme todos los valores que llevan con ellos, aunque no siempre los tome conmigo, y por dar todo lo que tienen por hacer mi vida más fácil. Sin olvidarme tampoco de mi fiel compañero, que siempre estará en las buenas, en las malas y en las regulares.

Y a los que no están, que, seguro que estarían orgullosos de mí, porque sin ellos esto tampoco habría sido posible.

A mis amigos de siempre, por no fallar cuando no hay que hacerlo y estar ahí desde tiempos inmemoriales. Me habéis hecho mejor persona de lo que era, aunque debido a mi cabezonería lo habéis tenido difícil. Por sacarme de los momentos difíciles.

A mis niñas que me aguantan día sí y día también en la biblioteca, haciendo los días más llevaderos. Sin olvidarme tampoco de los niños, que, aunque los vea menos, en exámenes siempre somos uno.

También he de mencionar a todos los que compartieron es año de Erasmus en Nápoles, que, aunque fuese más parecido a unas vacaciones, también formaba parte de la carrera.

Por último, a todos los profesores que dedicaron un segundo de su vida en enseñarme algo, en especial a Cristina Torrecillas, tutora de este trabajo, por darme la oportunidad de realizar el trabajo con ella y por el tiempo que me ha dedicado.

José Luis Sánchez Coronado

2020

En este trabajo se va a llevar a cabo un estudio para la identificación automática de ciertos objetos en imágenes, en concreto de la señalización horizontal que aparece en carreteras, autopistas o pistas de aterrizaje. Para ello, se emplearán imágenes derivadas de un vuelo dron propio y de ortofotos procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Primeramente, se realizará el vuelo fotogramétrico mediante dron. Se tendrá de apoyo una estación GPS en tierra, para mejorar el posicionamiento de las coordenadas de los centros de las fotos y se cumplirán las normas impuestas por AESA. A partir de las imágenes, empleando el software *Agisoft Metashape Professional*, se derivará la ortofoto y el Modelo Digital del Terreno (MDT).

Generada la ortofoto, se aplicarán una serie de filtros para obtener la imagen binaria de la pintura de la carretera con la que poder sacar el esqueleto de la misma, para identificación de formas. Como validación de la metodología, se aplicará la misma a diversas imágenes de aeropuertos procedentes del PNOA.

Los resultados muestran que la calidad de las fotos tomadas con el dron será mayor que las obtenidas del PNOA, pero a su vez el trabajo será mayor para obtenerlas. Estaremos en la disyuntiva de si compensa obtenerlas por nosotros mismos o cogerlas directamente de satélites o plataformas online.

In this work a study will be carried out for the automatic identification of certain objects in images, in particular of the horizontal signs that appear on roads, motorways or runways. To this end, images derived from a drone flight and orthophotos from the National Plan for Aerial Orthophotography (PNOA) will be used.

Firstly, the photogrammetric flight will be carried out using a drone. A GPS station on the ground will be used to improve the positioning of the coordinates of the photo centres and the rules imposed by AESA will be complied with. From the images, using the Agisoft Metashape Professional software, the orthophoto and the Digital Terrain Model (DTM) will be derived.

Once the orthophoto has been generated, a series of filters will be applied to obtain the binary image of the road paint with which the skeleton can be removed from the road, in order to identify shapes. As a validation of the methodology, the same will be applied to various images of airports from the PNOA.

The results show that the quality of the photos taken with the drone will be higher than those obtained from the PNOA, but at the same time the work will be greater to obtain them. We will be in the dilemma of whether it is worth obtaining them ourselves or taking them directly from satellites or online platforms.

Índice

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	15
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	19
1 Introducción	23
1.1 <i>Topografía</i>	23
1.2 <i>Drones</i>	24
1.3 <i>Reconocimiento de elementos en imágenes</i>	28
1.4 <i>Objetivos del trabajo</i>	29
2 Datos	31
2.1 <i>Área de estudio</i>	31
2.2 <i>Material para la toma de datos</i>	32
2.3 <i>Material para la toma de fotos</i>	36
2.4 <i>Captura de los datos</i>	36
2.5 <i>Toma de fotografías</i>	38
2.6 <i>Imágenes del vuelo</i>	40
2.7 <i>Imágenes de los aeropuertos de comparativa</i>	40
3 Metodología	45
3.1 <i>Procesamiento de fotografías</i>	45
3.2 <i>Reconocimiento de elementos en las imágenes obtenidas</i>	49
4 Resultados Y Discusión	53
4.1 <i>Resultado del vuelo fotogramétrico</i>	53
4.2 <i>Resultado del reconocimiento de la pintura en la ortofoto generada</i>	56
4.3 <i>Resultado del reconocimiento de la pintura en las imágenes obtenidas del PNOA de los distintos aeropuertos</i>	62
4.3.1 <i>Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat</i>	62
4.3.2 <i>Aeropuerto Madrid Barajas-Adolfo Suárez</i>	64
4.3.3 <i>Aeropuerto Málaga-Costa del Sol</i>	66
4.4 <i>Discusión</i>	68
5 Conclusiones	71
Anexo I	73
I. <i>Elipsoide de referencia</i>	73
II. <i>Geoide</i>	74
III. <i>Datum</i>	75

IV.	Altitud	75
V.	Sistemas de referencia	76
VI.	Red Andaluza de Posicionamiento	78
VII.	Sistema GNSS (<i>Global Navigation Satellite System</i>)	78
Anexo II		81
Anexo III		83
Anexo IV		93
Anexo V		95
I.	Condiciones legales	95
Referencias		99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización	31
Tabla 2. Precisiones GPS STONEX S9 RTK	33
Tabla 3. Condiciones del plan de vuelo	38
Tabla 4. Localización Aeropuerto de Barcelona	41
Tabla 5. Localización Aeropuerto de Madrid	41
Tabla 6. Localización Aeropuerto de Málaga	42
Tabla 7. Características técnicas del PNOA	43
Tabla 8. Parámetros principales WGS84	73
Tabla 9. Parámetros principales GRS80	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Circa de 1650 [WDP 2020]	23
Figura 2: Dron de ala fija [GMD 2020]	24
Figura 3: Dron de ala rotatoria [GMD 2020]	24
Figura 4: Plan de vuelo mediante aplicación [AER 2020]	27
Figura 5: Ubicación del área de estudio	31
Figura 6: Objeto de estudio	32
Figura 7: Situación de los puntos de estudio	32
Figura 8: GPS STONEX S9	33
Figura 9: Controladora Carlson Mini2	33
Figura 10: GPS STONEX S9 y Controladora Carlson Mini2	34
Figura 11: Trípode con pinza	34
Figura 12: Trípode y receptor	35
Figura 13: Clavos Geopunt	35
Figura 14: Sprays, martillo, platos y cinta	35
Figura 15: Phantom 3	36
Figura 16: Cámara del dron	36
Figura 17: Reseña de la estación de referencia SEV1	37
Figura 18: Ejemplo de plan de vuelo	38
Figura 19: Parámetros del plan de vuelo	39
Figura 20: Ejemplos de superposición entre tramos	39
Figura 21: Ejemplos de imagen tomada por el dron (1)	40
Figura 22: Ejemplos de imagen tomada por el dron (2)	40
Figura 23: Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	41
Figura 24: Aeropuerto Madrid Barajas-Adolfo Suárez	41
Figura 25: Aeropuerto Málaga-Costa del Sol	42
Figura 26: Adición de las imágenes	45
Figura 27: Fotos orientadas	46
Figura 28: Malla	46
Figura 29: Marcador en foto individual	47

Figura 30: Malla con todos los marcadores	47
Figura 31: Recorte de la ortofoto	49
Figura 32: Banda 1 de la imagen	49
Figura 33: Imagen recortada binaria	50
Figura 34: Imagen con los píxeles exteriores	51
Figura 35: Imagen con la pintura aislada	51
Figura 36: Reconocimiento de la señalización horizontal	52
Figura 37: Planta de la ortofoto	54
Figura 38: Alzado de la ortofoto	55
Figura 39: Perfil de la ortofoto	55
Figura 40: Detalles modelo 3D	56
Figura 41: Detalles modelo 3D	56
Figura 42: Recorte de la ortofoto (1)	57
Figura 43: Reconocimiento de la pintura (1)	57
Figura 44: Recorte de la ortofoto (2)	58
Figura 45: Reconocimiento de la pintura (2)	58
Figura 46: Recorte de la ortofoto (3)	59
Figura 47: Reconocimiento de la pintura (3)	59
Figura 48: Recorte de la ortofoto (4)	60
Figura 49: Reconocimiento de la pintura (4)	60
Figura 50: Recorte de la ortofoto (5)	61
Figura 51: Reconocimiento de la pintura (5)	61
Figura 52: Recorte Aeropuerto de Barcelona (1)	62
Figura 53: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Barcelona (1)	63
Figura 54: Recorte Aeropuerto de Barcelona (2)	63
Figura 55: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Barcelona (2)	64
Figura 56: Recorte Aeropuerto de Madrid (1)	64
Figura 57: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Madrid (1)	65
Figura 58: Recorte Aeropuerto de Madrid (2)	65
Figura 59: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Madrid (2)	66
Figura 60: Recorte Aeropuerto de Málaga (1)	66
Figura 61: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Málaga (1)	67
Figura 62: Recorte Aeropuerto de Málaga (2)	67
Figura 63: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Málaga (2)	68
Figura 42: Elipsoide de referencia [ORG 2005]	73
Figura 43: Relaciones geométricas entre el elipsoide, el geoide	74
Figura 44: Componentes del Datum [DTP 2020]	75
Figura 45: Altura elipsoidal, ortométrica y geoidal [ACO 2020]	76

Figura 46: Coordenadas geodésicas en el elipsoide de referencia [IGM 2020]	77
Figura 47: Sistema de referencia WGS84 [IGM 2020]	77
Figura 48: Mapa de estaciones RAP [RAP 2020]	78
Figura 49: Constelación de satélites [WIK 2020]	79
Figura 50: Cálculo de la posición con cuatro satélites [SNS 2020]	80

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Topografía

Comenzamos definiendo primero que sería la topografía, para emplazarnos en el marco de este trabajo. Si nos vamos a su definición, *la topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales.*

Dentro podemos incluir el estudio de instrumentos que se usan en ella, como funcionan, de que están compuestos y su operación. También se puede incluir la teoría de errores, ya que a la hora de la realización de los trabajos necesitamos saber la exactitud de los resultados, ya que determinan los métodos y la precisión de los instrumentos que se deben usar.

Tuvo sus inicios desde que el momento en que la especie humana paso de nómada a sedentaria. Comenzó por la necesidad de establecer límites precisos entre las distintas propiedades, de dónde surgieron los primeros métodos e instrumentos topográficos. Las primeras referencias que se tienen son del imperio egipcio, hacia el 1400 a.C. Más tarde dichos instrumentos fueron utilizados por los romanos para llevar a cabo sus obras civiles, como acueductos y caminos. [WDP 2020]

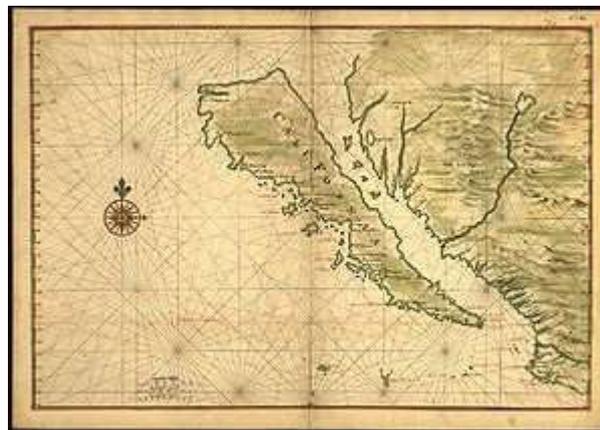


Figura 1: Mapa de Circa de 1650 [WDP 2020]

A inicios del siglo XVII, se inició la modernización de esta con el desarrollo del anteojo astronómico, ideado por el astrónomo alemán Johannes Kepler y con el estándar de medición introducido por el matemático inglés Edmun Gunter. A partir de este momento, el desarrollo fue constante hasta alcanzar su madurez a principios del siglo XIX. Ya se fue enriqueciendo de la aparición de fotogrametría, el ordenador o los niveles láser en el Siglo XX.

1.2 Drones

Una vez hemos definido la ciencia en la que se basa este trabajo, vamos a tratar de profundizar en una de sus últimas incorporaciones, los drones. Se trata de vehículos aéreos que vuelan sin tripulación, UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Los podemos encontrar de diversos tamaños y para distintos usos. Llevan existiendo desde hace bastante tiempo, pero su popularidad se ha incrementado en estos momentos debidos a que su fabricación ha bajado costes y, con ello, se han hecho más asequibles. Además, los que podemos encontrar hoy día, tienen unas características bastante mejores que las que poseían anteriormente.

Podemos encontrar una clasificación general: drones de ala fija y drones de ala rotatoria como puede verse en la Figura 2 y Figura 3.



Figura 2: Dron de ala fija [GMD 2020]



Figura 3: Dron de ala rotatoria [GMD 2020]

Como característica más reseñable es que su vuelo se controla por control remoto, aunque también se pueden conducir por distintos softwares. Los primeros de ellos son manejados con un mando a distancia por el usuario, mientras en el segundo caso, mediante aplicaciones, se puede programar el vuelo que deben seguir, se le transfiere al dron y se hace de manera autónoma. Tienen su origen en un contexto militar, ya que fue dónde realmente se empezaron a equipar con todo tipo de instrumentos, para que pudiesen ser usados como armas o espías. [GMD 2020]

Hoy día se usan para todo tipo de eventos, desde partidos de fútbol, fotografías de bodas, desfiles de moda, hasta para usados para el periodismo, ya que estos vuelan a una altura menor que los helicópteros.

En situaciones de emergencia, pueden llegar a las zonas de más difícil acceso, como ya quedó demostrado en situaciones en las que se han encontrado zonas devastadas por desastres naturales. Al volar a una velocidad considerable, se pueden recorrer zonas muy amplias en muy poco tiempo, pudiendo así llevar la ayuda necesaria. También tienen un uso muy destacado en el control de incendios forestales, siendo España una de las pioneras en este uso.

Como se puede ver, tienen una gran utilidad en las actividades cotidianas, su uso depende de la reglamentación diseñada para ellos y de la imaginación que tenga el usuario, ya que sus aplicaciones parecen ser infinitas.

Ya en nuestro siglo, los drones supusieron una revolución en el trabajo topográfico. Primeramente, por el impacto económico que ello supone, ya que la reducción de costes es bastante considerable, no solo de dinero, sino también de tiempo, que a efectos productivos son lo mismo. La calidad también se mejoró en bastante medida, ya que se pueden capturar muchos más puntos para la realización de las planimetrías, además de que se pueden llegar a zonas de difícil acceso.

A parte de las ventajas que ya hemos comentado, también encontramos que estos no son afectados por las condiciones de climatología adversas, ya que su vuelo es muy bajo. Por último y, no menos importante, las fotos realizadas son de mayor calidad y están disponibles al instante.

Haciendo una pequeña revisión bibliográfica podemos leer que los drones mejoran significativamente la seguridad del personal que se dedica al trabajo de campo, ya que como se ha dicho anteriormente, se evita que estos entren en zonas de riesgos [JGCD 2015]. Hay que comentar que todos los mapas topográficos tienen alguna función en los trabajos de la ingeniería, por lo que, si tenemos un apoyo de un dron, el ahorro de tiempo y de costes es considerable. Se crean productos geoespaciales muy útiles para llevar a cabo los trabajos que se necesitan, teniendo una gran ventaja con los productos que se generaban de manera convencional y, más si cabe en zonas de difícil acceso.

Otra de las ventajas que se mencionan en este artículo es el respeto con el medio ambiente que se tiene, con respecto a los métodos convencionales. Los vehículos aéreos no tripulados no requieren combustibles fósiles para su funcionamiento, ya que estos apostaron por un uso de tecnologías que sean amigables con el medio ambiente.

Además, se establece que la fotogrametría es la técnica que nos permite establecer la posición y las dimensiones de los productos en el espacio por medio del uso de fotografías, obteniendo los deseados modelos digitales del terreno.

Siguiendo esta revisión, encontramos en [JCG 2007] que el desarrollo de la tecnología siempre ha sido una de las prioridades del ser humano. La ingeniería se encuentra siempre avanzando e innovándose. Lo mismo ocurrió con el uso de los drones, que comenzó con un uso militar, pero con el paso del tiempo su uso se ha ido diversificando hasta tener incontables utilidades.

Según [MD 2011], se debería seguir una serie de recomendaciones a la hora de obtener las imágenes que se usarán en la fotogrametría:

- Calibrar la cámara de dron a partir del fotografiado de un patrón de calibración conocido.
- Orientación de las imágenes escogiendo puntos comunes.

En [JVBZ 2015] no hace más que remarcar la importancia de los drones hoy día y las distintas aplicaciones que tienen en el mundo de la ingeniería. Con ellos se han alcanzado accesibilidad a lugares a lugares difíciles y en condiciones extremas que dificultan o hacen imposible que llegue el humano, o incluso otro tipo de tecnologías. También se reitera la revolución que supuso su uso debido a la gran reducción de costes y operación en grandes proyectos.

En la toma de imágenes, cuando estas se toman a baja altitud es muy común asumir que la superficie es plana, por lo que toma el riesgo en la realización de la ortofoto. Todos los objetos tomados pueden causar distorsión en la perspectiva de la imagen. Por eso, al hacer los modelos digitales de elevación es muy importante que exista un gran solape entre todas las fotos, debido a que permiten generar a detalle cada elemento que se encuentra presente en las imágenes. En la mayoría de los casos se recomienda un solape superior al 60%, usando un vuelo a altura constante.

Siguiendo esta línea también podemos encontrar [EQR 2015], que recomienda los siguientes parámetros para tomar una buena fotografía a la hora de hacer el estudio:

- Cuando se quiera tomar una imagen de un bosque o vegetación, el solape de las imágenes debe de ser mucho mayor, alrededor del 85% sería el óptimo, pero nunca menor del 70%. Además, se debe aumentar la altura de vuelo para que no exista distorsión de las perspectivas.
- Si nos encontramos en terrenos planos, las condiciones de solape deben de ser iguales a las mencionadas anteriormente, pero con altura de vuelo baja, para poder apreciar todos los detalles que podamos encontrar en el contenido.
- En carreteras y ríos, se puede bajar el solape óptimo, pero sería recomendable la toma de imágenes angulares entre 0° y 45° para obtener una visión más amplia del área.

También se indica que el uso de drones facilita tener un continuo registro de todo el terreno. A diferencia de un levantamiento topográfico convencional, donde solo quedan registradas las coordenadas de los puntos medidos, en el caso de hacerlo con drones, todos los detalles quedarían registrados en la fotografía. Sin embargo, no son todo ventajas, ya que, al hacer un levantamiento fotogramétrico aéreo, podemos encontrar elementos ocultos por culpa de la vegetación, por lo que habría que hacer medición convencional de todos aquellos elementos que encuentren ocultos.

Volviendo a [JVBZ 2015], podemos observar que se nos da la misma recomendación al realizar la toma de imágenes en un vuelo a baja altura. Los objetos como árboles, rugosidades o desniveles pueden causar graves errores en la superposición de las imágenes. Para la solución de esto se proponen el uso de sensores o cámaras infrarrojas.

Pasando ahora al tipo de imágenes utilizadas en fotogrametría, encontramos un artículo de [DHL 2006] donde se puede ver una clasificación de los distintos tipos:

- En función del almacenamiento en analógico y digital (jpg, tiff, bpm).
- En función al sensor de toma en analógico (tipo obturador) y digital (sensor matricial, rectangular, lineal o puntual).
- En función a la resolución geométrica en métrica, semi métrica o no métrica.
- En función de las características de la toma en espacial, aérea, terrestre y dentro de ellas en vertical, horizontal, inclinada o panorámica.

También se puede hacer una clasificación del tipo de fotogrametría que podemos encontrar, dependiente de la forma en que se haga

- Fotogrametría analógica: Son los modelos matemáticos utilizados. Evidentemente, fue la primera parte de la fotogrametría en desarrollarse.
- Fotogrametría analítica: Se encarga de aplicar los modelos matemáticos a objetos físicos. Fue la segunda parte en desarrollarse.
- Fotogrametría digital: Con la aparición de los ordenadores, se sustituye la imagen analógica por la imagen digital, del mismo modo que se empiezan a utilizar programas informáticos. En la actualidad la fotogrametría digital convive con la analítica.
- Fotogrametría aérea: Es cuando las estaciones se encuentran en el aire. Se aplica para la elaboración de planos y/o mapas para el desarrollo de proyectos de ingeniería.
- Fotogrametría terrestre: En este caso las estaciones se encuentran a nivel del suelo.

Para terminar con la revisión bibliográfica antes de comenzar con la explicación del trabajo, vamos a repasar los últimos puntos que quedan, el primero de ellos, los planes de vuelo. En [LPD 2007], se hace mención a ellos. Como ya sabemos, los drones son dispositivos que hacen sus vuelos de manera completamente autónoma, gracias al piloto automático que poseen, que se encarga de que todos los mecanismos funcionen de manera correcta. El plan de vuelo se suele establecer con distintas aplicaciones especializadas, que componen una serie de *waypoints* o puntos de sobrevuelo por los que debe pasar el dron. Estos puntos son especificados mediante su latitud, longitud, altura y velocidad.

Para poder planificar el vuelo del dron, debemos tener en cuenta varios parámetros [AER 2020]. Tener un buen plan de vuelo, es con diferencia, el factor que más influye en la calidad de los resultados a la hora de generar mapas. Los tres aspectos que hay que tener en cuenta son:

- La trayectoria del vuelo.
- El solape entre las imágenes.
- Posición de la cámara.

Otro elemento que debemos tener en cuenta es la posición del sol, que irá cambiando a lo largo del tiempo, y más si es un vuelo largo. Por ello podremos encontrar fotografías totalmente iluminadas y otras con sombra, con lo que estas últimas habrá que desecharlas. Otro factor que hay que tener en cuenta, y aunque parezca muy simple, es cubrir todo el campo de estudio, ya sea con uno o varios vuelos.

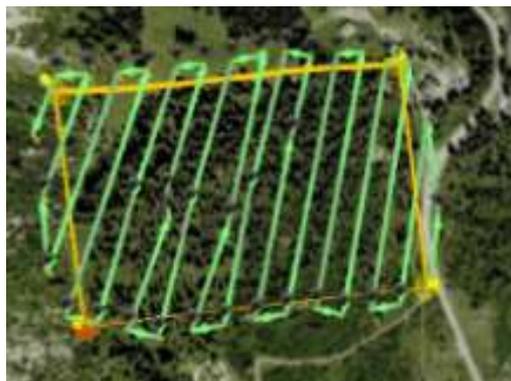


Figura 4: Plan de vuelo mediante aplicación [AER 2020]

Es muy importante cumplir con la legislación nacional e internacional, impuesta por ENAIRE. Esta se aprobó en diciembre de 2017, ya que justo antes no existían normas que regulase el uso civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. [ENAIRE 2020]

Por último, veremos las precisiones y los errores que obtenemos. En [YVM 2013] se nos explica que los puntos de deben de tomar con un GPS de doble o monofrecuencia, para así obtener la precisión óptima, para así corregir el modelo y ajustarlo a la realidad.

Cuando ya se tienen todas las fotografías, se deben de orientan mediante un software definido, y se van colocando las coordenadas. Así conseguimos los modelos digitales de superficie. Cuantos más puntos tengamos en el control del área, menos errores encontraremos en nuestro estudio, por lo que se harán modelos más aproximados a la realidad.

También otro factor que afecta a la precisión es el giro de la cámara. Hay drones que los llevan provisto, pero en otros no es posible, por lo que, a la hora de hacer un giro, el ángulo que tengamos impuesto de la cámara nos conducirá a errores. En [SRMJ 2014] la solución que se nos aporta es colocar la cámara con un ángulo de visión de 5° además de incrementar las líneas de vuelo.

A la hora de tomar los puntos, hay muchas causas que pueden afectar a la señal, por lo que nunca será perfecta. La señal GPS pierde velocidad en la ionosfera, debido a la existencia de partículas cargadas positivamente y al vapor de agua. Lo óptimo sería tener una medición de doble frecuencia, tal y como se ha comentado anteriormente. La señal también suele rebotar, pero normalmente nuestro receptor tendrá sistemas de rechazo para minimizar el error cometido con estas señales [QGIP 2005].

Como se puede observar, hay muchos factores a tener en cuenta a la hora de realizar, tanto como el vuelo como su posterior procesamiento. Esto es un trabajo realizado por un alumno de la universidad de Sevilla, por lo que todos estos factores se han intentado optimizar al máximo dentro de las capacidades que se tienen. Además de esto hay que añadir las limitaciones computacionales que se tienen, ya que no se disponen de los mejores equipos. Aun así, se ha realizado con una buena precisión.

1.3 Reconocimiento de elementos en imágenes

Una vez se han conseguido llevar a cabo todos los pasos anteriores, toca el momento de reconocer los elementos en las imágenes procesadas. Es un campo cada vez más utilizado, y que se aplica principalmente a la recuperación de imágenes basada en contenido, es decir, a buscadores de imágenes que encontrarán la solución a una consulta basándose en si la imagen contiene ciertos objetos o no en función de su contenido visual [AMB 2020].

Este sistema surge porque siempre ha existido la necesidad de tener sistemas automáticos, que constituyen un ahorro en el trabajo manual, además de un ahorro en tiempo. Todo esto hace que se mejore significativamente la calidad de las búsquedas. Para ello hubo que tener una gran base de datos manual, un primer gran esfuerzo para una gran final recompensa. Además, el reconocimiento de elementos lleva muchos campos involucrados, clasificación de información, estadísticas de señales, visión artificial...

Más orientado hacia nuestro trabajo encontramos el mapeo de cualquier localización geográfica mediante imágenes que se van aportando [OSC 2020]. Para ellos se toman como referencia objetos que se encuentren fijos en las imágenes, como señales de tráfico, vehículos aparcados, vegetación...

El algoritmo utilizado es bastante conocido, es el concepto de *Machine Learning*, que se basa en la detección automática de objetos. Como ventajas principales, encontramos las que ya habíamos mencionado anteriormente, además de ser más preciso y rápido, lo que le hace tener unas prestaciones superiores a otros detectores y es ideal para el uso de aplicaciones en tiempo real.

Como ya hemos comentado, esta capacidad que buscamos permite extraer información de los distintos objetos contenidos en las imágenes aportadas [GRE 2015]. Los procesos de extracción y de características y su posterior clasificación son muy importantes para que se cumpla el objetivo del reconocimiento de objetos.

Para reconocer y regular distribución de la producción de café en Costa Rica [ALS 2018], se usó este método. Con ello se conseguía poder mantener una supervisión y control de esto. Principalmente consiste en el reconocimiento de coberturas de suelo por medio de una clasificación semi supervisada, para las diferentes finalidades.

Las imágenes que se usaron fueron de la plataforma Sentinel 2 y Landsat 8, realizando un comparativo entre ambos y por medio del programa Qgis, la de clasificación semi automática. Como resultado final a todo esto, se verificó la similitud entre ambos resultados.

Centrándonos ya más en el trabajo que vamos a realizar, podemos encontrar un artículo basado en la detección de imágenes captadas por drones [QGA 2020]. A menudo, los métodos tradicionales de recopilación de datos carecen de información sobre las condiciones específicas, por eso los métodos usados con los drones podían usarse para realizar un inventario rápido de las condiciones que se buscan.

Utilizando los softwares Agisoft PhotoScan y QGIS y aplicando la metodología descrita, se puede identificar las condiciones iniciales de vuelo y definir las características identificables mediante las fotografías aéreas tomadas con dron utilizando el análisis de imágenes y reconociendo sus limitaciones.

1.4 Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es la identificación de señalización horizontal en pistas de aterrizaje a partir de ortofotos generadas desde drones o ya existentes. Para ello, el trabajo se puede dividir en fases:

1ª fase: Reconocimiento del terreno e implantación de los puntos de apoyo para la posterior restitución fotogramétrica y Planificación del vuelo. División en tramos según la autonomía de vuelo del dron, establecimiento del número de pasadas, elección de recubrimientos longitudinales y transversales (solape), altura de vuelo y medición de la velocidad del viento.

Obtención de coordenadas de los puntos de apoyo mediante metodología GPS en modo RTK utilizando como estación de referencia la denominada SEV1 de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), instalada en la propia ETSI. El Sistema de Referencia (SR) empleado el ETRS89, materialización del ETRF89, que a su vez es una densificación europea (continental) del ITRF89 y que tiene una red de estaciones permanentes conocida como EUREF.

Vuelo fotogramétrico. Realización del vuelo con las premisas establecidas anteriormente y cumpliendo las normas de vuelo establecidas por AESA.

2ª fase: Restitución del vuelo y obtención de Modelo Digital del Terreno (MDT) y la ortofoto tras el filtrado de puntos mediante el software *Agisoft Metashape Professional*.

3ª fase: Una vez tenemos la ortofoto, vamos a aplicar una serie de filtros para obtener la imagen binaria en la que podamos sacar el esqueleto de la misma y así podamos ver como se encuentra el estado de la pintura de la carretera. Una vez tengamos esto, se van a aplicar los mismos filtros en imágenes de aeropuertos de PNOA con una posterior comparación con la original.

Nuestra idea inicial es que la imagen obtenida por nosotros mismos tenga una mayor calidad que la que se obtiene del PNOA. Esto nos llevará a un mejor reconocimiento e identificación de la señalización horizontal en las pistas. Una vez tengamos todo hecho, podremos comprobar si nuestra hipótesis inicial es la correcta.

2.1 Área de estudio

La zona principal de objeto de estudio se encuentra en Sevilla. Esta transcurre a ambas márgenes de la Nacional IV en su tramo comprendido entre Dos Hermanas y Los Palacios (Entre el PK 559 y el PK 566). En la Figura 5 se puede observar dicha zona:



Figura 5: Ubicación del área de estudio

El Sistema de Referencia que se emplea para los trabajos topográficos, objeto de este trabajo, será el oficial en España, ETRS89 y la proyección cartográfica la UTM en huso 30. La localización aproximada del centroide de la parcela en dicho Sistema de Referencia tiene las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Localización

Latitud	Longitud	Huso	X _{UTM}	Y _{UTM}
37° 13' 3'' N	5° 55' 14'' W	30	240850 m	4123000 m

Más exactamente, será un kilómetro de esta carretera, del PK 560,4 al PK 561,3. Queda mostrado en la Figura 6 y Figura 7.



Figura 6: Objeto de estudio

Los puntos que estudiaremos se encuentran situados en los arcenes y proximidades de dicha carretera. Los puntos se sitúan a continuación y su localización se puede ver en el Anexo I.

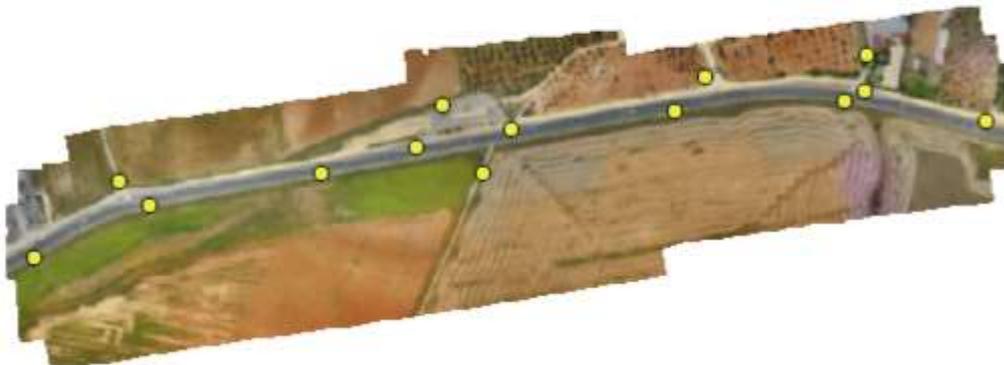


Figura 7: Situación de los puntos de estudio

2.2 Material para la toma de datos

Comenzaremos explicando el material que se ha usado para la toma de puntos:

- Receptor bifrecuencia GPS STONEX S9 (GPS+GLONASS)

Tabla 2. Precisiones GPS STONEX S9 RTK

Horizontal	Vertical
$\pm 10\text{mm} + 1\text{ppm}$	$\pm 20\text{mm} + 1\text{ppm}$



Figura 8: GPS STONEX S9

- Controladora Carlson Mini2



Figura 9: Controladora Carlson Mini2



Figura 10: GPS STONEX S9 y Controladora Carlson Mini2

- Trípode con pinza para asegurar la verticalidad del jalón en la toma de observaciones.



Figura 11: Trípode con pinza



Figura 12: Trípode y receptor

- Pequeño material auxiliar para visualización de los puntos de apoyo:
 - Clavos Geopunt para la materialización del punto.



Figura 13: Clavos Geopunt

- Sprays fluorescentes para mejor identificación en las fotos.
- Martillo.
- Platos de plástico para visibilidad de la situación del punto
- Cinta.



Figura 14: Sprays, martillo, platos y cinta

2.3 Material para la toma de fotos

Para la realización de las fotografías aéreas nos hemos ayudado del siguiente material.

- Dron modelo *DJI Phantom 3*.



Figura 15: Phantom 3

- Cámara 12,4 MP (Advanced)



Figura 16: Cámara del dron

2.4 Captura de los datos

La toma de datos de los puntos de apoyo se ha realizado mediante posicionamiento diferencial cinemático en RTK (tiempo real) con 30 observaciones de cada punto de apoyo y tomando la media como el valor más probable.

Este método es una modalidad del DGPS (GPS DIFERENCIAL). Se utiliza cuando las exigencias de precisión son muy altas, como en este caso en el que se exige una tolerancia de 0,057 m. Se obtienen los mejores resultados, pero eso sigue siendo relativo al funcionamiento del instrumental utilizado y la técnica de posicionamiento diferencial a la que se recurra.

Se trata de hallar la posición de una base de realizar observaciones desde dicho punto a varios satélites y combinarlas con las realizadas en ese mismo instante desde otro punto a los mismos satélites.

Como se ha dicho, el método RTK es un modo cinemático de trabajo, y supone una solución eficaz a estacionamientos estáticos que requerían periodos de observación prolongados.

RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO



Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONOCIMIENTO



GOBIERNO DE ESPAÑA



GOBIERNO DE ANDALUCÍA

Estación permanente de Sevilla

(Fecha última actualización: 26/02/2018)

ORTOFOTO



FOTOGRAFÍA DE CAMPO



MAPA DE SITUACIÓN



SITUACIÓN

VERTICE: SEV1 **NOMBRE:** Sevilla
Nº IERS DOMES: 17003M001

PROVINCIA: Sevilla **MUNICIPIO:** Sevilla
HOJA MTN-50: 504

UBICACIÓN: Edificio de laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, C/ Camino de los Descubrimientos, s/n, C.P.: 41092 – Sevilla.

CONSTRUCCIÓN: Bloque de hormigón armado de 0.5 m de altura. La marca de coordenadas se encuentra en el interior de la pieza metálica donde se enrosca la antena.

INSTRUMENTACIÓN

RECEPTOR: Trimble NETR9 **ANTENA:** TRIM59900.00 SCIS

ESTACIÓN METEOROLÓGICA:
REGISTROS:

COORDENADAS ETRF00 Época 2017.0

CARTESIANAS		
X(m):	Y(m):	Z(m):
5044666.862	-530411.768	3853755.379
GEODÉSICAS		
DECIMAL		SEXAGESIMAL
LATITUD: 37.410088297	37° 24' 39.19787" N	
LONGITUD: -6.002200831	6° 0' 7.92299" O	
H ELIPS (m): 69.722		
UTM		
HUSO 30		HUSO 29
X UTM 30 (m): 234288.093	X UTM 29 (m): 765322.241	
Y UTM 30 (m): 4144606.589	Y UTM 29 (m): 4144674.182	

INFORMACIÓN ADICIONAL

INSTITUCIÓN RESPONSABLE:
Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA).
Consejería de Economía y Conocimiento
C/ Leonardo Da Vinci, nº 21 (Pabellón de Nueva Zelanda) Isla de La Cartuja.
41092 Sevilla. España

E-MAIL RAP: rap.ieca@juntadeandalucia.es

WEB RAP: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento>

INFORMACIÓN ADICIONAL:
Estación GNSS perteneciente a la Red ERGNSS del IGN

E-mail: buzon-geodesia@fomento.es

Web: <http://www.ign.es/web/ign/portal/gds-aree-geodesia>

Figura 17: Reseña de la estación de referencia SEV1

2.5 Toma de fotografías

Para comenzar con la parte de fotografiado, lo primero que hicimos fue hacer una inspección de nuestra zona a estudiar. Como en cualquier trabajo topográfico, primero se tuvo que hacer una breve revisión de la zona con una visita al campo. Se observó la presencia de vegetación, para ver si era posible llevar a cabo el trabajo, pero no encontramos problemas derivados de ello. Otro punto por tener muy en cuenta fue la morfología del terreno, es decir, si nos encontrábamos en una superficie plana o con pendientes pronunciadas. Como se verá, corresponde con una zona bastante plana.

Después de esto, se verificó que los puntos de apoyo que se habían elegido no hubiesen sido borrados o tapados con ningún elemento, para que no hubiese problema en su posterior reconocimiento. Estos puntos son muy importantes ya que nos ayudarán a orientar nuestro levantamiento al sistema de referencia, para alcanzar la exactitud y precisión que se requiere.

Con todo esto listo, tocaba la planificación y ejecución del vuelo. En el mercado podemos encontrar muchos tipos de aplicaciones para realizar la planificación del vuelo y en nuestro caso usamos *Map Pilot*. Se decidió usar esta aplicación debido a que era específica para *DJI*, la marca de nuestro dron, y porque nos permitía volar de manera óptima. La planificación del vuelo se hizo mediante el uso de un *iPad*, mediante el cual se fue controlando todo el vuelo, como se puede ver en la Figura 18.



Figura 18: Ejemplo de plan de vuelo

A la hora de planificar nuestro vuelo tuvimos en cuenta el número de líneas de vuelo, el porcentaje de superposición de las imágenes tomadas, la velocidad y la altura del dron. Nuestras condiciones se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones del plan de vuelo

Parámetros	Valor
Líneas de vuelo	Dependiente del tramo
Porcentaje de superposición	> 60 %
Distancia de vuelo	Dependiente del tramo
Velocidad	10.7 m/s
Altura	100 m

Area:	11.07 hect
Distance:	4.57 km
Max Speed:	10.7 m/s
Duration:	8m 51s
Batteries:	1
Images:	120
Points:	480
Storage:	0.98 GB

Figura 19: Parámetros del plan de vuelo

El objetivo era cubrir todo el terreno, para poder visualizarlo de la mejor manera posible. Con respecto a las condiciones climáticas no hubo problemas, ya que nos encontramos con dos días soleados y sin viento que pudiese perturbar a nuestro dron. La temperatura también era la adecuada, así con este factor no tuvimos problema.

En cuanto a más factores externos que debíamos de considerar uno muy importante eran las líneas de tensión, ya podían obstruir el plan de vuelo. En nuestro caso no molestaban, por lo que no se tuvieron en cuenta. Una vez tenido en cuenta todo esto, se habilitaron zonas de aterrizaje y despegue para que se pudiese realizar la maniobra con seguridad.

Con la aplicación se poder ver el tiempo de vuelo que estará el dron, pero siempre aproximado, porque no es exacto. Siempre se tuvo el Vehículo Aéreo No Tripulado a la vista, en vista de cualquier circunstancia no prevista que pudiese ocurrir.

Es de comentar que al ser una carretera de un 1 kilómetro de longitud aproximadamente, se tuvieron que hacer varios vuelos para completar dicho kilómetro. No se podía hacer de un solo vuelo ya que la batería del dron no nos lo permitía. Muchas veces ni el propio plan de vuelo era posible llevarlo a cabo debido a las limitaciones que encontrábamos con respecto a la batería. Siempre se intentó hacer vuelos con una sola batería, pero en algunos de ellos no fue posible, por lo que se tuvieron que usar dos.

Por último, también debíamos de tener en cuenta la superposición de las imágenes entre los tramos próximos, como se muestra en la Figura 20.



Figura 20: Ejemplos de superposición entre tramos

2.6 Imágenes del vuelo

Una vez se ha realizado el vuelo, solo queda importar las imágenes de la memoria del dron al nuestro ordenador. Un ejemplo de cómo quedan estas imágenes se pueden ver en la Figura 21: Ejemplos de imagen tomada por el dron (1) y Figura 22.



Figura 21: Ejemplos de imagen tomada por el dron (1)



Figura 22: Ejemplos de imagen tomada por el dron (2)

2.7 Imágenes de los aeropuertos de comparativa

Con el objetivo de ver la calidad de las imágenes que se toman con nuestro dron, vamos a realizar una comparativa con varias imágenes de aeropuertos y, así también poder comprobar el estado de la pintura de la carretera en dichos sitios.

Los aeropuertos que se han elegido han sido tres de los más concurridos de España. Esto se ha realizado con la intención de que la pintura sufriera un desgaste similar a la que sufre una carretera, además de abrir el abanico para no solo centrarnos en uno.

Los aeropuertos elegidos son:

- Josep Tarradellas Barcelona-El Prat



Figura 23: Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat

Tabla 4. Localización Aeropuerto de Barcelona

Latitud	Longitud	Huso
41° 17' 50'' N	2° 4' 42'' E	31

- Madrid Barajas-Adolfo Suárez



Figura 24: Aeropuerto Madrid Barajas-Adolfo Suárez

Tabla 5. Localización Aeropuerto de Madrid

Latitud	Longitud	Huso
41° 17' 50'' N	2° 4' 42'' E	30

- Málaga - Costa del Sol



Figura 25: Aeropuerto Málaga-Costa del Sol

Tabla 6. Localización Aeropuerto de Málaga

Latitud	Longitud	Huso
36° 40' 30'' N	4° 29' 57'' E	30

Las características de las imágenes del PNOA son:

- Sistema Geodésico de Referencia ETRS89.
- Vuelo fotogramétrico equivalente a una escala de vuelo 1:15.000 (PNOA25) y 1:30.000 (PNOA50), con una cámara digital de alta resolución, equipada con sensor pancromático y 4 sensores multispectrales.
- Toma de datos GPS y sistema inercial IMU/INS en vuelo, para el procesado de la trayectoria del avión.
- Aerotriangulación digital por métodos automáticos.
- Modelo Digital de Elevaciones (MDE) calculado por correlación automática, o a partir de datos obtenidos con el sensor LiDAR.
- Ortoproyección a partir del Modelo Digital de Elevaciones depurado y editado.
- Generación de metadatos cumpliendo con la norma internacional ISO 19115:2003, con lo que se asegura la interoperabilidad de los datos generados.

Tabla 7. Características técnicas del PNOA

	GSD Vuelo (cm)	GSD Ortofoto (cm)	Exactitud planimétrica de la ortofoto (m)	Exactitud altimétrica del MDT (m)	Paso de malla
PNOA 50 cm	45	50	$RMSE_{X,Y} \leq 1$	$RMSE_{X,Y} \leq 2$	5mx5m
PNOA 250 cm	22	25	$RMSE_{X,Y} \leq 0,5$	$RMSE_{X,Y} \leq 1$	5mx5m
PNOA 10 cm	9	10	$RMSE_{X,Y} \leq 0,2$	$RMSE_{X,Y} \leq 0,2$	1mx1m

3 METODOLOGÍA

3.1 Procesamiento de fotografías

Una vez se ha realizado la toma de las fotografías, vamos a continuar con su procesamiento. Con la unión de todas ellas queremos realizar la ortofoto. Para ello, vamos a usar software, *Agisoft Metashape Professional*. Introducimos las fotos en el software, se cuenta con 336 fotos para procesar. Una vez hayamos introducido todas las fotos, calibramos las cámaras, para una estimación más exitosa de los parámetros de la orientación de la cámara. El resultado se puede ver en la Figura 26. Después de esto utilizamos el comando de orientar fotos, con una precisión alta y con el emparejamiento de fotos de manera genérica

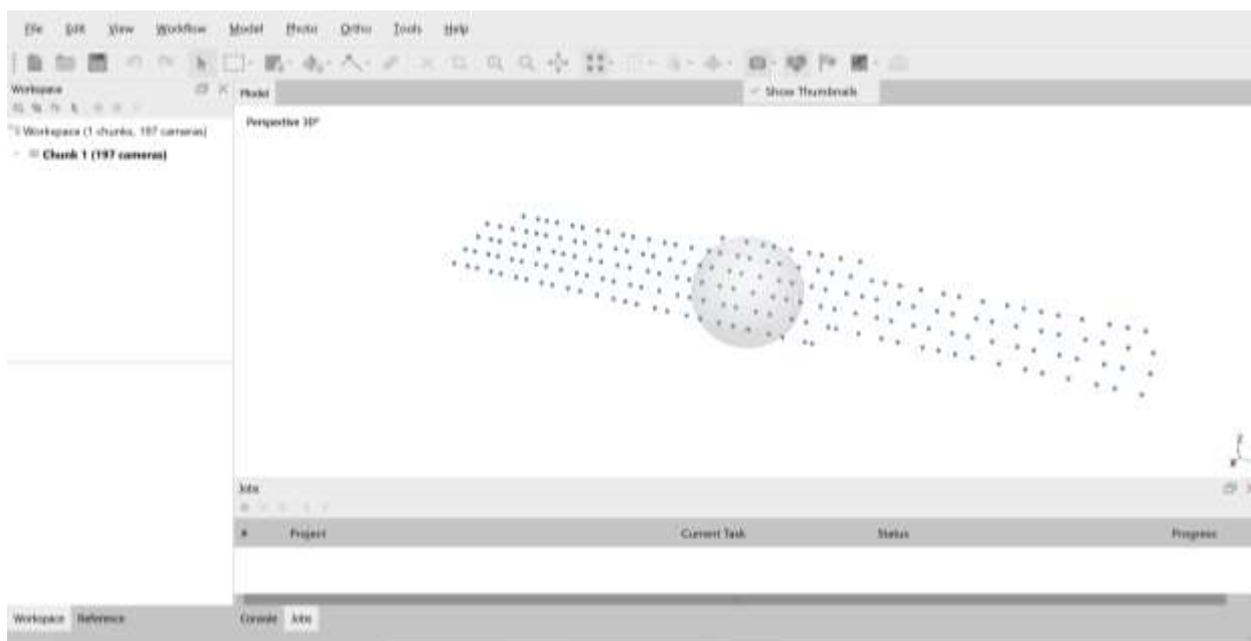


Figura 26: Adicción de las imágenes

Una vez hemos terminado con la orientación de las fotos, podemos ver todos los puntos en comunes de todas las fotografías, para poder generar la nube de puntos. El resultado del alineamiento de las fotografías es el siguiente, Figura 27:

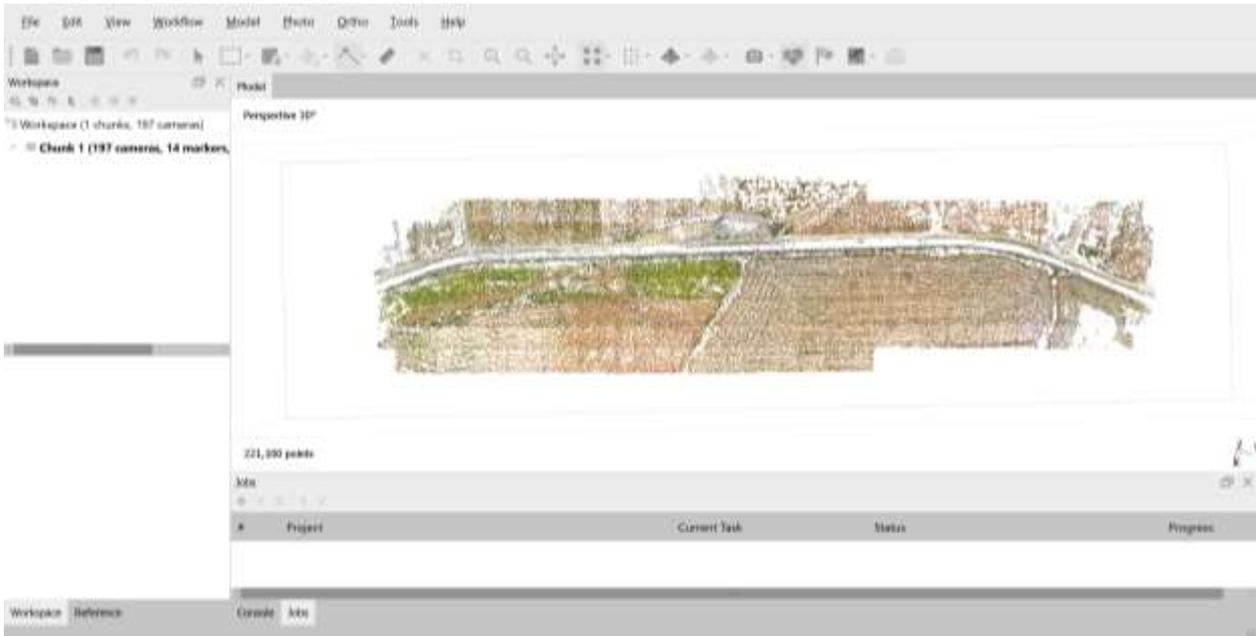


Figura 27: Fotos orientadas

Continuamos con la nube de puntos densas, utilizando una calidad alta, con la filtración de mapas de profundidad en opción moderado. Después de crear la nube de puntos creamos la malla. Es un terreno, con calidad alta y todas las demás opciones por defecto.

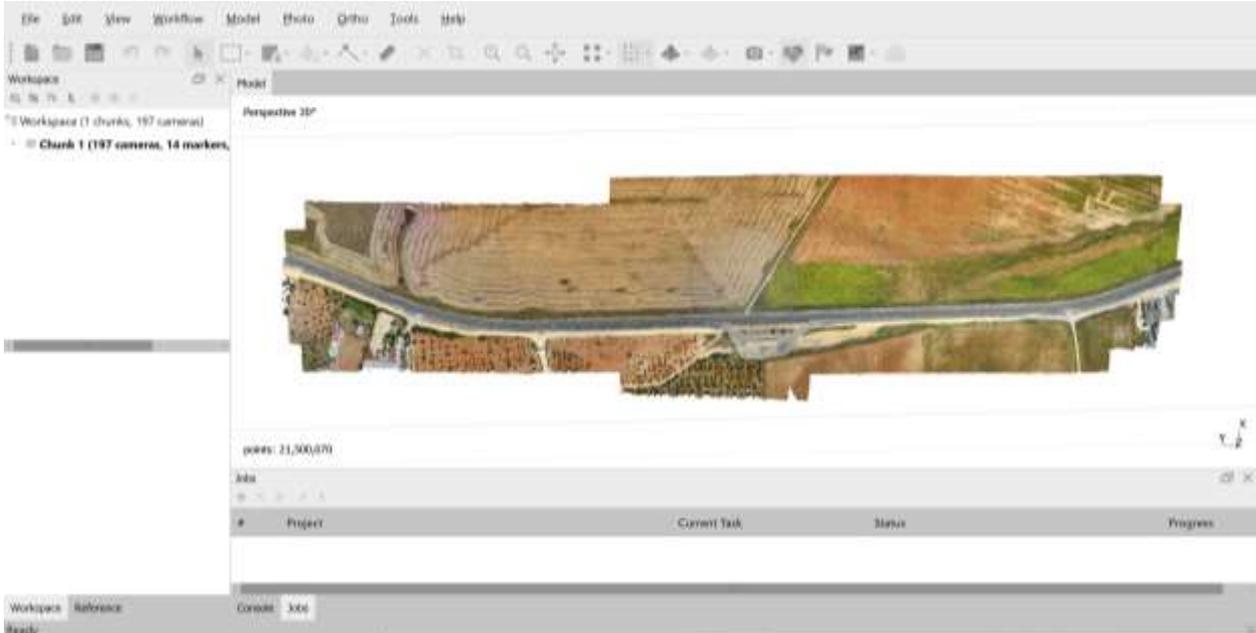


Figura 28: Malla

Tras realizar la malla, pasamos a colocar los marcadores o puntos de control. Estos son unos puntos marcados en el terreno, para que, a la hora de realizar la ortofoto, podamos georreferenciarla. De estos puntos conocemos todas sus coordenadas. Los colocamos de manera manual, primero en la malla y después nos aparecerá en cada foto de manera individual. En las fotos tendremos que volver a ajustar los marcadores de manera manual, ya que estos no están colocados de manera precisa.

Todos los puntos, con sus coordenadas y sus códigos se pueden consultar en el Anexo I. A continuación, se muestra un ejemplo de estos marcadores.

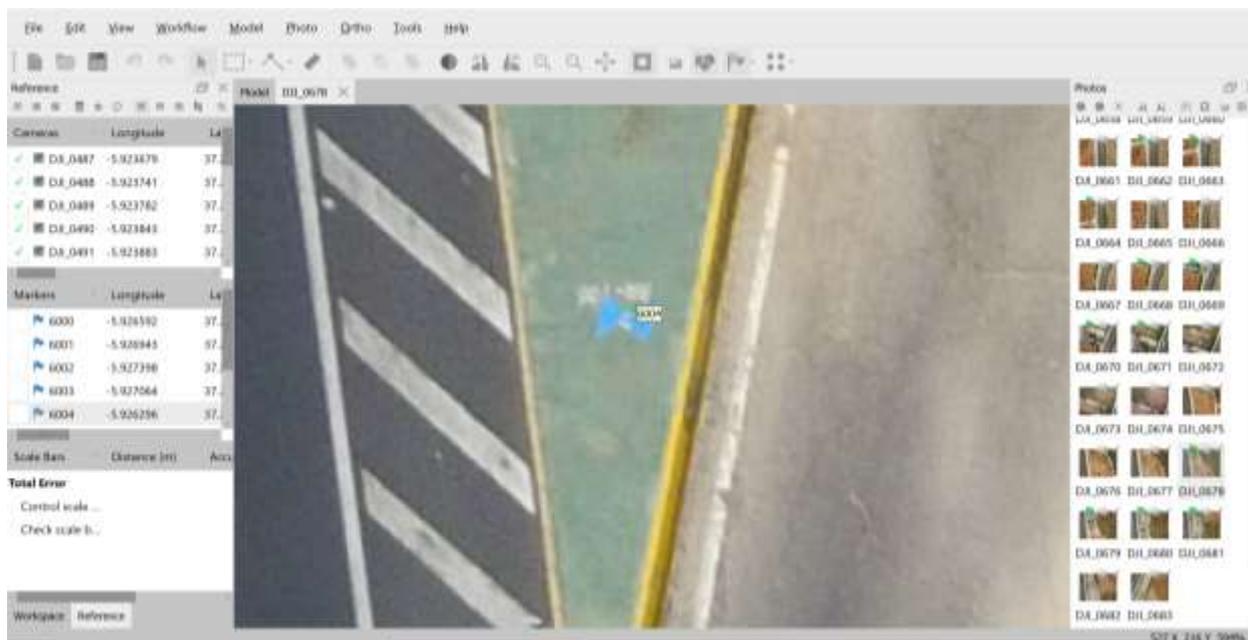


Figura 29: Marcador en foto individual

Una vez tengamos todos los marcadores, la ortofoto se vuelve a ajustar y con todos los marcadores quedan como se puede ver en la Figura 30.

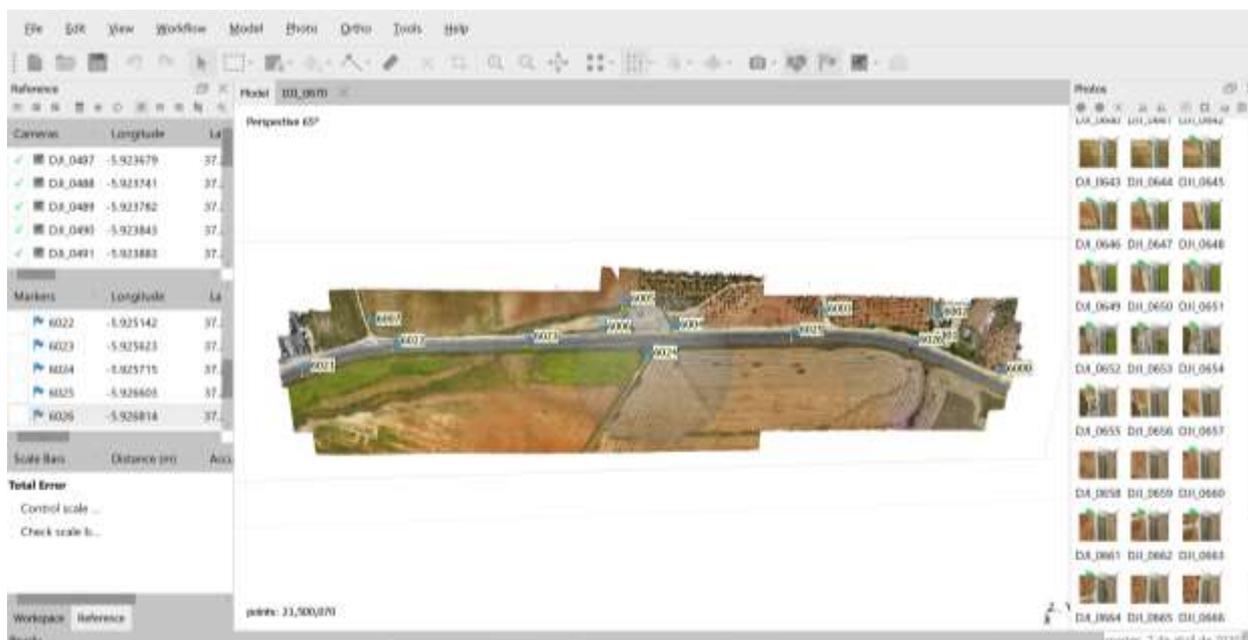


Figura 30: Malla con todos los marcadores

Una vez tenemos los marcadores colocados, rellenamos los huecos que están vacíos. El software no crea la estructura 3D a la perfección. Para ello, contamos con una opción con dicho nombre, que rellena todos los huecos vacíos y mejora la nube de puntos con una precisión del 50%, para corregir esa textura. No se elige el 100% de precisión ya que el tiempo de procesamiento es muy largo y la foto pesaría demasiado. Ya estaría finalizada la ortofoto, con su georreferenciación. Una vez hecho esto, la exportamos, que se puede ver a continuación en sus tres vistas. Figura 37, 38 y 39.

Por último, se ha de comentar que no se ha podido exportar el modelado 3D a PDF ya que nos encontrábamos con problemas computacionales. El tiempo requerido para esto era demasiado grande, además de que el programa comenzaba a fallar. Por esto se ha decidido no adjuntar el modelado 3D en este documento, pero se dejará en el drive para su consulta.

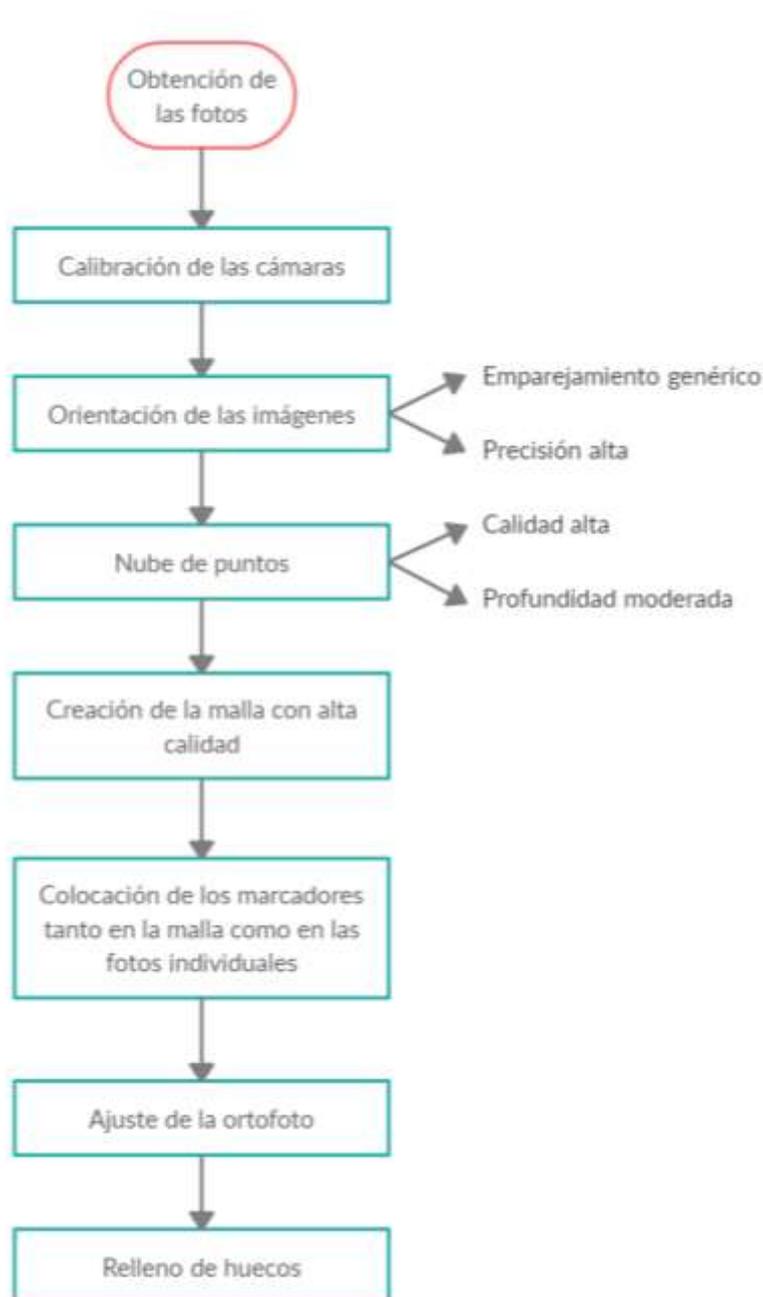


Figura 31: Diagrama de flujo de Agisoft Metashape Professional

3.2 Reconocimiento de elementos en las imágenes obtenidas

Una vez hemos modelado por completo las fotografías, vamos a llevar a cabo su procesamiento para poder hacer el reconocimiento del estado de la pintura. Se va a utilizar el programa QGIS, que es un Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto.

Para hacer las pruebas vamos a comenzar cortando pequeños trozos de foto, donde haya grandes superficies de pintura, para que así el procesamiento sea más rápido. Para toda la foto al completo, el algoritmo a llevar a cabo sería análogo.



Figura 32: Recorte de la ortofoto

Una vez cortada la foto, aplicamos una serie de filtros, para intentar que la foto sea binaria y que se pueda identificar la pintura con mayor claridad. Empezamos separando la banda 1 de la misma, que corresponde con los colores rojos almacenados.



Figura 33: Banda 1 de la imagen

Una vez separada esta banda, aplicamos el *resampling filter*, que tenemos directamente en el panel de herramientas de QGIS. Este filtro remuestrea en un primer paso la cuadrícula dada al tamaño de celda de remuestreo deseado, expresado como múltiplo del tamaño de celda original (factor de escala). Se trata de una ampliación a través de la cual los valores de celda se agregan como medias ponderadas del área de celda. El segundo paso es la reducción al tamaño de celda original mediante la interpolación de *splines*. Especialmente para distancias de búsqueda más grandes, esta es una alternativa relativamente rápida para operaciones simples de filtro de paso alto y bajo.

Por último, para aislar los blancos y negros usamos la calculadora ráster.



Figura 34: Imagen recortada binaria

Una vez hecho todo esto, pasamos a depurar las imágenes para que se muestre la mayor parte de la pintura, quitando todo el ruido posible.

Para llevar a cabo esta depuración, se va a cambiar de software, se va a hacer uso de MATLAB. Como se ha comentado, es aislar el máximo de pintura posible para así solo tener que analizar lo que nos interesa de la imagen y además que los tiempos de ejecución de los programas sean más cortos, ya que como se puede ver en las imágenes, constan de mucho ruido.

Para ello vamos a usar un código que se adjunta en el Anexo IV. Básicamente, lo que tratamos en él es quedarnos solamente con los píxeles exteriores, con el comando morfológico *'remove'*. Esta opción establece un píxel en sí, si todos sus 4 vecinos conectados están, dejando así solo los píxeles de límite activados (01).

Después, utilizamos el comando *'bwareafilt'* para filtrar la imagen según las áreas que contengan los polígonos generados. Este comando extrae todos los componentes conectados (objetos) de la imagen binaria, donde se encuentra el área de los objetos en el especificado, produciendo otra imagen binaria. devuelve una imagen binaria que contiene solo los objetos que cumplen los criterios, como se ve en la Figura 36.



Figura 35: Imagen con los píxeles exteriores

Lo límites se han ido ajustando manualmente para buscar una imagen compromiso en la que no existiese ni mucho ruido ni eliminásemos gran parte de la pintura para quedarnos sin ruido.



Figura 36: Imagen con la pintura aislada

Ya solo queda identificar cada polígono con lo que debe de ser de señalización horizontal. Para ello vamos a convertir nuestra capa ráster a vectorial y vamos a filtrar para poder así identificar la señalización y de paso calcular el área que tiene cada polígono.

Se muestra una ampliación en la Figura 36 para que se pueda apreciar dicho reconocimiento.

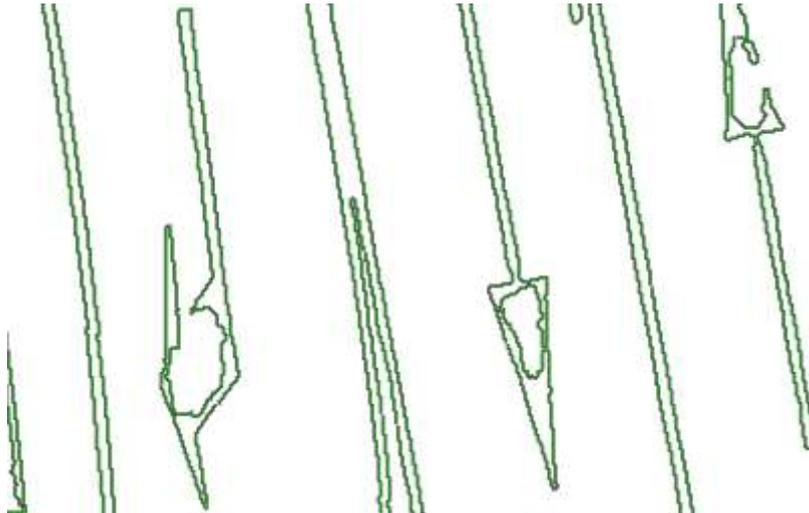


Figura 37: Reconocimiento de la señalización horizontal

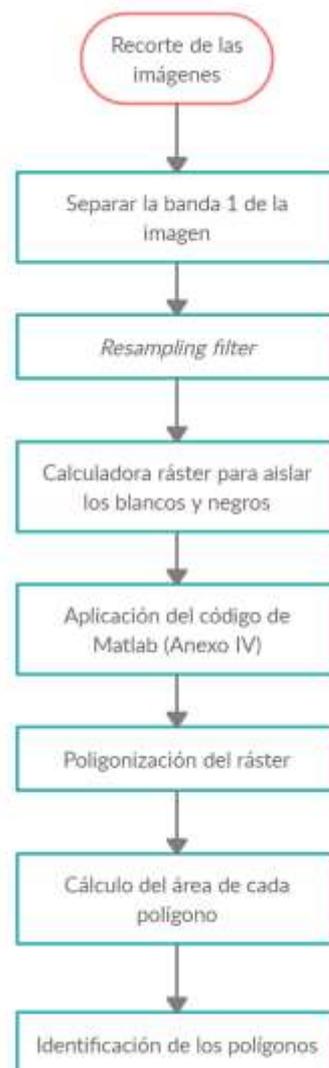


Figura 38: Diagrama de flujo de QGIS

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado vamos a presentar los resultados obtenidos. Primero comenzaremos con los resultados del vuelo del dron. Para ello se va a presentar primero la ortofoto generada, en sus tres vistas, para que se pueda apreciar el relieve 3D generado.

Después de esto se presentarán los resultados del reconocimiento de la señalización horizontal, tanto como para la ortofoto generada, como para los tres aeropuertos que se han elegido, sacando dichas imágenes del PNOA. Así realizamos la comparación anteriormente descrita

4.1 Resultado del vuelo fotogramétrico

Mediante la realización de los pasos mencionados anteriormente hemos obtenido la ortofoto y el modelo digital que se presenta en la Figura 37. Este apartado recoge la segunda fase de este trabajo, ya que la primera se ha mencionado anteriormente que es meramente experimental.



Figura 39: Planta de la ortofoto



Figura 40: Vista de la ortofoto (1)



Figura 41: Vista de la ortofoto(2)



Figura 42: Detalles modelo 3D



Figura 43: Detalles modelo 3D

4.2 Resultado del reconocimiento de la pintura en la ortofoto generada

Para no realizar el reconocimiento la ortofoto completa, se han tomado los tramos más significativos de la carretera. Esto se ha hecho así por dos motivos, el primero de ellos es relativo al mencionado anteriormente. Contamos con una ortofoto de gran tamaño, por lo que todos los procesamientos y los filtros que se tienen que aplicar tardarían una gran cantidad de tiempo. Así que se ha realizado de esta manera para agilizar el proceso y que los tiempos de espera no fuesen muy grandes.

El segundo de ellos es que, al ser el vuelo a una cota significativa, apenas podríamos apreciar los cambios de color en la pintura, pero gracias a la calidad de las imágenes, podemos ampliar las mismas sin perder ningún tipo de detalle.

Los elementos que se han identificado están en verde, ampliándose algunos de ellos para facilitar la visibilidad de estos.

A continuación, presentamos los resultados obtenidos.



Figura 44: Recorte de la ortofoto (1)

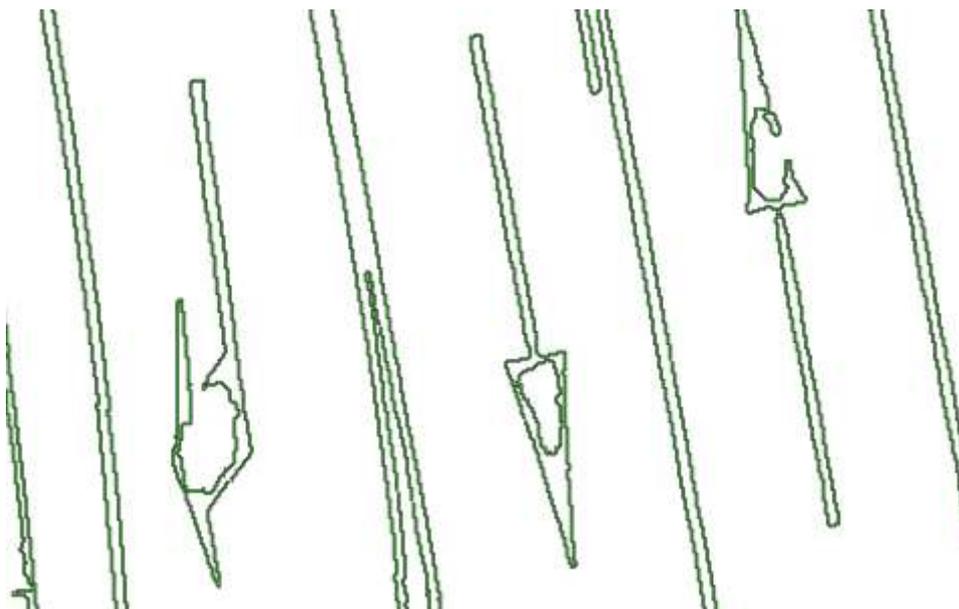


Figura 45: Reconocimiento de la pintura (1)



Figura 46: Recorte de la ortofoto (2)

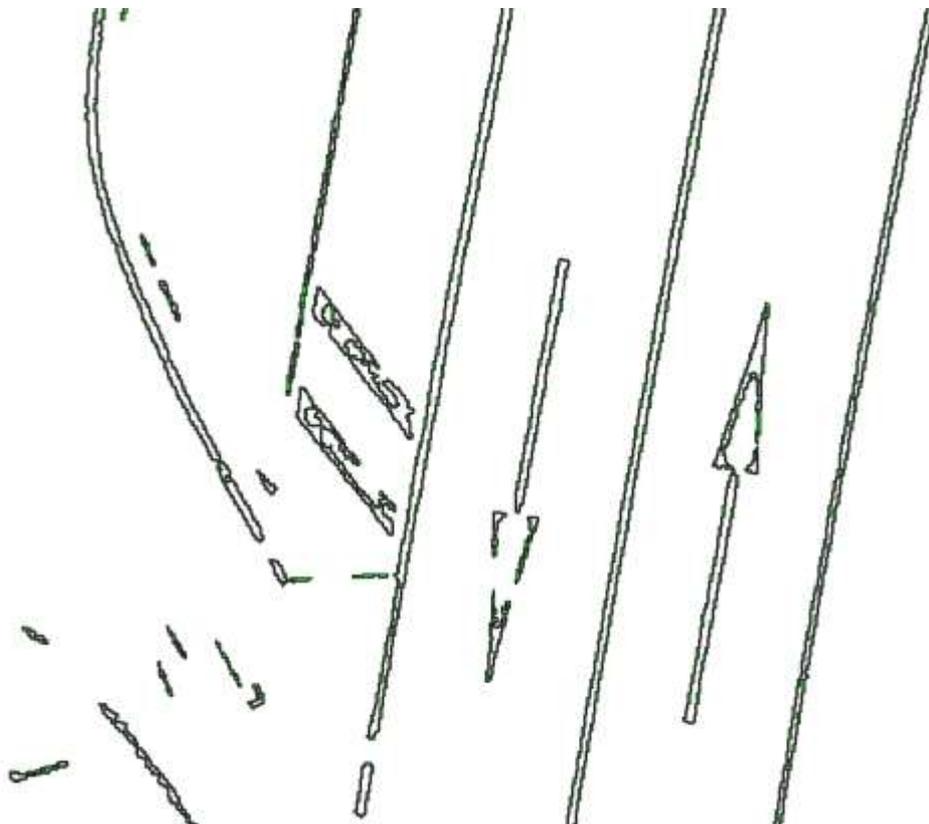


Figura 47: Reconocimiento de la pintura (2)

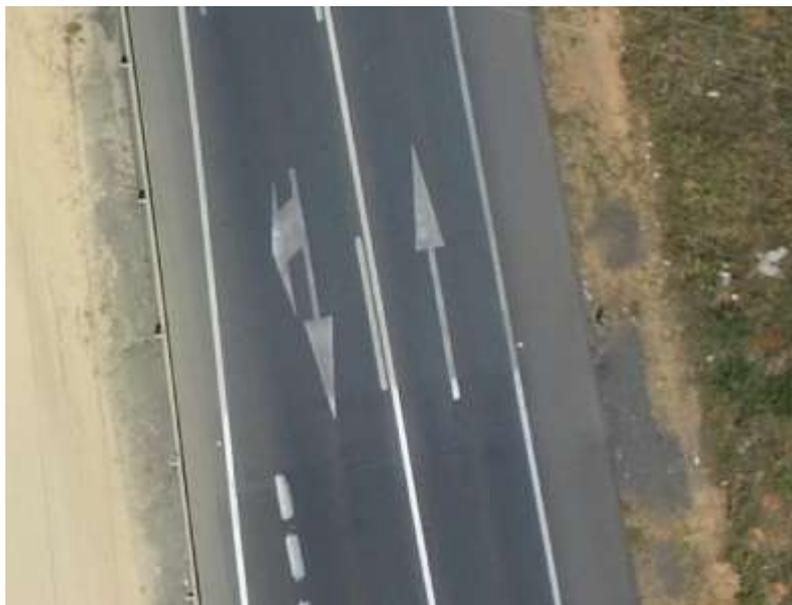


Figura 48: Recorte de la ortofoto (3)

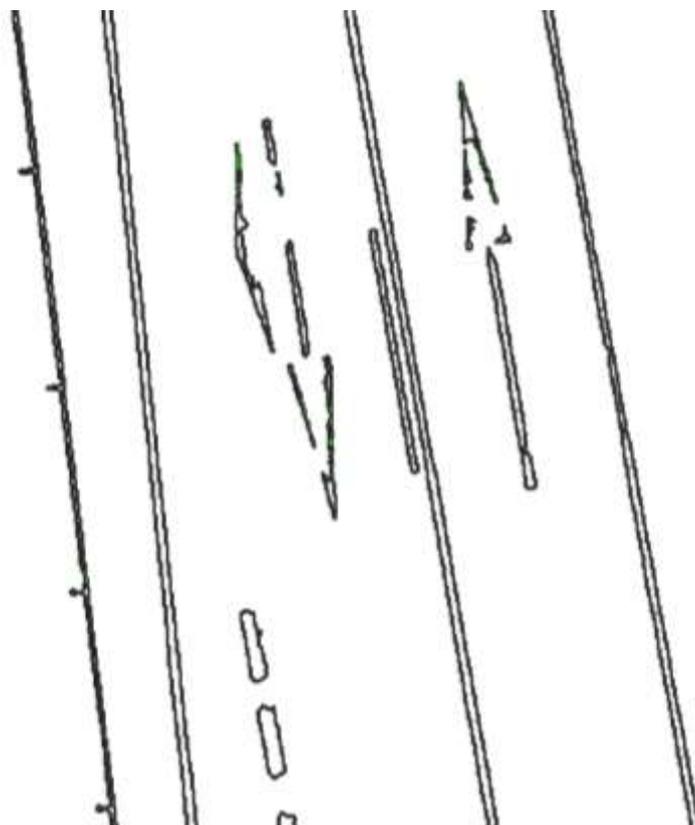


Figura 49: Reconocimiento de la pintura (3)



Figura 50: Recorte de la ortofoto (4)

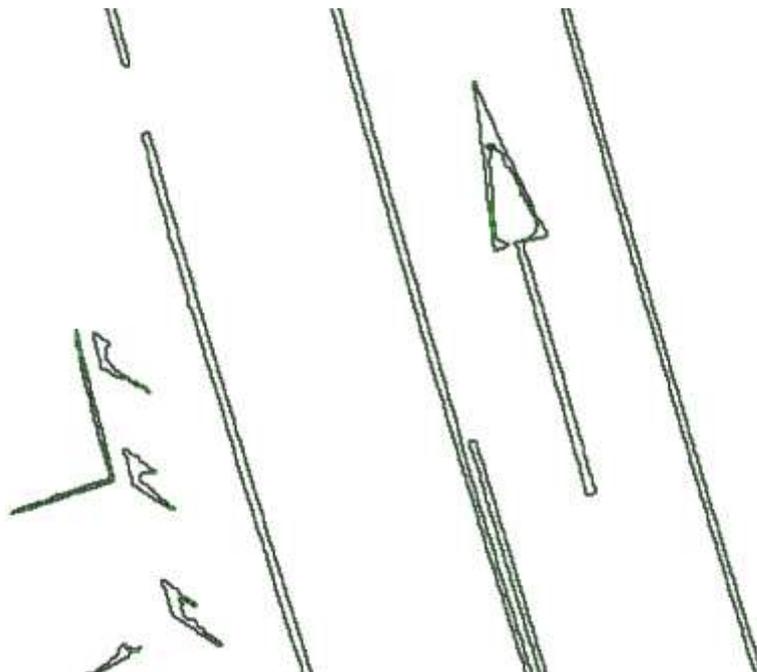


Figura 51: Reconocimiento de la pintura (4)

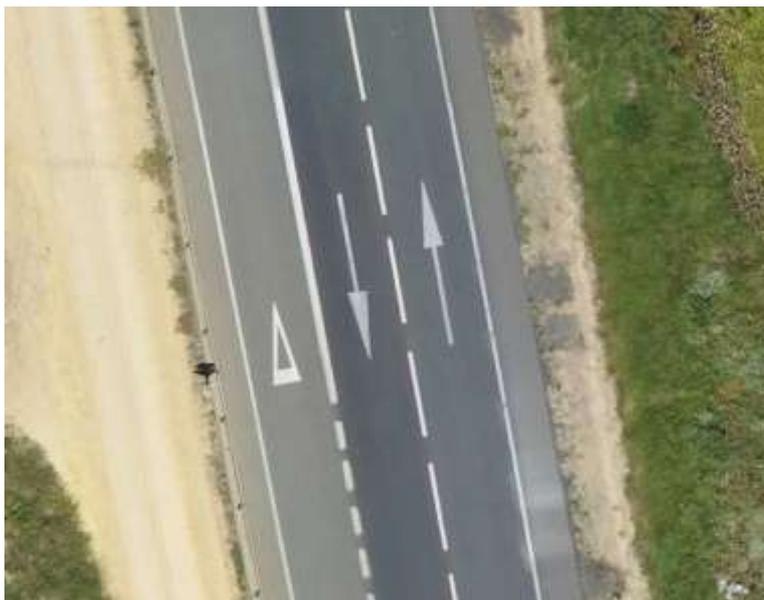


Figura 52: Recorte de la ortofoto (5)

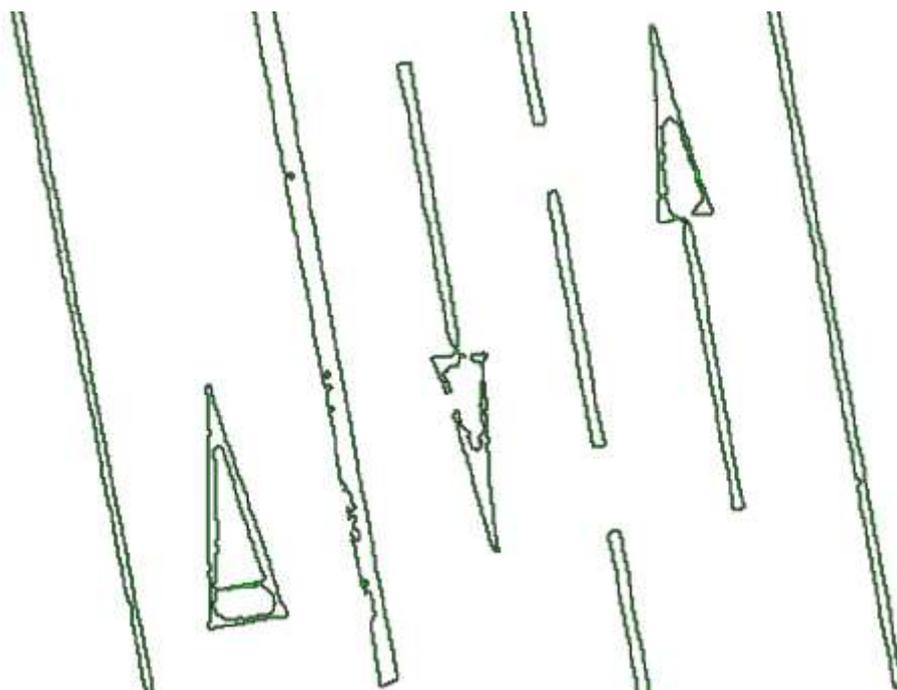


Figura 53: Reconocimiento de la pintura (5)

4.3 Resultado del reconocimiento de la pintura en las imágenes obtenidas del PNOA de los distintos aeropuertos

Vamos a seguir el mismo procedimiento que hemos llevado a cabo con los recortes de la ortofoto, pero ahora con imágenes tomadas del PNOA y para los aeropuertos anteriormente descritos.

Los elementos que se han identificado están en verde, ampliándose algunos de ellos para facilitar la visibilidad de estos.

A continuación, presentamos los resultados obtenidos.

4.3.1 Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat



Figura 54: Recorte Aeropuerto de Barcelona (1)

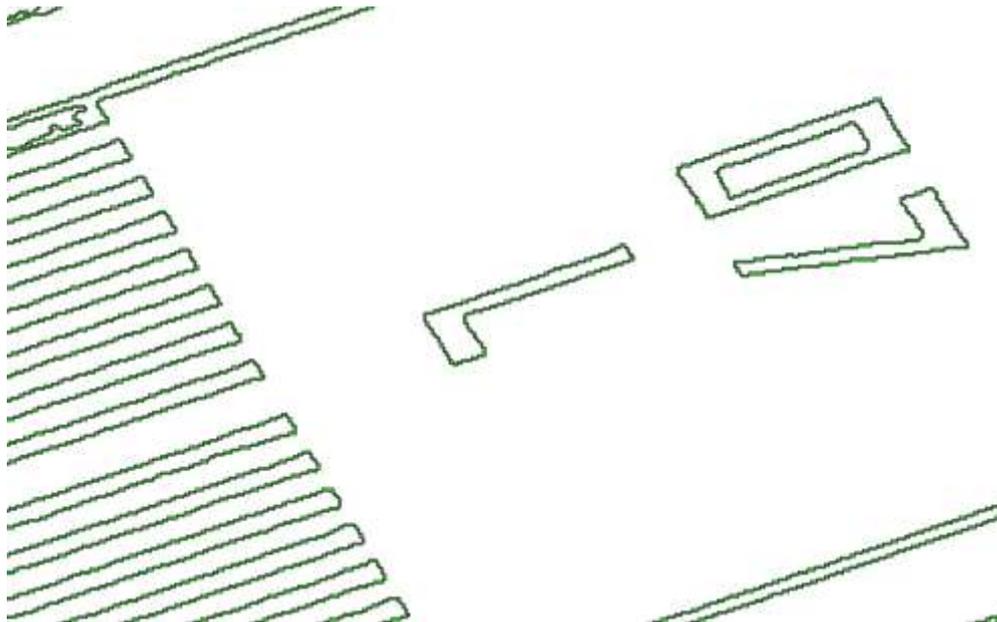


Figura 55: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Barcelona (1)



Figura 56: Recorte Aeropuerto de Barcelona (2)

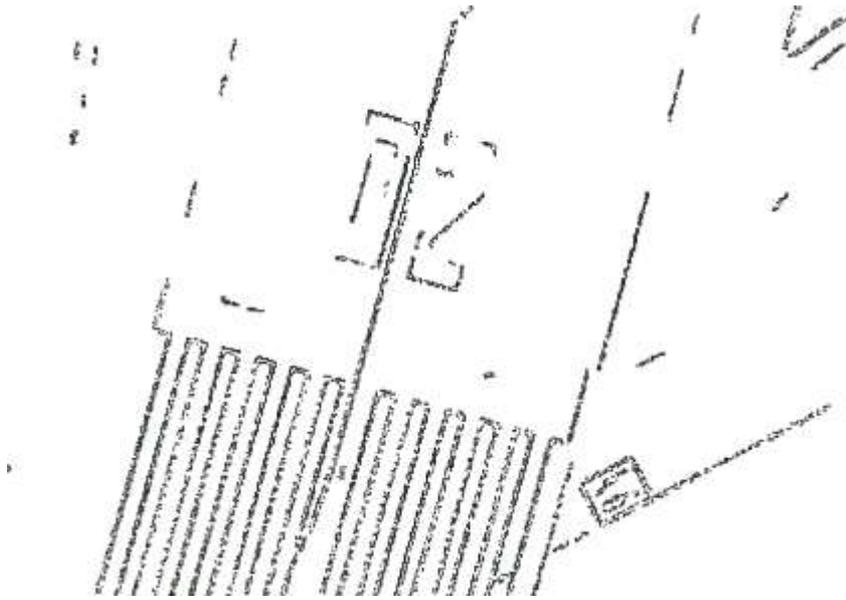


Figura 57: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Barcelona (2)

4.3.2 Aeropuerto Madrid Barajas-Adolfo Suárez



Figura 58: Recorte Aeropuerto de Madrid (1)

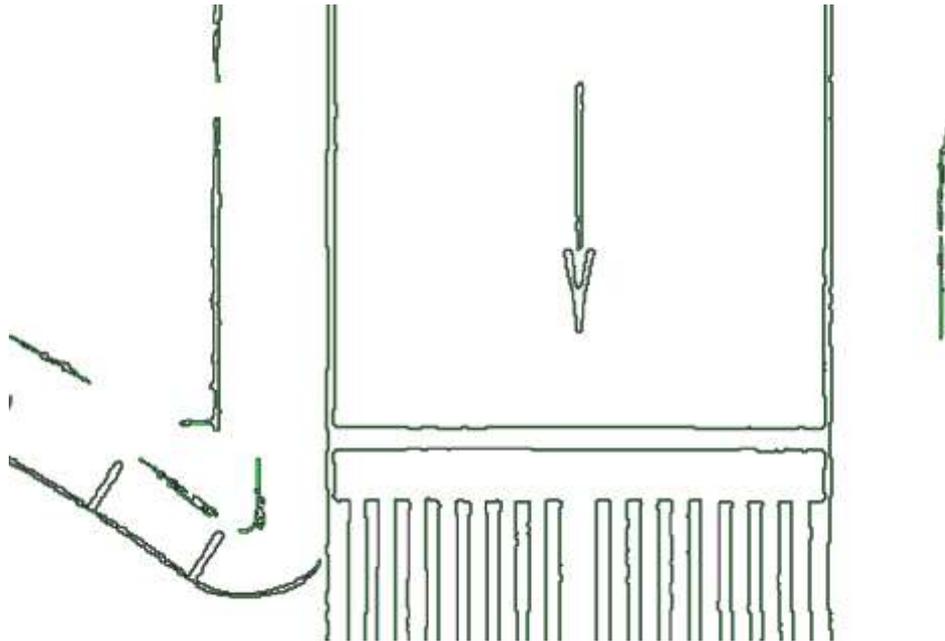


Figura 59: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Madrid (1)

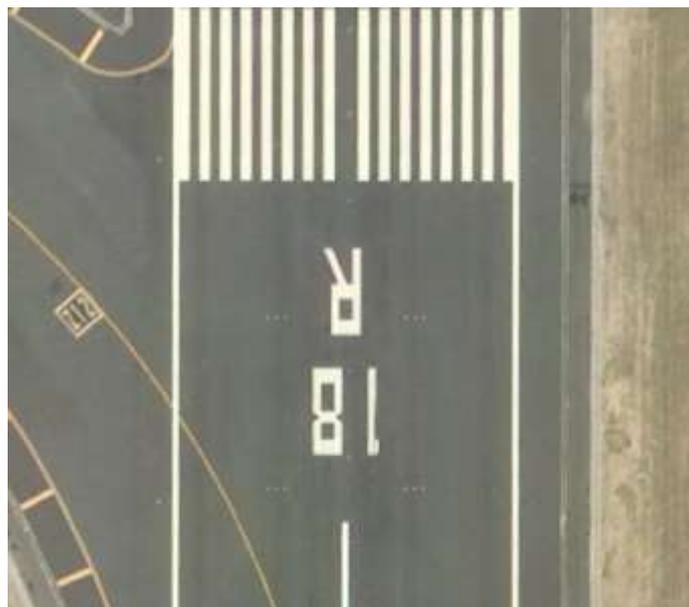


Figura 60: Recorte Aeropuerto de Madrid (2)

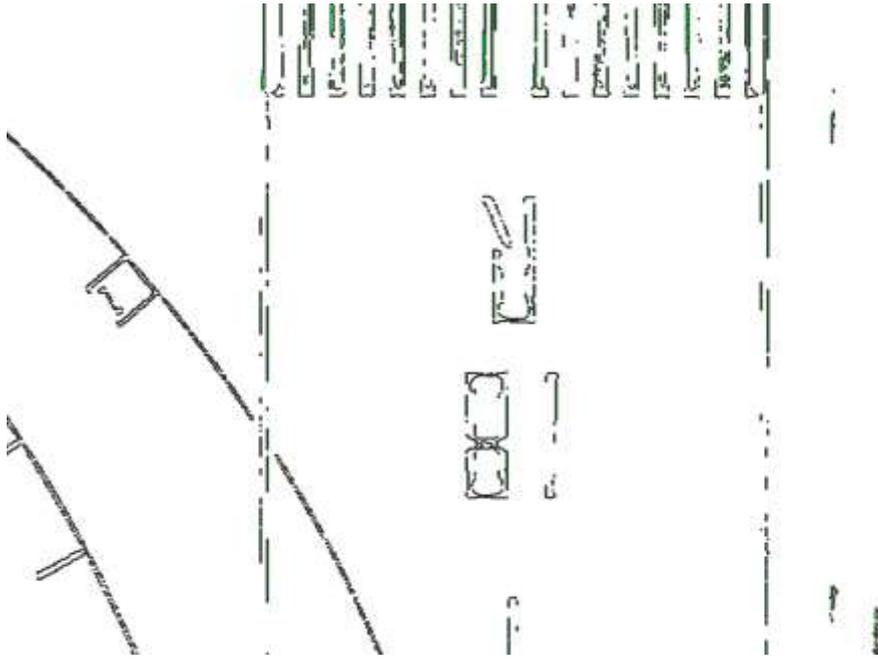


Figura 61: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Madrid (2)

4.3.3 Aeropuerto Málaga-Costa del Sol



Figura 62: Recorte Aeropuerto de Málaga (1)

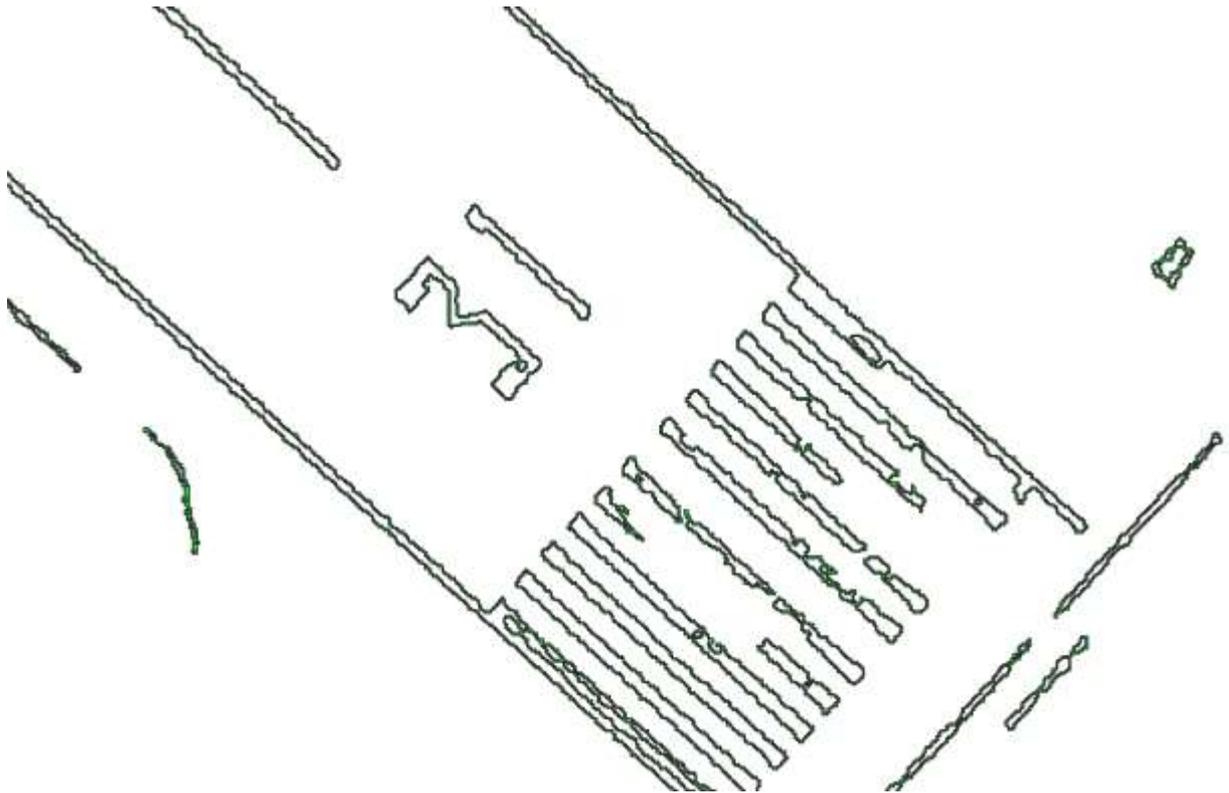


Figura 63: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Málaga (1)



Figura 64: Recorte Aeropuerto de Málaga (2)

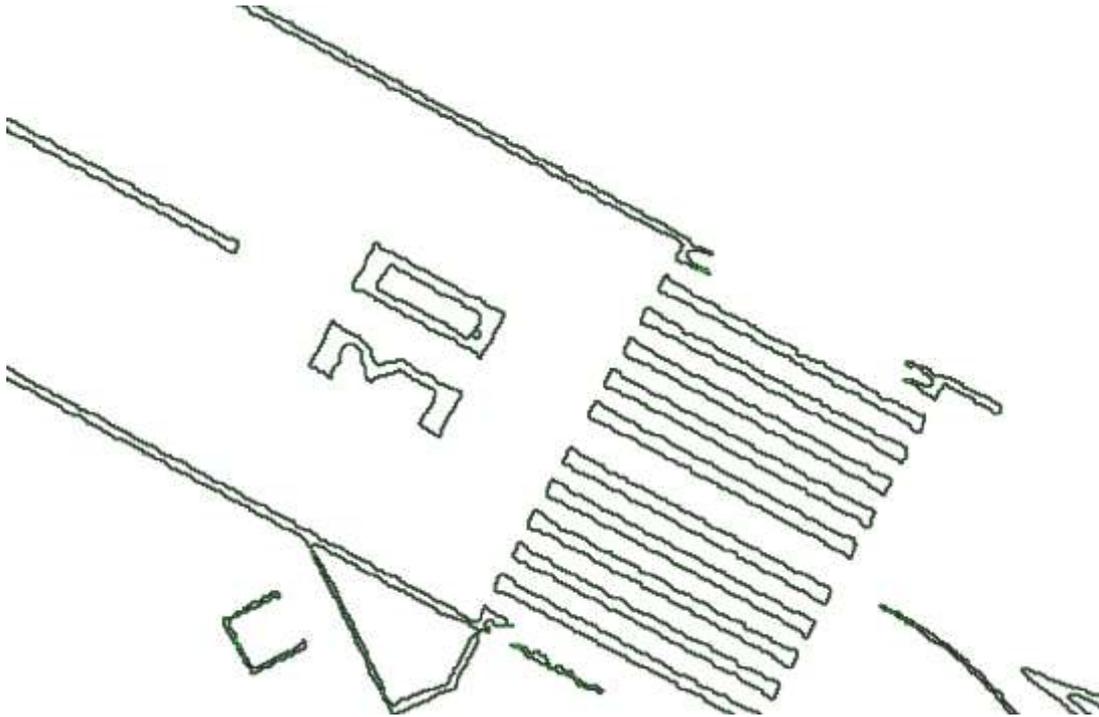


Figura 65: Reconocimiento de la pintura Aeropuerto de Málaga (2)

4.4 Discusión

Como hemos podido observar, las imágenes de los drones nos muestran mayor calidad que las que se han tomado desde aviones. Esto nos ayudaría a tener un mejor reconocimiento de todos los objetos que queremos mostrar en las imágenes. Además, con el uso de dron podemos llegar a lugares donde el satélite no llega, porque la gran virtud de esta tecnología es la posibilidad de acceder a lugares de difícil acceso o peligroso en poco tiempo, evitando así cualquier riesgo.

Una vez obtenidas las imágenes, tenemos la posibilidad de realizar más operaciones con ellas, como en nuestro caso, una imagen en 3D, en la que podemos apreciar las alturas y los cambios de rasantes. Esto es algo que sería impensable con las imágenes de satélite.

Sin embargo, esto lleva un trabajo adicional asociado si lo queremos obtener de esta manera, ya que con solo meter un enlace en *QGis* se tiene la misma imagen renderizada, pero con menor calidad. Este es el coste que tenemos que pagar para tener una imagen mejor.

Este no es el único trabajo extra que tenemos, ya que hay que tener en cuenta muchos factores más. Principalmente el meteorológico, ya que, si nos encontramos en un día lluvioso o poco soleado, las imágenes tendrán menor luz, por lo que no se podrán identificar bien los objetos que queremos plasmar en nuestras imágenes. Otro trabajo a añadir sería la planificación del vuelo, la velocidad, altura, vuelo... y un sinfín de variables más que hay que tener en cuenta.

Por último, si queremos tener nuestras fotos referenciadas en el plano, tendremos que tomar puntos de apoyo a la hora de hacer la toma de imágenes.

Todo es trabajo adicional, que será compensado por la calidad que tendremos en nuestras fotos y por la precisión de las medidas. Solo quedaría ver si compensa o no obtener esta calidad con un mayor esfuerzo en la toma de datos.

A la hora del reconocimiento de imágenes, nos vemos influenciados por la toma de decisión anterior. Al tener una mayor calidad, podemos llevar el reconocimiento de imágenes de una manera óptima. Esto es apreciable en los resultados. En los dos primeros aeropuertos tenemos unas imágenes bastante nítidas, pero en el tercero las imágenes son muy pobres y esto es debido a la poca calidad que tiene la imagen inicial.

El tener unas mejores imágenes también nos lleva a un mayor tiempo de computación, por lo que tenemos que tomar la misma decisión que en el caso anterior, una preferencia a una calidad mayor con un mayor trabajo o menor calidad, pero con menos trabajo.

Aun así, se puede decir que se ha conseguido el objetivo de este trabajo de manera satisfactoria, ya que se puede apreciar en los resultados que se adjuntado.

5 CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una metodología para extraer información viaria desde imágenes aéreas. Con la entrada del uso de los drones, las imágenes de partida son procedentes de un vuelo dron, pero también se ha querido testear en otras imágenes aéreas y para ello se ha recurrido a las proporcionadas por el plan PNOA. El fin de esta identificación era plantear un proceso para ser posteriormente automatizado.

Tras el desarrollo del proyecto, se han cumplido los siguientes objetivos:

- Aprendizaje de la metodología a llevar a cabo para el levantamiento fotogramétrico de un área
- Profundización en la gestión de imágenes ráster
- Empleo de filtros

Primero se llevó a cabo el vuelo sin ningún tipo de problemas y después el reconocimiento de imágenes. Para completar esta meta teníamos que seguir unos pasos que han sido ejecutados de manera adecuada. En la parte de filtrado hemos conseguido aislar el objeto del resto del entorno, así como quitar cierta densidad de puntos que ralentizaban los cálculos posteriores. Después de ello, hemos sido capaces de realizar correctamente la segmentación que nos ayuda a la hora de la identificación del objeto.

Como conclusiones:

- Es posible extraer información viaria dado sobre todo el color de la misma.
- La resolución espacial ayuda a limitar las formas a detectar
- La metodología ha funcionado correctamente tanto las imágenes del PNOA como las del dron

A pesar de todo esto, se ha demostrado que la infraestructura que se ha creado es mejorable.

Como líneas de un trabajo futuro:

- Mejora de filtros , se pueden investigar un poco más los filtros que se han usado ya que es necesario investigar más en la clasificación e identificación de cada tipo de imagen. El reconocimiento por métodos geométricos de la señal viaria en concreto, como la dirección de las líneas, el área...

Debido a estudios, hoy día podemos saber que la Tierra no tiene una forma regular. Dado que está achatada por los polos, la figura que se utiliza en la geodesia y que más se parece es un elipsoide oblato. Debido a esto, hacer cálculos matemáticos en ella representa grandes dificultades. Esta se define como superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre.

I. Elipsoide de referencia

Como hemos comentado, la superficie de la Tierra se puede considerar como un elipsoide oblato [ORG 2005]. Esto no es más que la figura engendrada al girar una elipse alrededor de uno de sus ejes principales. En Geodesia recibe el nombre de elipsoide de referencia y se define por dos parámetros geométricos, Semieje mayor y semieje menor, Figura 5.



Figura 66: Elipsoide de referencia [ORG 2005]

Este modelo es el que más se asemeja a la Tierra, pero se han propuesto muchísimos diferentes, ya que cada uno de ellos se adapta mejor a la zona concreta de la Tierra que se quiera estudiar. Aquí en España, uno de los más comunes es el WGS84 (*World Geodetic System 1984*). Este sistema geodésico de coordenadas geográficas también es usado mundialmente, ya que permite localizar cualquier punto de la Tierra por medio de tres coordenadas (x, y, z) . Sus parámetros principales son:

Tabla 8. Parámetros principales WGS84

Parámetros	Valor
Semieje mayor (a)	6.378.137,0 m
Semieje menor (b)	6.356.752,31424 m
Achatamiento (f)	1/298.257223563

El que tiene asociado España es el GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*) [VS 2020], que también es muy

usado, aunque no tanto como el WGS84, ya que este es más internacional. Los parámetros principales que definen a este elipsoide de referencia son:

Tabla 9. Parámetros principales GRS80

Parámetros	Valor
Semieje mayor (a)	6.378.137 m
Semieje menor (b)	6.356.752,314 m
Achatamiento (f)	1/298.257222

Como se puede observar, ambos son casi iguales, ambos tienen la misma distancia en el ecuador, pero el GRS80 está un poco más aplanado.

II. Geoide

Con el avance de la tecnología y de los instrumentos de medidas, además de las infinitas mediciones que se han hecho alrededor de todo el mundo, se ha podido descubrir cuál era la verdadera forma de la Tierra, ya que es imposible representarla por una figura geométrica de revolución. Esto es debido a la multitud de irregulares que tiene la superficie terrestre [RUD 2020].

Debido a estas irregularidades y a la profundidad de los océanos, el geoide no es completamente conocido, ya que no se puede saber la fuerza de gravedad en las profundidades de estos. Esta distribución de la gravedad superficial de una manera tan desigual unida a las perturbaciones locales que encontramos hace que encontremos zonas por encima y por debajo del geoide. Esto se debe a la composición de la Tierra y a la presencia de grandes masas de agua.

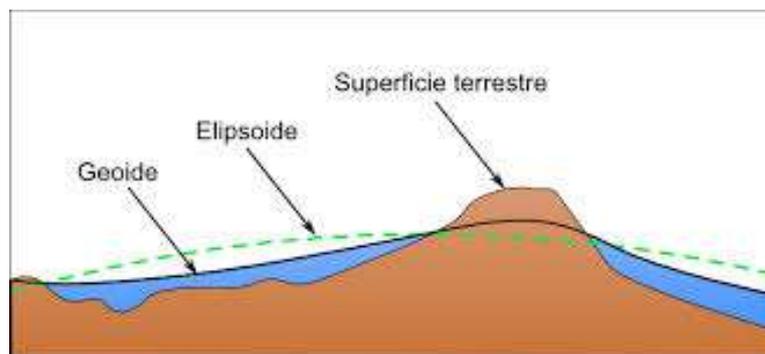


Figura 67: Relaciones geométricas entre el elipsoide, el geoide y la superficie de la Tierra [RUD 2020]

III. Datum

El Datum lo podemos definir como *conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la Tierra para definir el sistema de coordenadas geográfico*. Básicamente, son los conjuntos de puntos donde el geoide y el elipsoide de referencia coinciden [DCN 2016].

Como sabemos, la Tierra no es un cuerpo regular, por lo que en cada zona se escogerá el modelo de cuerpo que más se ajuste a dicha zona. Cada Datum estará compuesto por:

- Un elipsoide de referencia.
- Un punto en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes.

Una vez que se tenga El Datum y todas sus componentes, se puede realizar la cartografía del lugar, ya que conocemos los parámetros de referencia que relacionan al geoide y el elipsoide con la localización geográfica que tiene.

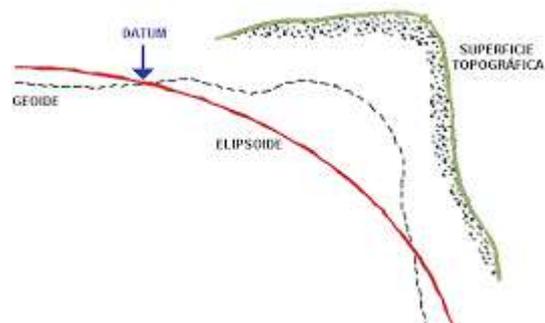


Figura 68: Componentes del Datum [DTP 2020]

Es importante saber que el sistema GPS siempre trabaja con el Datum WGS84, pero los navegadores pueden convertir, en tiempo real, las coordenadas al sistema que se les defina. Por eso es importante tener conocimiento que coordenadas nos está proporcionando el GPS, ya que el error que cometemos más el que normalmente da el navegador GPS, puede ser del orden de 200 m.

IV. Altitud

La altitud es la coordenada que representa la altura de un punto sobre la superficie. Pero esto puede causar confusión, ya que no siempre queda claro sobre qué superficie es. Según la RAE, su definición será sobre el nivel del mar y esto no siempre será correcto. Hay que tener claro sobre qué superficie de referencia se está midiendo esa altura. Para ello vamos a definir dos conceptos [ACO 2020]:

- Altitud elipsoidal: es la altura medida teniendo como superficie de referencia el elipsoide hasta el punto de la superficie terrestre deseado. Se obtiene usando técnicas de posicionamiento global (GPS), dependientes del elipsoide de referencia que escogamos.
- Altura ortométrica: tiene como superficie de referencia la superficie del geoide, que es equivalente a la altura sobre el nivel del mar, hasta el punto de la superficie terrestre. Se consigue por técnicas de nivelación topográfica más observaciones gravimétricas. Son las más comunes, ya que son las que se usan en los mapas y en el lenguaje coloquial.

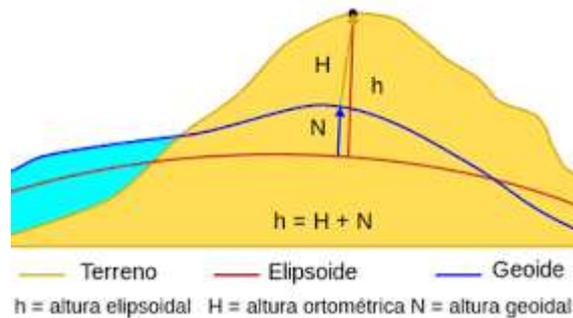


Figura 69: Altura elipsoidal, ortométrica y geoidal [ACO 2020]

V. Sistemas de referencia

Como se ha comentado, la geometría aproximada de la Tierra es un geoide, con una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre [DCN 2016]. Para poder conocer donde se encuentran los puntos, se utilizan los sistemas de referencia. Estos sistemas de referencia deben de cumplir los siguientes requisitos:

- Existencia de un punto único.
- Que el sistema de proyección usado para localizar el punto quede perfectamente identificado.
- Se pueda tener referencia de la coordenada Z del punto.

Con respecto a los sistemas de referencia, podemos hacer una clasificación general de ellos, encontrando dos tipos:

- Sistema de referencia global: es de carácter universal y totalmente válido para cualquier punto del planeta.
- Sistema de referencia local: Su objetivo es el desarrollo de la cartografía de un espacio geográfico o región determinada. Con ellos lo que se quiere conseguir es más precisión en dicha zona, ya que los globales son más generales.

Las coordenadas sobre la superficie del elipsoide se pueden representar de la siguiente manera.

- Longitud (λ): es el ángulo que se define en la distancia entre el punto requerido y el Meridiano de Greenwich, tanto hacia el este como a el oeste.
- Latitud (φ): se define como la medida angular de la distancia entre el punto requerido y el Ecuador, tanto hacia el norte o hacia el sur.

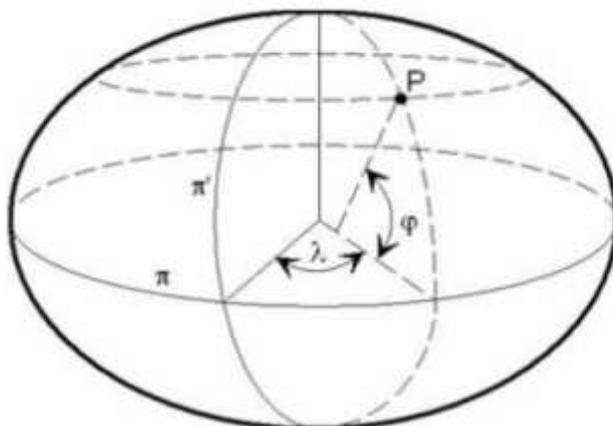


Figura 70: Coordenadas geodésicas en el elipsoide de referencia [IGM 2020]

Al existir muchos geoides, encontramos muchos sistemas de referencias. Uno de ellos es el WGS84, que está asociado al elipsoide de mismo nombre. Es el usado por el GPS desde 1987. Se estableció este sistema usando observaciones Doppler al sistema de navegaciones GNSS o Transit, y se fue adaptando en la forma de lo posible a toda la Tierra. El sistema se define como:

- Origen en el centro de masas.
- Eje Z paralelo a OCI (Origen Convencional Internacional), que es la posición promedio del eje de rotación terrestre durante los años 1900 a 1905.
- Eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z.
- El eje Y es ortogonal a los anteriores y que pasa por el origen.

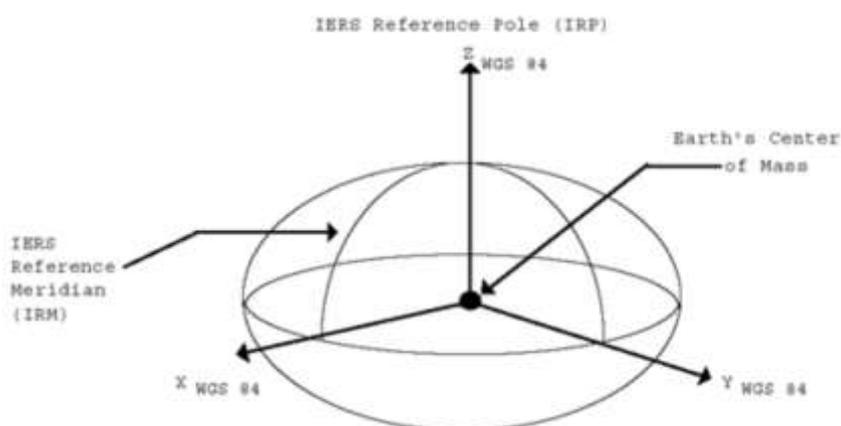


Figura 71: Sistema de referencia WGS84 [IGM 2020]

El que vamos a usar en nuestro caso será el ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). Este está basado en el elipsoide GRS80, definido anteriormente. Se diferencia en 1 m en el semieje mayor con respecto al WGS84, pero sin diferencias en el terreno.

El Real Decreto 1071/2017 establece ETRS89 Como sistema de referencia geodésico oficial en España para la

referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. Está materializado por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE y sus densificaciones.

Siendo un poco más precisos, se puede utilizar el ETRS89 EPSG 25830, que corresponde con el huso 30N. En Sevilla está el cambio entre el huso 29 y 30, continuando hasta la provincia de Cádiz. Para representar Andalucía en continuo, en el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA), se ha optado por ampliar el huso 30 a las provincias de Cádiz, Sevilla y Huelva.

VI. Red Andaluza de Posicionamiento

La Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) es una red GPS de la Junta de Andalucía. Con ella se puede obtener un posicionamiento preciso de todo el territorio andaluz gracias al Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Con ella disponemos de un marco geodésico de referencia único y estable para toda la región de Andalucía [DCN 2016].

Esta red está compuesta por 22 estaciones de seguimiento GPS a lo largo de todo el territorio andaluz. Tienen dicha posición, Figura 11, para abarcar la mayor parte del territorio de forma homogénea y suministrar correcciones diferenciales RTK y DGPS.



Figura 72: Mapa de estaciones RAP [RAP 2020]

VII. Sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*)

Para conseguir una buena precisión en nuestras medidas, nos tenemos que apoyar en un sistema GNSS. Esto es un sistema global de navegación, son un conjunto de satélites que se usan para el posicionamiento y localización en cualquier lugar de la Tierra. Gracias a ellos se puede determinar las coordenadas de cualquier punto, como resultado del procesamiento de las señales provenientes de dichos satélites [DCN 2016].

Dependiendo de la constelación de satélites hay varios sistemas GNSS que se pueden utilizar:

- Sistema GPS (*Global Position System*): es creado en Estados Unidos, compuesto por 29 satélites a 20000 km con órbita casi circulares. Es para tanto uso militar como civil y lleva en funcionamiento desde 1995.
- Sistema Galileo (*ESA*): es de origen europeo, compuesto por 30 satélites a 23600 km de órbita. Está

realizado para uso civil, con muy buenas integridad, precisión y garantías de servicio. Está en plena operatividad desde 2016, pero no ha terminado de despegar ya que la mayoría de las aplicaciones se basan en el GPS estadounidense.

- Sistema GLONASS (*Global Navigation Satellite System*): ruso, constituido por una constelación de 31 satélites, de los cuales 24 son los que conforman la constelación “activa”. Situados a 25000 km y siguiendo órbitas elípticas.

Vamos a explicar su funcionamiento para entender su fundamento físico de como calcular el posicionamiento. Está compuesto por distintos segmentos:

- Segmento espacial: compuesto por todos los satélites que forman el sistema, tanto de comunicación como de navegación.
- Segmento de control: corresponde a conjuntos de estaciones presentes en la superficie de la Tierra, las cuales se ocupan de recolectar los datos obtenidos para ponerlos a disposición del tercer segmento, los usuarios.
- Segmento usuario: se entiende este segmento como todos los equipos, terminales, receptores y dispositivos que reciben señales procedentes del segmento espacial.



Figura 73: Constelación de satélites [WIK 2020]

Cuando se desea determinar la posición tridimensional, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y hora del reloj de cada uno de ellos, además de información sobre la constelación. Con base en estas señales, el aparato sincroniza su propio reloj con el tiempo del sistema GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite. Mediante el método de trilateración inversa, computa su propia posición. Se calcula también con una gran exactitud en el tiempo, basado en los relojes atómicos a bordo cada uno de los satélites y en el segmento terreno de GPS.

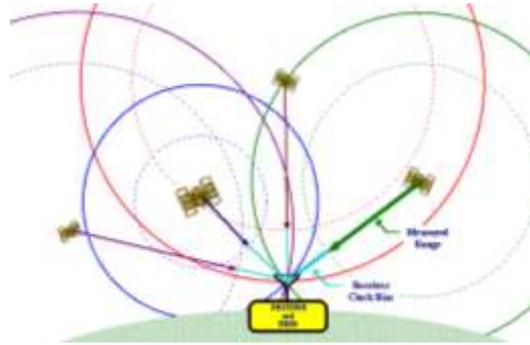


Figura 74: Cálculo de la posición con cuatro satélites [SNS 2020]

Una vez terminada la explicación de todos los conceptos teóricos, podemos comenzar con los objetivos de este trabajo y el área de estudio.

ANEXO II

<u>Punto</u>	<u>Coordenada X</u>	<u>Coordenada Y</u>	<u>Coordenada X</u>	<u>Codificación</u>
6000	240381.234	4125139.53	37.05	5015-BR704
6001	240345.772	4124997.47	38.555	BR705
6002	240304.401	4125000.47	37.646	PIEDRA
6003	240329.142	4124813.35	39.688	OLIVO
6004	240390.117	4124586.53	36.426	BR-706
6005	240361.327	4124505.71	35.488	
6006	240410.51	4124475.41	35.003	BR-707
6007	240451.64	4124129.67	34.169	
6021	240540.376	4124032.34	32.948	
6022	240479.669	4124166.05	33.659	
6023	240443.118	4124365.36	33.805	
6024	240440.989	4124552.96	36.384	
6025	240368.816	4124776.4	38.768	
6026	240356.241	4124975.23	38.056	

Levantamiento Fotogramétrico

Los Palacios. Fecha de vuelo 07/10/2019

08 April 2020



Survey Data

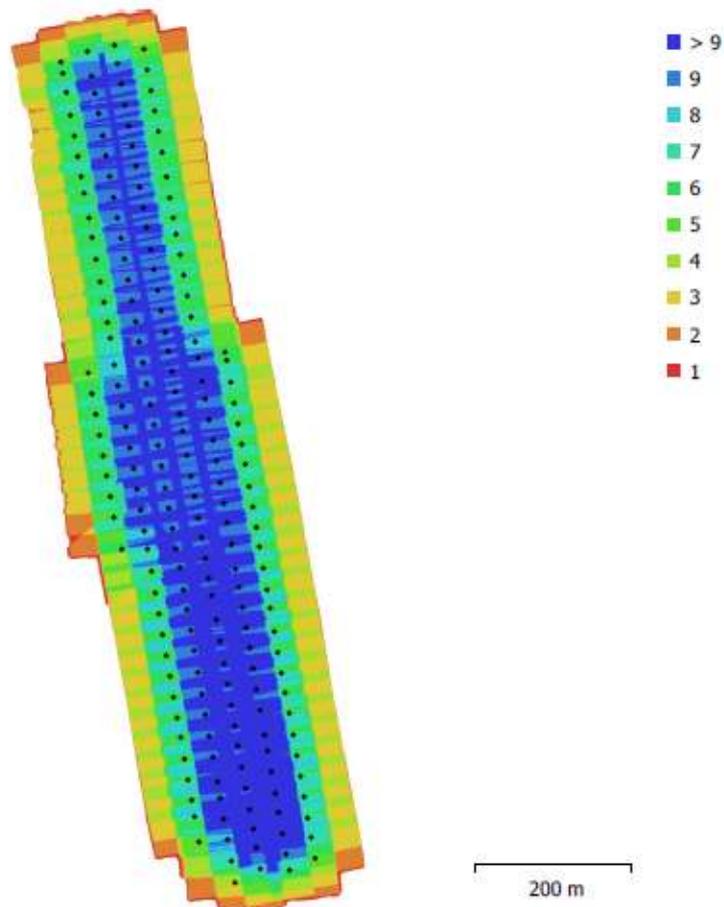


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	197	Camera stations:	197
Flying altitude:	77.6 m	Tie points:	221,100
Ground resolution:	2.99 cm/pix	Projections:	729,513
Coverage area:	0.298 km ²	Reprojection error:	1.1 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC300S (3.61mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

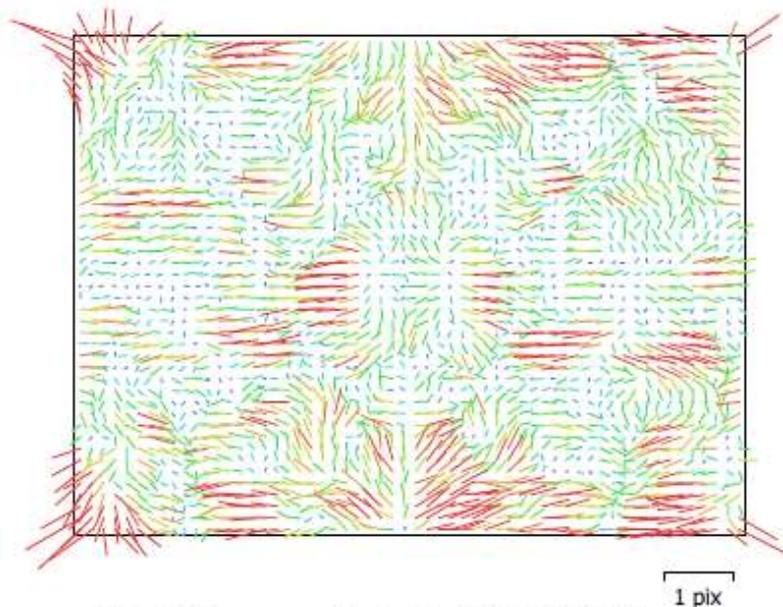


Fig. 2. Image residuals for FC300S (3.61mm).

FC300S (3.61mm)

197 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2227.06	11	1.00	0.06	0.10	-0.83	0.89	0.95	-0.54	0.65
Cx	-19.0072	0.16		1.00	-0.02	-0.03	0.03	0.08	0.23	0.03
Cy	11.6742	0.14			1.00	-0.11	0.10	0.09	-0.02	0.18
K1	-0.0116568	0.00014				1.00	-0.88	-0.68	0.43	-0.53
K2	0.00749353	0.00016					1.00	0.71	-0.48	0.58
K3	0.00457436	0.00014						1.00	-0.51	0.62
P1	-0.00048107	4e-006							1.00	-0.34
P2	0.000548751	4.1e-006								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

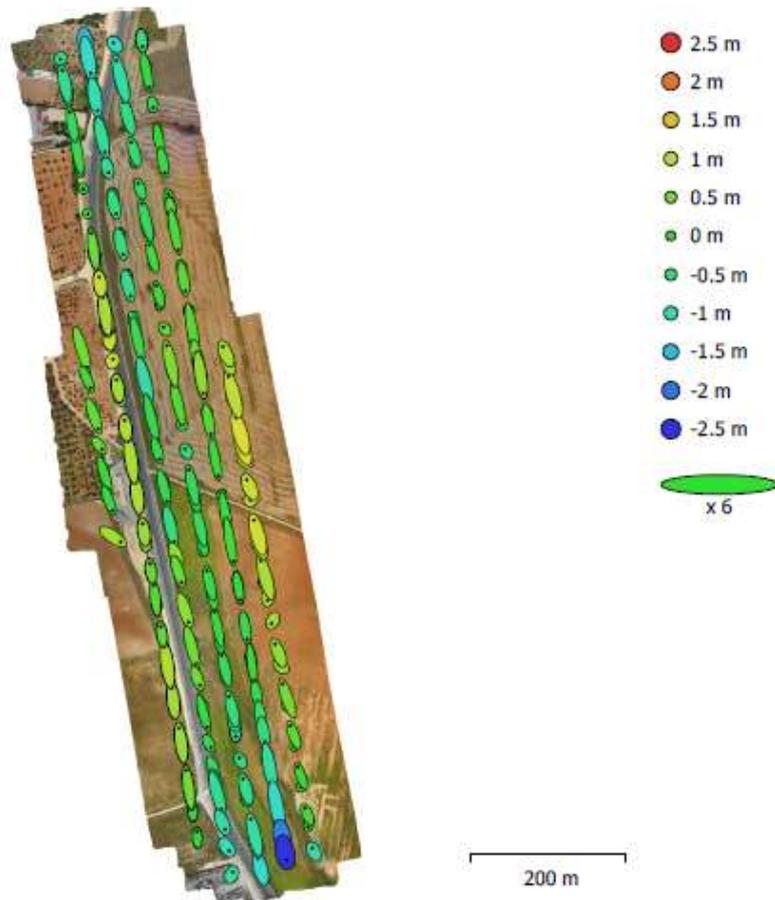


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.05779	4.31306	0.634918	4.44088	4.48604

Table 3. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Ground Control Points

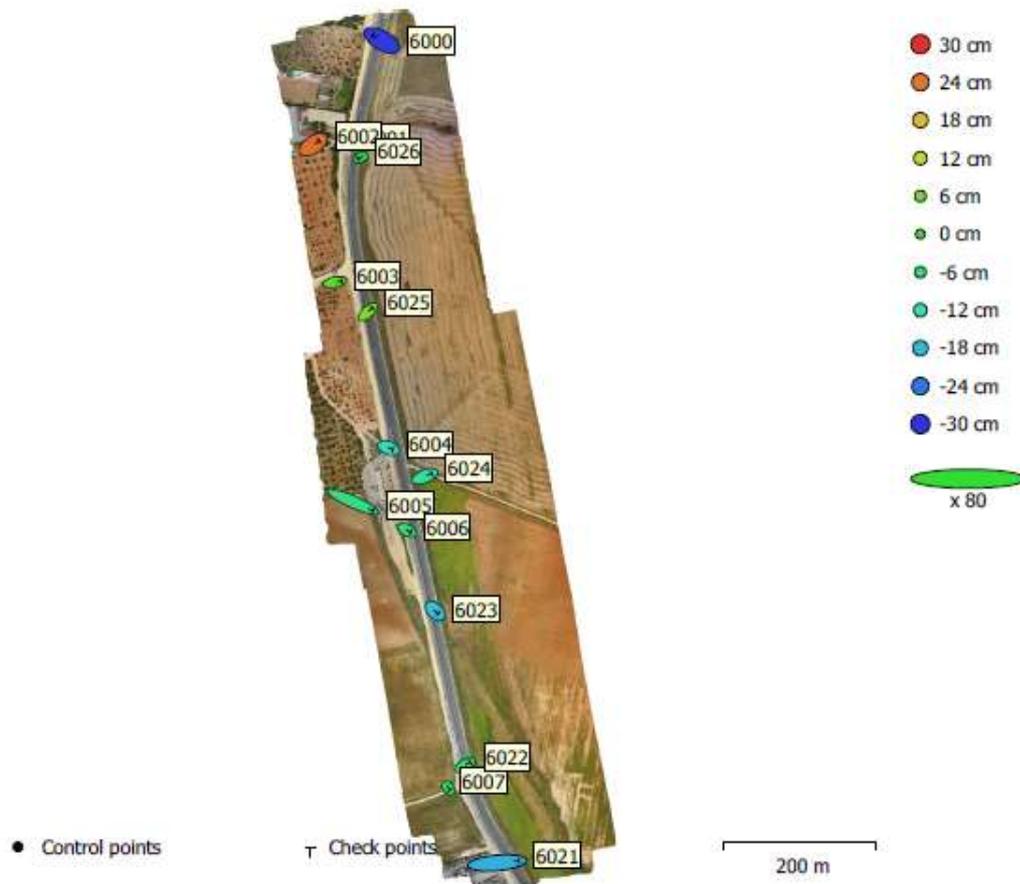


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
14	30.926	12.0694	13.6677	33.1977	35.9011

Table 4. Check points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
6000	-29.8386	17.6897	-29.2155	45.3521	1.310 (4)
6001	16.0251	4.20645	-6.5691	17.8228	0.931 (10)
6002	19.6375	13.2038	24.5633	34.1076	3.055 (5)
6003	22.4484	3.98825	3.43231	23.0568	0.617 (3)
6004	14.771	-5.368	-11.966	19.753	1.022 (10)
6005	67.0412	-29.6642	-7.37695	73.6811	0.859 (7)
6006	12.8613	-6.44862	-6.51598	15.7941	2.341 (8)
6007	5.50998	-6.75246	-4.40134	9.76357	1.169 (8)
6021	72.4124	6.61713	-18.9621	75.1459	0.786 (5)
6022	16.4604	9.51159	-5.94077	19.9175	0.988 (11)
6023	9.82711	-9.48583	-17.422	22.1377	0.822 (9)
6024	23.4219	9.41586	-10.3225	27.2727	1.034 (12)
6025	15.011	13.8843	5.91852	21.2869	1.131 (6)
6026	-7.72144	-4.10887	-2.01372	8.97544	1.230 (11)
Total	30.926	12.0694	13.6677	35.9011	1.323

Table 5. Check points.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

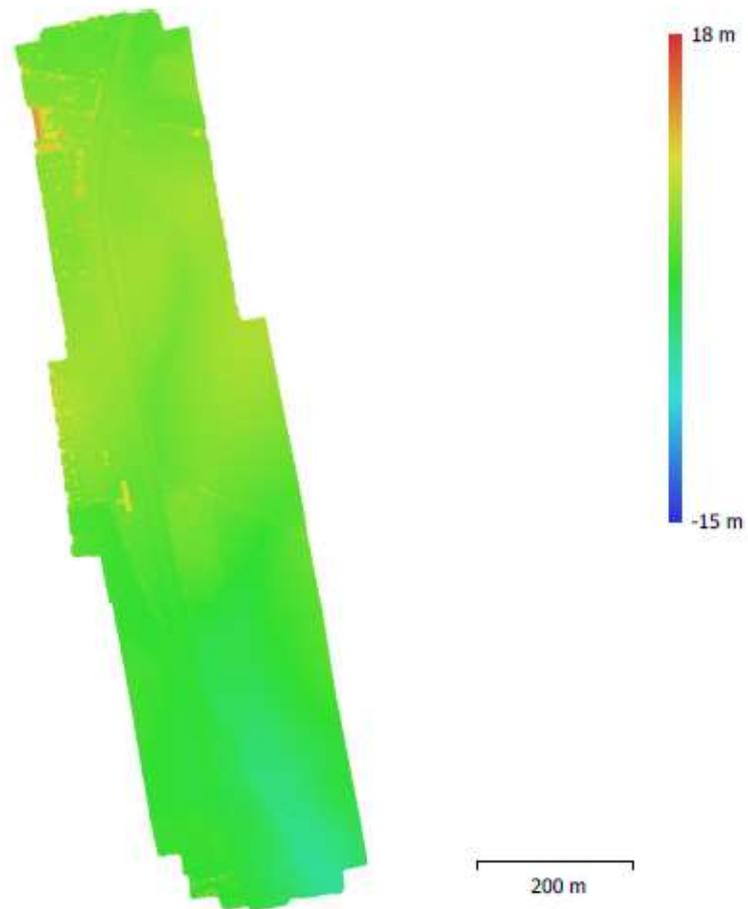


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 12 cm/pix
Point density: 69.7 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	197
Aligned cameras	197
Markers	14
Coordinate system	ETRS 89 (EPSG:25830)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	621,100 of 632,287
RMS reprojection error	0.139462 (1.09987 pix)
Max reprojection error	0.419116 (31.2103 pix)
Mean key point size	7.55143 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.39225

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	19 minutes 33 seconds
Alignment time	16 minutes 19 seconds

Depth Maps

Count	197
Reconstruction parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Processing time	4 hours 26 minutes

Dense Point Cloud

Points	28,500,070
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	4 hours 26 minutes
Dense cloud generation time	17 minutes 38 seconds

Model

Faces	1,433,316
Vertices	820,050
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Mild
Face count	1,433,338
Processing time	2 hours 51 minutes

General

Texturing parameters

Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	3 minutes 44 seconds
Blending time	51 minutes 27 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

ANEXO IV

```
%CÓDIGO PARA ELIMINAR LOS PÍXELES INTERIORES Y AISLAR LA MAYOR PARTE  
% DE LA PINTURAQUE SE ENCUENTRA EN LA CARRETERA.
```

```
%Cargamos la imagen  
BW = imread('Binaria 1.tif');
```

```
%Comprobamos que se haya cargado bien  
imshow(BW)
```

```
%Eliminamos los píxeles interiores  
BW1 = bwmorph(BW, 'remove');
```

```
%Comprobamos que se ha eliminado todo de manera correcta  
imshow(BW1)
```

```
%Filtramos por área, para obtener sobre todo la geometría de la pintura  
BW2 = bwareafilt(BW2, [70 500000]);
```

```
%Extraemos la imagen final  
imshow(BW2)
```


I. Condiciones legales

La nueva regulación para la utilización civil de las aeronaves controladas por control remoto modificará el Real Decreto 552/2014. Esta información se puede encontrar en la web del MINISTERIO DE FOMENTO, permitirá el uso de vehículos aéreos no tripulados o UAVs en zonas urbanas, más allá del alcance visual o hasta operar de noche.

Ésta se aplicará a las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de masa máxima al despegue inferior a los 150 kg, regulando el régimen general aplicable en materia de matriculación y aeronavegabilidad, exceptuando las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de hasta 25 kg de masa máxima al despegue, que, no obstante, están sujetas a condiciones específicas para su pilotaje.

- Vuelo en ciudades

Podrán realizarse operaciones sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o reuniones de personas al aire libre, por aeronaves cuya masa máxima al despegue no exceda de 10 kg, dentro del alcance visual del piloto (VLOS), a una distancia horizontal máxima del piloto de 100m, y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120m. Además de hay que limitar el paso de personas o vehículos o, en otro caso, manteniendo una distancia horizontal mínima de seguridad de 150 m respecto de edificios u otro tipo de estructuras y de 50 m respecto de cualquier persona.

- Vuelo dentro del alcance visual aumentado

Para realizar operaciones a una distancia horizontal superior a 500m, se establecen las operaciones dentro del alcance visual aumentado (EVLOS) y la figura del observador. En estas operaciones el contacto visual directo con la aeronave se satisface utilizando medios alternativos, en particular, observadores en contacto permanente por radio con el piloto.

- Vuelos fuera del alcance visual

Podrán realizar vuelos fuera del alcance visual (BVLOS) las aeronaves con un peso inferior a 2 kg o aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) que cuenten con sistemas, que permitan a su piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. También se podrán hacer vuelos BVLOS, con equipos que no dispongan de estos sistemas, en espacio aéreo segregado.

- Vuelo nocturno

La posibilidad de realizar vuelos nocturnos, hasta ahora prohibidos, con la autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, previa solicitud del operador acompañada del estudio de seguridad.

- Vuelo en espacio aéreo controlado

También se abre la posibilidad de volar en espacios aéreos controlados, siempre a una distancia superior a 8 km de cualquier aeropuerto o aeródromo, así como el acceso a espacio aéreo controlado o a una zona de información de vuelo (FIZ). Además, estas operaciones requerirán de un estudio de seguridad y de un radiofonista acreditado.

REFERENCIAS

- [WDP 2020] *Introducción a la topografía, Luis Jauregui, Tema 1*, 2020 Marzo. Sevilla. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA_1.pdf.
- [GMD 2020] *Clasificación de drones*, 2020 Marzo. <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>.
- [JGCD 2015] Corredor Daza, J. G. (2015). *Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua- Riofrío*. Bogota: Riofrío.
- [JGC 2007] Cerro-Giner, J. (2007). *Arquitectura Abierta para el Control Autónomo Y Teleoperado de un Mini-Helicoptero*. Tesis pregrado. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- [MD 2011] Días, M. (2011). *Análisis Fotogramétrico de Imágenes adquiridas por un avión no tripulado*. Tesis de maestría, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.
- [ENAIRE] *Información institucional, organizativa y de planificación*. 2020 Abril. https://www.enaire.es/transparencia_y_buen_gobierno/informacion_institucional_organizativa_y_de_planificacion
- [JVBZ 2015] Villarreal, J., & Zárata, B. (2015). *Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control*. Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- [EQR 2015] Quiróz Rosado, E. (2015). *Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicada a la ingeniería civil*. Tesis pregrado, Universidad de Extremadura, España.
- [DHL 2006] Hernández López, D. (2006). *Introducción a la Fotogrametría digital*. Bogotá: Santilla.
- [WIK 2020] *Fotogrametría, Wikipedia*. 2020 Abril. Sevilla <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametr%C3%Ada>
- [RUD 2020] *Relevancia del uso del Datum, Cartogeo*. 2020 Abril. <https://cartogeo.wordpress.com>
- [VS 2020] *Elipsoide de referencia, Virtual Surveyor*. 2020 Sevilla. <http://support.virtual-surveyor.com/es/support/solutions/articles/1000261329--qu%C3%A9-es-un-elipsoide->
- [DLP 2007] Lorente Palacin, D. (2007). *Representación y edición de un plan de vuelo sobre un modelo digital de elevación en entorno*. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- [AER 2020] *Como planificar el vuelo de un dron, Aerial Insights*. 2020 Abril. Sevilla. <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>
- [DTP 2020] *La superficie de proyección. El elipsoide*. 2020 Abril. Sevilla <http://detopografia.blogspot.com/2012/12/la-superficie-de-proyeccion-el-elipsoide.html>
- [DCN 2016] Cuadrado Naranjo, Darío 2016. *Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de topografía y geomática de la ETSIA de Sevilla*. ETSIA, Sevilla, España
- [ACO 2020] *Alturas y altitudes*. 2020 Abril. Sevilla. <https://acolita.com/diccionario/altura-elipsoidal/>
- [YVM 2013] Yuste Martin, N., Vargas, V., & Moya, H. (2013). *Teledetección Ambiental de Alta*

Resolución mediante aplicación de Vehículos Aéreos no tripulados. Madrid, España: Sociedad Española de Ciencias Forestales

[SRMJ 2014] Robson, S., & James, M. (2014). *Systematic vertical error in UAV-derived topographic models*. Origins and solutions. 1, 1-12.

[QGIP 2005] Quintanilla, I., Gallegos, A., Irimia, J., y Pérez, J. (2005). *Estudio y Análisis de receptores GPS monofrecuencia diferencial de bajo coste para la obtención de precisiones submétricas*. Ingeniería Cartográfica. 1, 1-8.

[IGM 2020] *Geodesia*. Instituto Geográfico Nacional. 2020 Abril. Sevilla. <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-teoria-geodesia>

[ORG 2005] Ortiz, G (2005). *Conversión de datum con el modelo de 7 parámetros Bursa-Wolf, GIS*. Sistemas de información Geográfica. <http://www.gabrielortiz.com>

[RAP 2020] *Red Andaluza de Posicionamiento y Universidad de Cádiz*. 2020 Abril. Sevilla. <https://ws089.juntadeandalucia.es/formacion/2012/posicionamiento/ponencias/redrap.pdf>

[SNS 2020] *Sistemas de Navegación por Satélite, Monografías*. 2020 Abril. Sevilla. <https://www.monografias.com/docs114/sistemas-navegacion-satelite/sistemas-navegacion-satelite2.shtml>

[AMB 2020] *Aplicación del modelo Bag-of-Words al reconocimiento de imágenes*. 2020 Abril. Sevilla. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/7107>

[OSC 2020] *OpenStreetCam: reconocimiento automático de objetos en imágenes mediante machine learning*. 2020 Abril. Sevilla. <http://hdl.handle.net/10609/88287>

[GRE 2015] Guzmán Ramírez, E. (2015). *Reconocimiento de objetos inmersos en imágenes estáticas mediante el algoritmo HOG y RNA-MLP*. (Tesis para obtener el grado de Maestro en Electrónica y Computación). Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.

[QGA 2020] Quimbaya Guendica, A. M. (2020). *Apropiación de herramientas para teledetección en el reconocimiento de condiciones urbanísticas en asentamientos carenciados*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1855

[ALS 2018] Loría-Solano, A. (2018). *Trabajo Final de Graduación (Licenciatura en Ingeniería Agrícola)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. <http://hdl.handle.net/2238/11289>

