Aproximació de la pràctica d'obtenció i processament d'imatges preses amb dron

La professionalitat a baix cost amb material d'usuari, programari gratuït i de codi obert

Nil Sicart Moragas

Juliol 2017

GRAU EN GEOGRAFIA, ORDENACIÓ DEL TERRITORI I GESTIÓ DEL MEDI AMBIENT

TUTOR: DOCTOR DIEGO VARGA LINDE

Un gran poder comporta una gran responsabilitat

Anònim

AGRAÏMENTS

Les ganes d'aprendre és una actitud innata dels essers humans, el fet de raonar durant tota la vida ens obliga a replantejar-nos les coses en funció del què hem viscut. He de donar les gràcies als meus pares i a la meva germana per haver-me mantingut aquesta curiositat innata de descobrir el desconegut. Espero poder fer el mateix amb la meva filla la Vall, que no deixi mai de voler-ho saber tot, gràcies a ella tornaré a créixer i a fer-me gran.

Gràcies a la Silvia, la meva companya, per donar-me des de fa 6 anys la constància que necessitava per començar, acabar i anar més enllà en els estudis que m'acompanyaran tot el meu futur. Un peto amb la Vall en braços mentre teclejo a l'ordinador son els ànims que necessito.

Als meus professors Jaume Feliu, Carolina Martí, Diego Varga i Josep Sitjar agrair-los la gran base de coneixements que m'han ensenyat sobre la cartografia, els sistemes d'informació geogràfica i el programari de codi obert. La vostra passió s'encomana.

A tots els professors del Departament de Geografia de la Facultat de Lletres de la UDG agrair-los-hi que m'ajudessin a situar-me en aquest món com a observador i interpretador dels esdeveniments, amb criteri propi per incidir-hi.

I finalment a la Càtedra de Geografia i Pensament Territorial per donar-me la oportunitat d'ampliar els meus coneixements en el món dels drons i el processament de les imatges. Espero que es pugui seguir donant oportunitats a molt alumnes.

Il·lustració 1- Dron d'ala fixe del Departament de Geografia de la Universitat de Girona

RESUM

Els drons han entrat de ple en la societat de consum. Ha estat fàcil veure'ls en aparadors de joguines com a producte estrella dels últims nadals. Sorprèn no veure'n més pels parcs i a les escoles, potser perquè la por que ha sobrevolat des de que van començar aparèixer en relació a la normativa que han de seguir empeny a la gent a jugar-hi en privat, o potser perquè volar per volar, sense una intencionalitat acaba avorrint i essent un entreteniment passatger. Segur que hi ha molt drons guardats en calaixos que surten en comptades vegades.

La societat de consum moltes vegades no entén perquè serveix realment un producte més enllà de la seva primera impressió. Els drons han estat desenvolupats per poder realitzar tasques des de l'aire, des d'una alçada que fins fa poc no es dominava amb cap aparell. Les grues per usos multimèdia, cares i estàtiques. Els avions per teledetecció, cars i molt alts. Avionetes, globus aerostàtics, parapents... massa puntuals.

Els drons han vingut per quedar-se en un espai aeri que els hi pertoca. Amb els drons podem prendre imatges de nivell de terra fins on arriben els avions i el que és més important, quan es vulgui i cada quan es vulgui. Permet conèixer el nostre món gairebé a l'instant.

Però no tots serveixen per tot. Els drons per un ús professional han de garantir un geoposicionament fiable, una durada de la bateria adequada, una qualitat dels materials alta, i uns elements capaços d'incorporar eines per les accions a realitzar com la càmera de qualitat. Aquests materials tenen un preu elevat i no estan a l'abast de tothom però, actualment, en tots els productes de tecnologia la categoria professional ha aconseguit disminuir molt els preus i un bon dron per un ús d'entreteniment té el mateix preu que un de categoria semi-professional, però amb una qualitat i possibilitat d'usos molt diferents l'un de l'altre.

Pilotar-los manualment és senzill, tot i que existeixen al mercat molts programes, la majoria gratuïts, que ajuden a planificar vols perquè el dron els faci de forma automàtica i les imatges siguin de més qualitat. Per volar-los de manera professional, però, es requereix un carnet de pilot.

Amb les imatges obtingudes amb un dron els usos multimèdia són evidents, però pel món de la Geografia i en concret la cartografia, aquestes imatges són essencials per realitzar mapes i poder fer anàlisis cartogràfics. Amb l'avenç de la tecnologia en el mon 3D en els últims anys cada vegada més la representació del món ja no es fa en 2D sinó que el 3D va guanyant protagonisme. Com en tots els àmbits però, abans que aquesta tecnologia arribi a l'abast de tothom l'accés serà car.

En el món de la informàtica, on una de les premisses és que si un ho ha fet un altre també ho pot fer i oferir-ho gratuïtament als demés, hi ha uns quants desenvolupadors que des de fa un temps treballen en programes de codi obert per oferir les eines necessàries per processar les imatges obtingudes amb dron i cal donar-los-hi una oportunitat de comprovar si van per bon camí i ajudar-los a rectificar per millorar.

Aquest treball és una aproximació a la pràctica de l'ús dels drons i el processament d'imatges, on s'han valorat opcions per accedir a un dron, quins accessoris s'utilitzaran, quins programes de pla de vol existeixen i un cop obtingudes les imatges quina opció hi ha actualment en el món dels programes de processament d'imatges de codi obert i quines altres opcions hi ha d'obtenir uns resultats útils per un ús professional.

Finalment s'arriba a la conclusió de saber fins a quin punt, a baix cost es poden obtenir resultats professionals.

INDEX

1- INTRODUCCIÓ ---------- 7

1.1- MOTIVACIÓ ---------- 7

1.2- TEORIA DELS DRONS I DE L'OBTENCIÓ I PROCESSAMENT D'IMATGES ---------- **9**

1.2.1- QUÈ ÉS I PERQUÈ L'ANOMENEM DRON ---------- **9**

1.2.2- QUINS TIPUS DE DRONS HI HA? ---------- **10**

1.2.3- COM ES PILOTA UN DRON I QUINS ELEMENTS EL CONVERTEIXEN EN DRON? ---------- **12**

1.2.3.1- Moviment del dron ---------- **12**

1.2.3.2- Elements de control ---------- **12**

1.2.3.3- Accessoris ---------- **14**

1.2.3.3.1- Accessoris mecànics ---------- **14**

1.2.3.3.2- Accessoris sensors per teledetecció i fotogrametria ---------- **14**

1.2.3.3.2.1- Càmeres RGB, multiespectrals i hiperespectrals ---------- **14**

1.2.3.3.2.2- Càmeres tèrmiques ---------- **15**

1.2.3.3.2.3- Detector LIDAR ---------- **16**

1.2.4- OBTENCIÓ I PROCESSAMENT DE LES IMATGES ---------- **17**

1.2.4.1- Planificació de vol ---------- **17**

1.2.4.2- Operació del vol ---------- **17**

1.2.4.3- Normalització de les imatges ---------- **18**

1.2.4.3.1- Orientació i georeferenciació de les imatges---------- **18**

1.2.4.3.2- Calibratge de les imatges ---------- **18**

1.2.4.3.2.1- Calibratge geomètric ---------- **18**

1.2.4.3.2.2- Calibratge de la resolució espacial ---------- **18**

1.2.4.3.2.3- Calibratge radiomètric---------- **19**

1.2.4.4- Processament de les imatges ---------- **20**

1.2.5- QUINS PERMISOS NECESSITO I PER ON PUC VOLAR AMB EL DRON? ---------- **22**

2- OBJECTIUS DE L'APROXIMACIÓ ---------- 23

3- METODOLOGIA ---------- 24

4- APROXIMACIÓ ---------- **25**

4.1- AERONAU ---------- 25
4.2- ESTACIÓ DE CONTROL ---------- 27
4.3- ACCESSORIS ---------- 28
4.4- UTILITATS ---------- 30
4.5- PROGRAMES PLA DE VOL ---------- 31
4.5.1- DroneDeploy ---------- 32
4.5.2- Pix4DCapture ---------- 33
4.5.3- DroneHarmony ---------- 35
4.5.4- Altizure ---------- 36
4.5.5- Litchi ---------- 37
4.5.6- PrecisionFlight ---------- 38
4.5.7- UgCS ---------- 39
4.5.8- Altres programes de pla de vol provats ---------- 41
4.5.9- Conclusions programari pla de vol ---------- 41
4.6- MISSIONS FINALMENT REALITZADES AMB L'OBJECTIU DE PROCESSAR LES IMATGES ---------- 43
4.7- PROCESSAMENT D'IMATGES PRESES AMB DRON ---------- 45
4.7.1- WebODM, un programari de codi obert pel processament d'imatges preses amb dron --- 46
4.7.2- Altres programes de processament d'imatges avaluats ---------- 51
4.7.2.1- DroneDeploy ---------- 51
4.7.2.2- SkyCatch ---------- 52
4.7.2.3- Event38 ---------- 53
4.7.2.4- Precisionmaper ---------- 54
4.7.2.5- Altizure ---------- 56
4.7.2.6- MapsMadeEasy ---------- 56
4.7.2.7- Pix4D Desktop ---------- 57
4-7-3- Conclusions programes de processament d'imatges ---------- 59
5- CONCLUSIÓ I VALORACIÓ FINAL DE L'APROXIMACIÓ ---------- 61
6- BIBLIOGRAFIA ---------- 62

1 - INTRODUCCIÓ

1.1 - MOTIVACIÓ

La carrera de Geografia, Ordenació del territori i gestió del medi ambient és una carrera multidisciplinària que et permet tenir una visió global del funcionament del món en diferents aspectes. La geografia física i la geografia humana tenen camps d'estudi molt diversos però sempre hi ha un element que permet tenir una visió clara de tot els processos tan físics com socials que passen al món. Aquest element són els mapes, la representació del món en dues dimensions, o actualment en 3 dimensions, on s'hi reflecteix la informació que volem analitzar. Gràcies als mapes es té una imatge en perspectiva del que succeeix al món, com si d'un ocell ens miréssim el món des de l'aire.

Il·lustració 2- Trencalòs mirant la superfície terrestre des de l'aire. Font pròpia.

Això és exactament el que fa un dron, ens observa des de l'aire. Però som nosaltres els que decidim què observar, com observar-ho i els que en traiem les conclusions del que hem vist. Aquesta disciplina de la geografia, la que és capaç de decidir quins elements observar, com observar-los i com presentar la informació és la que m'apassiona. M'apassiona gràcies a les classes assistides durant la carrera de Geografia, Ordenació del territori i gestió del medi ambient d'Anàlisi i Tractament de la Informació Geogràfica, SIG i SIG avançat. Aquestes classes em van motivar a demanar i obtenir la beca que ofereix la Càtedra de Geografia i Pensament Territorial de la UDG per assistir al curs de teledetecció i tractament d'imatges preses amb dron que realitza l'escola de formació i empresa dedicada a l'obtenció i processament d'imatges de dron, BCN Dron Center, amb seu a Collsuspina (Moianès).

Aquest curs em va obrir una porta a les possibilitats d'aquest món, però no era suficient. Davant meu no hi havia més opcions per seguir formant-me en aquest àmbit més enllà del què podia trobar i llegir en llibres i articles. Però a mi m'agrada que em transmetin en persona els coneixements així que vaig decidir ampliar el ventall de coneixements i deixar de banda la formació sobre el processament de les imatges i centrar-me en formar-me en l'obtenció d'aquestes imatges. Volia aprendre a pilotar un dron. Malauradament en aquesta ocasió ni la Càtedra ni cap departament de la UDG em podia oferir la possibilitat d'ajudar-me amb el cost d'aquesta formació, però amb esforços vaig poder-m'ho pagar jo mateix.

Il·lustració 3- Practicant amb el dron DJI S900. Font pròpia.

Vaig fer el curs a l'empresa Hemav, situada a les oficines de l'Agència Espacial Europea al campus universitari de Castelldefels, una empresa líder en el sector dron amb serveis a nivell nacional i internacional de topografia, agricultura de precisió, inspecció d'infraestructures i escola de formació. Amb ells vaig formar-me en la modalitat teòrica de pilot de drons avançat, que et permet pilotar drons de 0-25kg amb possibilitat de volar drons de menys de 2kg més enllà de la línia de visió. I la part pràctica de drons de 0-15 kg, amb dos aeronaus diferents, una de 0-5kg, un DJI Phantom, i una de 5-15kg, un DJI S900.

Després de la formació de pilot i la formació de processament d'imatges només em quedava dues coses per poder-me dedicar a aquest món amb empenta, una aeronau i un permís.

Per fer-se professional cal una acreditació d'AESA que et regula com a empresa operadora de drons on s'han de validar uns documents on s'especifica, entre altres coses, les aeronaus que s'utilitzaran, amb quina intenció i qui són els pilots.

Així que el següent pas que he realitzat ha estat el que he reflectit en aquest treball final de grau.

He aconseguit una aeronau, accessoris per obtenir imatges i he realitzat les proves necessàries amb diferents programes tant de planificació de vol com de processament d'imatges amb intenció d'aconseguir els millors resultats amb el mínim cost possible, ara només falta obtenir el permís d'operadora de drons.

Il·lustració 4- Pràctiques amb el dron DJI S900. Font pròpia.

1.2-TEORIA DELS DRONS I L'OBTENCIÓ I PROCESSAMENT D'IMATGES

1.2.1- QUE ÉS I PERQUÈ L'ANOMENEM DRON?

En aquest treball es parla de les aeronaus que es piloten de forma remota i tenen controladores de vol per facilitar el seu vol o programar-lo perquè el faci de forma automàtica i realitzi una sèrie d'accions mentre vola com per exemple fer fotografies. D'aquests aparells se'n diuen de moltes maneres.

UAV. Unmanned Aerial Vehicle, vehicle aeri no tripulat. Amb aquestes sigles fem referència a qualsevol dispositiu que pugui volar sense tripulació com per exemple un avio radio control.

UAS. Unmanned Aerial System, sistema aeri no tripulat. En usar la paraula sistema, passem d'un simple vehicle a un conjunt d'ingredients que formen un tot. Per exemple, si a UAV li afegim un mecanisme perquè faci una ruta predefinida tindrem un UAS. No es fa referencia a que estigui pilotat, per tan no es garanteix la supervisió d'un humà ni la possibilitat de controlar-lo manualment en cas de necessitat.

UCAV. Unmanned Combat Aerial Vehicle, vehicle aeri no tripulat de combat. Fa referència als aparells d'ús militar, capaços de portar armament per atacar objectius. Com aquests aparells tenen una aplicació específica més enllà del simple vol, també se'ls pot anomenar drons de combat.

RPA. Remotely Piloted Aircraft, avió controlat de forma remota. Aquesta nova denominació va sorgir a Estats Units davant els temors de les persones que pensaven que els aparells UAV volaven sols, i que cap persona controlava el seu vol o podria reaccionar en cas d'avaria. Amb aquestes noves sigles, quedava més clar que sí que hi havia una persona que es feia responsable del dispositiu.

RPAS. Remotely Piloted Aircraft System, sistema aeri controlat de forma remota. Es refereix per tant a l'aparell i al sistema de control de forma conjunta on s'especifica que està pilotat Aquest terme és el que ha escollit la OACI (Organització d'Aviació Civil Internacional) per referir-se als drons d'ús civil.

Dron. Adaptació del mot en anglès *drone*, que significa "abellot". S'anomenaven així als avions no tripulats d'ús militar pel seu soroll. És un sinònim parcial de UAS, ja que tot UAS no és un drone, però tot drone si és un UAS. Un UAS es converteix en drone quan el seu conjunt de components serveix per una mica més que simplement volar. Si li afegim una càmera, i la usem per gravar, vigilar, etc. estarem parlant d'un drone; per tant, un drone és aquell sistema aeri no tripulat destinat a una tasca o aplicació.

Tot i que a nivell oficial l'OACI ha estipulat que la forma d'anomenar-ho sigui RPAS, pel fet que fa referència a tots els elements que el caracteritzen cada cop més s'utilitza el nom dron tan a nivell d'entreteniment com a nivell professional. És una paraula més fàcil de pronunciar i amb la que cada vegada hi van més associats els conceptes de multi rotor o avió a control remot amb opció de vol automàtic i que serveix per agafar imatges, gravar vídeo o realitzar altres tasques. Així en aquest treball s'anomenarà dron per simplificar-ho tot i que en algunes ocasions també s'utilitzarà el terme aeronau per referir-se a l'aparell i no als elements que el converteixen en dron.

1.2.2- QUINS TIPUS DE DRONS HI HA?

Segons el seu mètode de sustentació:

En termes generals podem trobar dos tipus d'aeronaus, els multi rotor (categoria d'ala rotatòria), que disposen d'un cos i un mínim de 3 braços amb hèlices que el sostenen a l'aire i els d'ala fixe, amb la forma clàssica d'avió. Es comencen a veure també alguns helicòpters (categoria d'ala rotatòria) amb les mateixes funcions ja que tenen alguns avantatges respecte els altres.

Il·lustració 5- Drone d'ala fixe de l'empresa CATUAV. Font pròpia.

Aquestes són els seus avantatges

Avantatges de les aeronaus d'ala fixe:

Més àrea de cobertura, més autonomia, més velocitat, menys impacte sonor, més possibilitats meteorològiques.

Avantatges de les aeronaus d'ala rotatòria:

VTOL: Vertical TakeOff and Landing: Enlairament i aterratge vertical

Hover: Vol a un punt fixe o a velocitats molt baixes, més maniobrabilitat i precisió

Avantatges dels multi rotors respecte els helicòpters:

Més facilitat de pilotatge, menys complexitat d'elements i calibratge.

Avantatges dels helicòpters respecte els multi rotors:

Més autonomia gràcies a tenir un sol motor i unes revolucions constants.

Il·lustració 6- Comparativa de mides de diferents drons. Font pròpia.

Segons el pes:

Tot i que és una classificació que ve determinada per la normativa si que cal tenir en compte que quan parlem del pes de l'aeronau es fa referència al seu MTOW, Maximum TakeOff Weight, Massa màxima a l'enlairament.

Es troben 3 grans blocs a l'hora de classificar-los per pes:

MTOW de més de 150kg. Es comparable a avions i altres aeronaus convencionals i la regulació i normativa és responsabilitat de la EASA (European Aviation Safety Agency)

MTOW entre més de 25 i 150kg: És responsabilitat de AESA. Aquestes aeronaus necessiten d'un permís de navegabilitat i estar al registre de matricules

MTOW de 0 a 25kg: Són les aeronaus a les que es fa referencia en aquest treball i a les que se'ls hi aplica la normativa que es detallarà a l'apartat XXXXX

Segons el tipus de sistema motopropulsor:

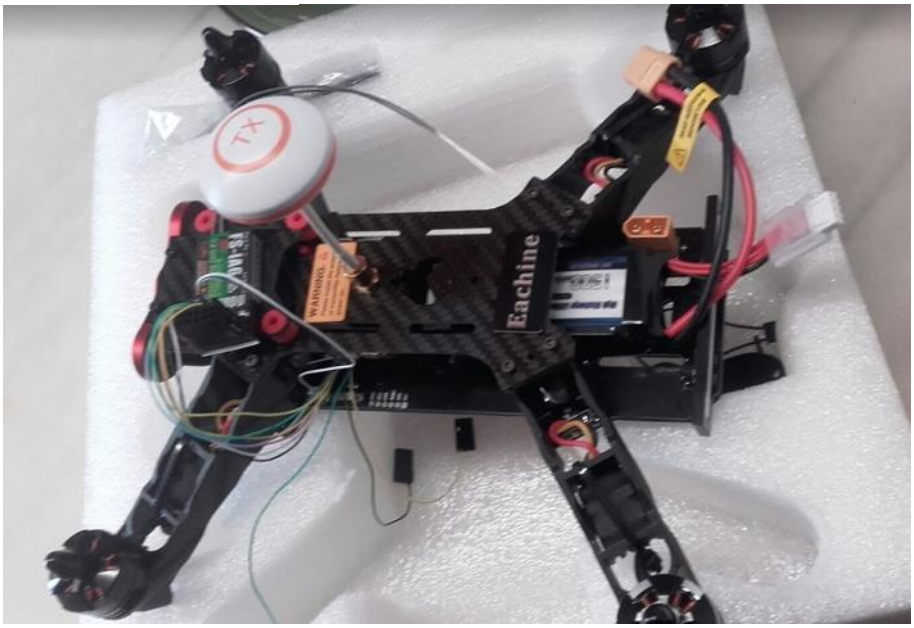
En termes generals podem trobar drons impulsats per dos tipus d'energia:

Per energia fòssil, que són els motors de combustió per aparells radio control de sempre. Es troben en aeronaus grans, que necessiten fer grans trajectes, sobretot del tipus ala fixe.

Per energia elèctrica, que es presenten en 3 formats: directament de bateries carregades (el més habitual) o amb bateries que a més a més disposen de càrrega a l'aire gràcies a plaques solars fotovoltaiques o ve un motor generador d'energia.

Il·lustració 8- Drone d'ala fixe impulsat per un motor d'explosió d'energia fòssil. Font pròpia.

Il·lustració 7 - Dron impulsat amb energia elèctrica a partir d'una bateria. Font pròpia.



Il·lustració 9- Dron d'ala rotatòria multi rotor quadropter dissenyat per la competició en carreres de drons. Font pròpia.

1.2.3- COM ES PILOTA UN DRON I QUINS ELEMENTS EL CONVERTEIXEN EN DRON?

Per pilotar un dron es fa a través de l'emissora que envia ordres als elements de control del dron i aquest fa els moviments.

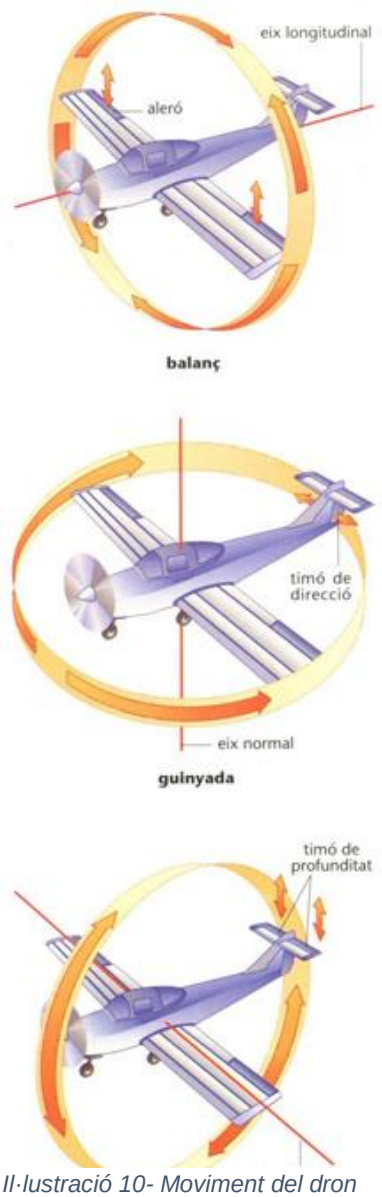
Per pilotar un dron cal conèixer els seus moviments.

1.2.3.1- Moviments del dron:

En relació a l'espai: Amunt, avall, endavant, enrere

En relació a ell mateix: Eix longitudinal (balanceig), Eix vertical (guinyada), Eix transversal (capcineig)

Aquests moviments que es veuen a la imatge no poden ser fets de manera independent per totes les aeronaus. Els multi rotors poden fer tots els moviments en relació a l'espai i també el de guinyada independentment. Els aeroplans, en canvi, no poden anar enrere i els altres moviments només poden fer-los si van endavant.



Il·lustració 10- Moviment del dron respecte ell mateix. Font: http://www.enciclopedia.cat/sites/default/files/media/FOTO/vol.jpg

El dron ha d'incorporar uns elements que permetin controlar-lo amb seguretat.

1.2.3.2- Elements de control i seguretat:

El dron consta d'un cos equilibrat per poder volar, amb tot el sistema motopropulsor adient que ho fa possible.

Per poder ser pilotat remotament, amb estabilitat i amb accessoris per fer accions necessita un equipament.

Aquest equipament consta de:

L'emissora: És el comandament que envia les ordres al dron perquè faci els moviments i les accions.

Controladora de vol: Permet equilibrar el dron i dona les ordres perquè faci els trajectes automàtics.

Receptor: És l'element que comunica l'emissora i el dron.

Gimbal: És l'element que permet estabilitzar els accessoris de manera que la imatge no faci els moviments de l'aeronau i es quedi equilibrada.

Els drons poden dur sistemes de seguretat com paracaigudes per amortir la caiguda o sensors de proximitat per evitar impactes.

Els drons també han de dur un equip de comunicació que permeti al pilot conèixer en cada moment la seva posició, estat de la bateria i altres dades a tenir en compte. Aquest seguiment es fa des de la estació de control a terra utilitzant ordinadors, tauletes o mòbils.

Il·lustració 11- Drone amb sistema de seguretat (paracaigudes) de l'empresa HEMAV. Font pròpia.

Il·lustració 12- Drone d'ala fixe amb elements pel seu control de l'empresa CATUAV. Font pròpia.

Il·lustració 13- Dron mutlirotor coaxial (dos motors per braç) amb l'electrònica adaptada per utilitzar en tasques de rescat.

1.2.3.3- Accessoris:

Els accessoris són les eines que ens permeten realitzar les accions que volem dur a terme.

1.2.3.3.1- Accessoris mecànics:

Són aquells accessoris que permeten realitzar accions mecàniques amb el dron com per exemple fumigar, poder arbres, transportar paquets, activar un llançaflames... S'està començant a experimentar amb tot tipus d'usos gràcies a la millora de la bateria i dels components.

Il·lustració 14- Dron que s'utilitza per la neteja de torres elèctriques. Font: https://i0.wp.com/conectica.com/wp-content/uploads/2017/02/drone-que-escupen-fuego.jpg?fit=1010%2C537&ssl=

Il·lustració 15- http://www.tierrafertil.com.mx/wp-content/uploads/2015/05/drone-fumigación.jpg

1.2.3.3.2- Accessoris sensors per teledetecció i fotogrametria:

- Què és la teledetecció i la fotogrametria?

La fotogrametria i la teledetecció són l'art, la ciència, i la tecnologia d'obtenir informació fiable sobre la Terra, el seu entorn, i altres objectes físics a partir d'imatges preses sense contacte i altres sistemes de sensors i processades a través de la gravació, mesurament, anàlisi i representació.

(Definició ISPRS, a partir del 2014-09)

Sensors passius: Detecten l'emissió reflectida pel elements de la superfície terrestre gràcies a la radiació solar.

Sensors actius: El mateix sensor emet la radiació i en mesura el reflex dels elements per obtenir les dades.

1.2.3.3.2.1- Càmeres RGB, multiespectrals i hiperespectrals (sensors passius):

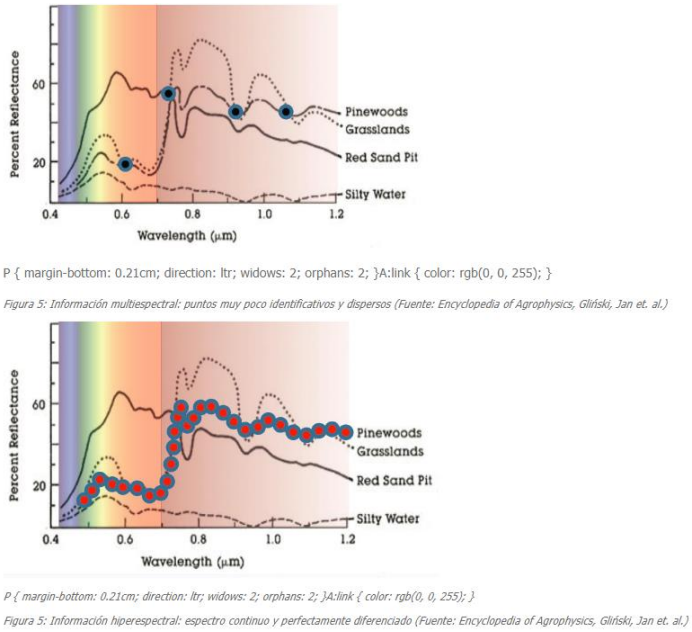
L'espectre electromagnètic son els diferents mides de les ones que tot cos reflecteix a partir de la radiació solar, la capacitat reflexiva de cada cos és la reflectància. Aquestes ones es poden detectar mitjançant diferents sensors. L'ull humà i les càmeres RGB detecten un rang d'ones determinat, és el rang d'ones que s'anomena espectre visible. En funció de la intensitat en què cada ona reflecteix sobre un objecte aquest tindrà un color o un altre. Les ones que estan fora d'aquest rang de l'espectre electromagnètic els humans no les podem veure, per tant no sabem quina quantitat i tipus d'ona reflecteix cada cos. Aquestes ones són importants sobretot per la vegetació ja que els colors visibles no ens donen gaire informació de l0estat del seu creixement, en canvi la diferència de reflectància en altres nivells de l'espectre electromagnètic ens pot donar informació de la salut.

Il·lustració 16- Càmera multiespectral Micasense RedEdge. Font pròpia.

És per això que al mercat existeixen a part de les càmeres RGB, càmeres amb sensors capaços de detectar més enllà de l'espectre visible, ja siguin ones més petites o ones més grans.

Les càmeres multiespectrals són aquelles que porten incorporades sensors que detecten les ones en diferents punts de l'espectre electromagnètic. Aquests punts estan situats en rangs d'ona on la vegetació ens ofereix més informació. Alguns cultius però, en algunes fases de creixement modifiquen la seva reflectància en rangs no coberts per aquests punts i diferents cultius poden coincidir en mostrar reflectàncies similars en diferents fases del seu creixement.

És per això, que per no caure en errors i identificar un cultiu com a sà, o confondre una espècie per una altra degut a que hi ha uns rangs de l'espectre que amb les càmeres multiespectrals no són visibles existeixen les càmeres hiperespectrals.



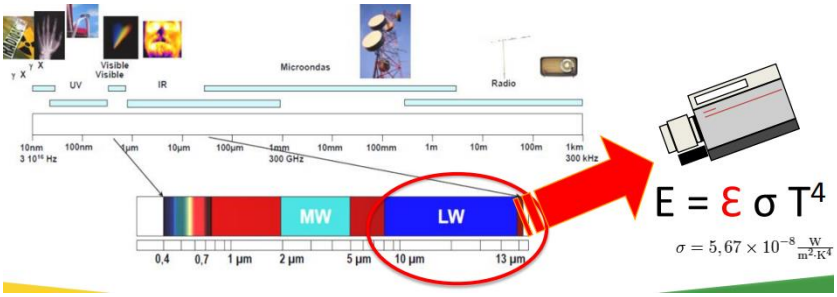
Il·lustració 17- Comparativa resultats càmera multiespectral i càmera hiperespectral. Font:http://hemeroteca.energiadehoy.com/noticias-energia/1804-diferencias-entre-las-tecnologias-de-imagen-multiespectral-e-hiperespectral

Les càmeres hiperespectrals incorporen tants sensors que es pot generar una gràfica lineal on queda representada la reflectància del cos en cada una de les ones de l'espectre electromagnètic. Aquesta és una informació completa de la reflectància de l'objecte.

El preu entre unes i altres canvia considerablement i podem passar dels 400€ d'una càmera RGB, als 2000€ d'una multiespectral als 10000€ d'una hiperespectral. Sempre considerant càmeres pensades per incorporar en drons.

1.2.3.3.2.2- Càmeres tèrmiques (sensor passiu):

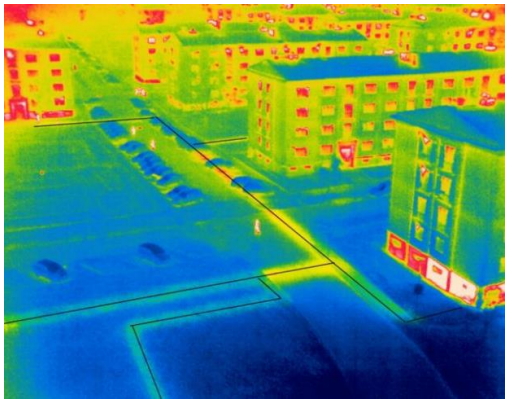
Les càmeres tèrmiques també són un tipus de sensor capaç de detectar una longitud d'ona que els humans no podem detectar amb la vista. Aquesta longitud d'ona si que la podem detectar però amb el tacte. És la calor emesa per cada cos de la superfície terrestre. Aquestes càmeres doncs, són capaces de detectar de forma visible la calor emesa per cada element.



Il·lustració 18- Rang de l'espectre electromagnètic que observen les càmeres tèrmiques. Font: Presentació curs Remote Sensign Aplications (BCN Drone Center)

Aquestes càmeres necessiten un calibratge si el què volem és conèixer la

temperatura exacte tot i que sovint s'utilitzen càmeres no calibrades ja que el que es pretén és detectar on hi ha les pèrdues de calor i no la temperatura.

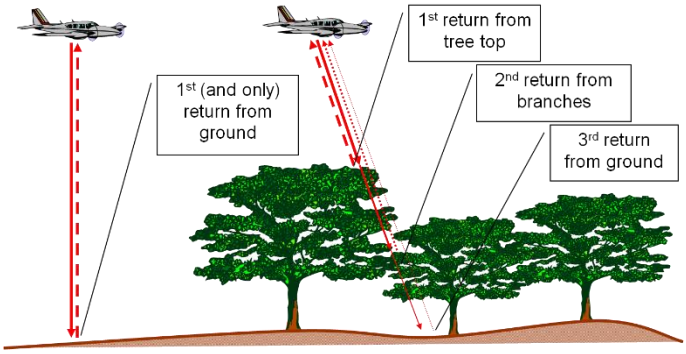


Il·lustració 19- Imatge presa per una càmera tèrmica. Font: Presentació curs Remote Sensing Aplications (BCN Drone Center)

S'utilitzen en casos tant diversos com el rescat de persones, la seguretat, el control animal, l'extinció d'incendis, la inspecció de torres elèctriques, el manteniment de plaques solars, la detecció de fugues de calor d'edificis, la detecció de fongs, la inspecció de canonades subterrànies o l'agricultura de precisió.

1.2.3.3.2.3- Detector Lidar (sensor actiu):

Els sensor LIDAR en anglès, (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*) és un sensor làser que té la capacitat d'emetre ones en una freqüència de ràdio i detectar el rebot d'aquestes ones amb els elements de la superfície terrestre. El sensor és capaç d'emmagatzemar dades com la posició des d'on s'ha emes la radiació, la direcció cap on s'ha emes i el temps que ha tardat l'ona a retornar. Amb aquestes dades i la capacitat concreta d'aquest tipus de sensor de detectar més d'un rebot de les ones permet crear uns models en 3D on es poden representar fins i tot elements no visibles des d'on es trobava el sensor.



Il·lustració 20- Informació de la captació de la senyal d'un sensor LIDAR, on s'observa la capacitat de detectar diferents rebots. Font: https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2017/04/lidar_2.png

Per posar un exemple pràctic, amb aquest sensor es pot generar un model 3D d'un bosc on el primer rebot de les ones del sensor detecti la situació de les fulles però els rebots següents siguin a les branques i al terra, de manera que es pot analitzar amb un detall molt alt el volum de biomassa que hi ha en un bosc.

És també una eina molt més detallista que la fotogrametria per tant és molt útil en el camp de la topografia, l'urbanisme i l'arquitectura.

Aquests sensors, tot i que cada vegada estan més adaptats pel seu ús en drons ja que son molt útils en molts camps actualment tenen un preu molt elevat.

1.2.4- OBTENCIÓ I PROCESSAMENT DE LES IMATGES

Obtenció de les imatges

L'obtenció de les imatges no és una tasca senzilla. No s'ha de creure que es podran obtenir les imatges d'on es vulgui i quan es vulgui sense haver-ho preparat. Abans de posar-se a volar s'han de tenir en compte una sèrie de paràmetres. S'ha de fer una planificació.

1.2.4.1- Planificació de vol:

A la fase de planificació s'ha de valorar quina informació es vol obtenir, quina zona s'ha d'estudiar, a quina resolució i a quina hora. Això farà que s'hagi de valorar el tipus d'aeronau i de sensor que es necessita, quan durarà la missió i quin solapament de les imatges s'ha d'aconseguir. També s'haurà d'assegurar que el sistema de posicionament del dron sigui prou precís i si és essencial establir punts de control al terra (GCP).

Il·lustració 21- Inspecció d'un molí d'energia eòlica. Font pròpia.

En funció d'això s'haurà d'elaborar un pla de vol, amb el programa informàtic o mòbil adequat, que permeti obtenir les imatges que es necessitaran el dia de l'operació.

1.2.4.2- Operació de vol:

El dia del vol s'han de tenir en compte una sèrie de factors que poden interferir amb el que es tenia previst. S'ha de mirar que el lloc sigui l'adequat, si no s'hi havia anat abans, que no es trobin obstacles en el recorregut que no s'havien previst com torres elèctriques, grues, edificis alts, arbres... També s'ha de tenir en compte l'orografia del terreny i els canvis de vent que poden ocasionar. Les interferències que es poden trobar degut a senyals de ràdio o telefonia que poden haver-hi propers al lloc de l'operació, que també poden ser degudes al tipus de sòl sobre el qual s'estigui. S'ha de procurar no alterar el descans dels animals que poden haver-hi a prop i comprovar que cap au estigui sobrevolant la zona. Per últim s'ha d'assegurar-nos que la meteorologia del dia serà durant tota l'estona de l'operació l'adient per obtenir uns bons resultats i per la seguretat de l'operació.

Il·lustració 22- Imatge d'una sorrera pel posterior processat i anàlisi de volums. Font pròpia.

Il·lustració 23- Imatge d'una àrea cremada per la posterior generació d'una ortofoto. Font pròpia.

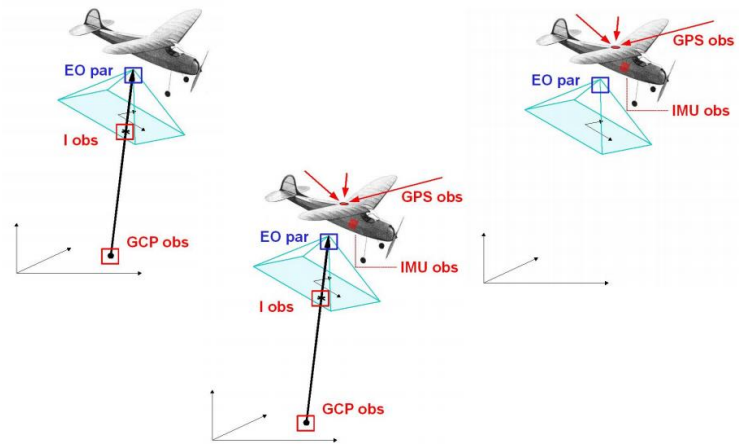
Existeixen uns fulls de comprovació per anar marcant tots els elements a tenir en compte i no deixar-se res que pugui ser crític per la bona realització de l'operació.

1.2.4.3- Normalització de les imatges

Perquè les imatges puguin ser tractades de manera rigorosa han de seguir uns estàndards i uns calibratges. Si no és així els resultats després del processament no seran fiables amb la realitat i serà molt difícil la seva comparació amb futurs resultats o d'altres de previs. Tots els passos de la normalització de les imatges són importants. Uns més que altres en algunes utilitats però tots s'han de tenir en compte si es vol realitzar un treball tècnic amb garanties de qualitat.

1.2.4.3.1- Orientació i georeferenciació de les imatges:

Perquè les imatges que hem obtingut siguin útils pel seu ús en cartografia s'han de poder geoposicionar de la manera més ajustada possible. Aquest geoposicionament es pot realitzar de diferents maneres i entre elles són complementàries per augmentar el grau de posicionament. S'ha de tenir en compte els factors següents: L'orientació del sensor, el sistema de posicionament geogràfic de l'aeronau, la separació entre el sensor i el sistema de geoposicionament, l'alçada des de la que s'ha pres la imatge, i l'existència de punts de control terrestres. Amb aquests elements podem aconseguir que les imatges siguin el màxim d'orientades i georeferenciades respectant la realitat. Per garantir una bona realització d'una ortofoto el solapament d'imatges hauria de ser al menys del 60%.



Il·lustració 24- Diferents elements que s'han de tenir en compte per obtenir una bona orientació i georeferenciació de la imatge. Font: Presentació curs Remote Sensing Aplications (BCN Dron Center)

1.2.4.3.2- Calibratge de les imatges:

Les imatges a part d'estar ben orientades i ben geoposicionades han de garantir uns estàndards en diferents aspectes per tal d'obtenir resultats fiables. Per això cal que estiguin calibrades.

1.2.4.3.2.1- Calibratge geomètric:

És el calibratge de la imatge respecte l'objectiu amb el qual s'ha pres. Aquest calibratge ha de garantir el coneixement de la desviació de la situació dels elements en relació al món real. Per posar un exemple, les càmeres anomenades ull de peix tenen un grau de visió molt ampli distorsionant la situació i distància de la realitat. Normalment la càmeres ja venen de fàbrica amb aquest calibratge realitzada i no cal fer-la.

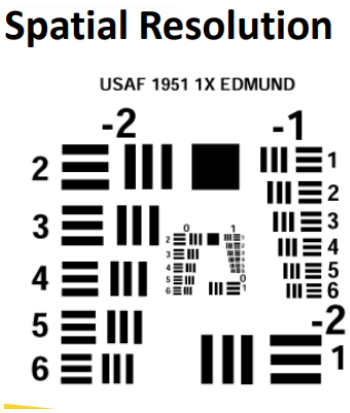
Il·lustració 25- Imatge presa des d'un sensor RGB amb la lent d'ull de peix. La informació de la imatge ha d'estar ven calibrada per conèixer ben bé quina és la seva distorsió amb la realitat. Font: http://www.pix4d.com

1.2.4.3.2.2- Calibratge de la resolució espacial:

Aquest calibratge fa referència a l'espai (àrea) real que s'emmarca dins de cada imatge. En aquest calibratge hi intervenen la grandària del sensor, la resolució del sensor i la distància entre el sensor i la lent (distància focal). Amb aquests paràmetres es coneix quina és l'àrea d'estudi a una alçada determinada i la seva resolució. Per

garantir (calibrar) aquesta resolució espacial s'ha d'assegurar que el vol sempre es fa a la mateixa distància del terra seguint l'orografia del terreny o bé rectificant la informació de cada imatge amb punts de calibratge.

Per posar un exemple, si al terra hi ha unes línies que mesuren 2cm, es vola a una alçada de 80m sobre el nivell del terra i s'obtenen unes imatges en que aquestes línies ocupen 1px, les imatges tindran una resolució a 80m de 2cm/px. Aquesta referència no seria real si s'utilitza un pla de vol on no es consideri l'orografia del terreny i l dron es manté sempre a la mateixa alçada a l'aire, agafant com a referència el punt inicial i passem per sobre d'un turó amb una elevació de 40m sobre el punt inicial. Al moment de passar-hi per sobre realment estarem volant a una alçada de 40m sobre el nivell del terra. Si sobre el turó hi ha una línia també de 2cm en aquelles imatges podria ser que la línia ocupés 4px, llavors les imatges ja no tindrien una resolució de 2cm/px, sinó una de 0,5cm/px.



		1	2	3	4	5	6
Group	-10	51,200000	45,614014	40,637467	36,203867	32,253979	28,735028
	-9	25,600000	22,807007	20,318733	18,101934	16,126989	14,367514
	-8	12,800000	11,403504	10,159367	9,050967	8,063495	7,183757
	-7	6,400000	5,701752	5,079683	4,525483	4,031747	3,591879
	-6	3,200000	2,850876	2,539842	2,262742	2,015874	1,795939
	-5	1,600000	1,425438	1,269921	1,131371	1,007937	0,897970
	-4	0,800000	0,712719	0,634960	0,565685	0,503968	0,448985
	-3	0,400000	0,356359	0,317480	0,282843	0,251984	0,224492
	-2	0,200000	0,178180	0,158740	0,141421	0,125992	0,112246
	-1	0,100000	0,089090	0,079370	0,070711	0,062996	0,056123
	0	0,050000	0,044545	0,039685	0,035355	0,031498	0,028062
	1	0,025000	0,022272	0,019843	0,017678	0,015749	0,014031
	2	0,012500	0,011136	0,009921	0,008839	0,007875	0,007015
	3	0,006250	0,005568	0,004961	0,004419	0,003937	0,003508
	4	0,003125	0,002784	0,002480	0,002210	0,001969	0,001754
	5	0,001563	0,001392	0,001240	0,001105	0,000984	0,000877
	6	0,000781	0,000696	0,000620	0,000552	0,000492	0,000438
	7	0,000391	0,000348	0,000310	0,000276	0,000246	0,000219
	8	0,000195	0,000174	0,000155	0,000138	0,000123	0,000110
	9	0,000098	0,000087	0,000078	0,000069	0,000062	0,000055
	10	0,000049	0,000044	0,000039	0,000035	0,000031	0,000027

Il·lustració 26- Plaques amb distàncies conegudes que es col·loquen en diferents punts de la ruta per un bon calibratge de la resolució espacial. Font: Presentació curs Remote Sensing Aplications (BCN Drone Center)

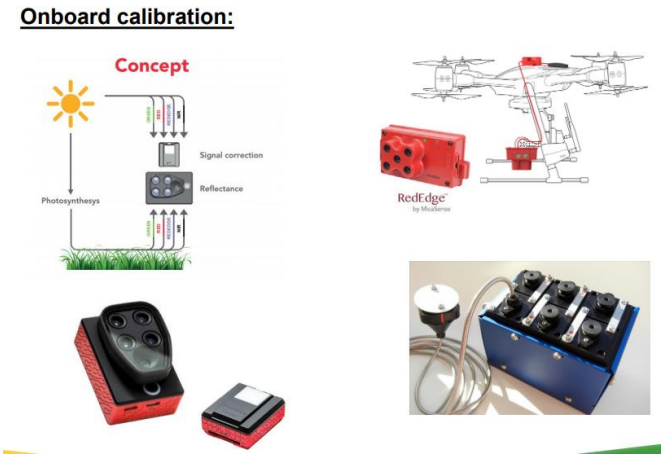
Aquest calibratge es pot fer ajustant el vol a l'orografia del terreny o bé instal·lant diferents plafons amb marques amb distàncies conegudes i corregir-ho al moment de processar les imatges.

1.2.4.3.2.3- Calibratge radiomètric:

La radiació solar varia constantment, ja sigui pel canvi de l'orientació solar o per la nuvolositat a les diferents alçades de l'atmosfera. És per això que quan s'utilitza una càmera que detecta més enllà de l'espectre visible és molt important el calibratge radiomètric. També en les càmeres RGB si s'utilitzen per fer comparatives de color.

El calibratge radiomètric consisteix en neutralitzar les variacions de la radiació solar per partir sempre d'un mateix punt i així poder garantir que totes les imatges d'una missió estiguin calibrades seguint el mateix patró i el que és més important, garantir que la comparativa entre imatges en el temps sigui correcte.

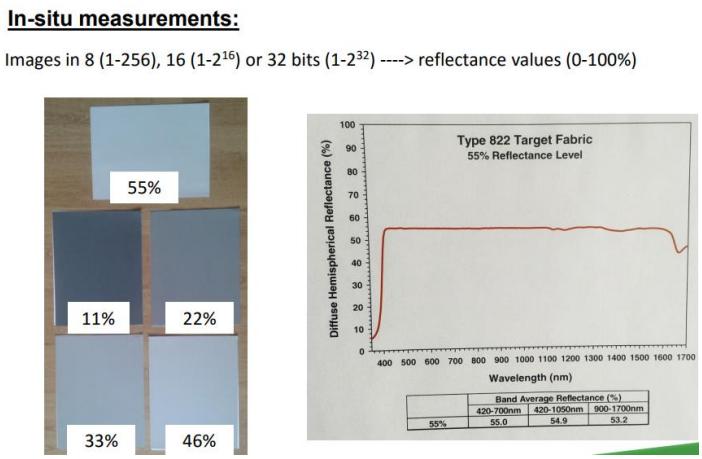
Per fer aquest calibratge existeixen dos mètodes diferents i que poden ser complementaris al mateix temps.



Il·lustració 27- Càmera multiespectral Parrot Sequoia que porta un sensor de la raciació solar que es col·loca sobre el dron: Font: Presentació curs Remote Sensing Aplications (BCN Drone Center)

El primer consisteix en col·locar un sensor sobre el dron que detecti la radiació solar en el moment de presa de cada imatge, així es fa un calibratge al moment i els valors de reflectància tenen sempre la mateixa desviació respecte la radiació solar. Aquests sensors ja venen incorporats en moltes de les càmeres multiespectrals que hi ha al mercat.

L'altre manera de calibrar-ho és col·locant al terra uns plafons amb una reflectància coneguda i invariable. D'aquesta manera pots estipular un cop obtingudes les imatges que aquells píxels corresponen amb una reflectància concreta de l'espectre electromagnètic.



Il·lustració 28- Plafons amb una reflectància coneguda per calibrar les imatges abans de ser processades. Font: Presentació curs Remote Sensing Aplications (BCN Drone Center)

Com més plafons amb diferents reflectàncies conegudes millor, més ajustats seran els resultats de la resta de les imatges.

1.2.4.4- Processament de les imatges:

Un cop obtingudes les imatges i garantits els paràmetres de calibratge per tal de obtenir uns bons resultats toca processar-les per generar uns arxius finals que permetin fer una anàlisi i interpretació.

Aquest processament es pot realitzar amb programes al núvol o programes instal·lats al propi ordinador.

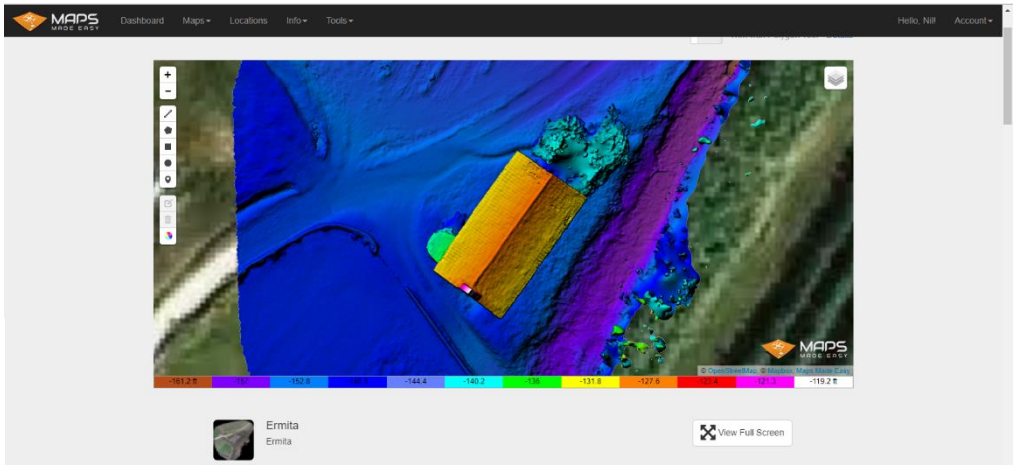
Els programes al núvol es basen en oferir un servei de càrrega de les imatges i un processament online que permet realitzar altres tasques fins a rebre l'avís per visualitzar i descarregar els resultats.

Els programes instal·lats a l'ordinador requereixen un maquinari potent i mantenir-lo engegat durant l'estona que duri el processat de les imatges, però no es necessita connexió a internet en cap moment.

Els resultats generats en processar les imatges poden ser:

Ortofotos: Representació fotogràfica rectificada d'una àrea de la superfície terrestre

Models d'Elevació Digital (MDE): Són representacions en 2D de l'alçada dels elements que hi ha a la superfície terrestre.



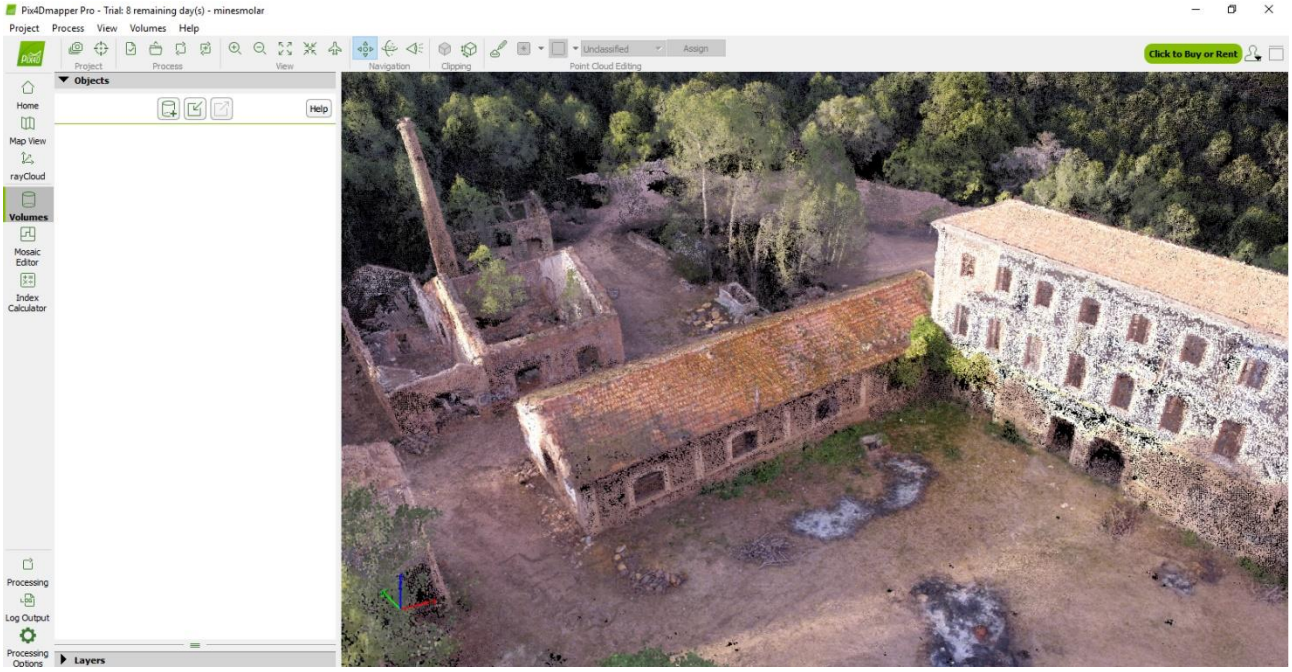
Il·lustració 29- MDE d'una ermita generat pel programa MapsMadeEasy. Font pròpia.

Núvol de punts: Són vèrtex en un entorn tridimensional que representen la superfície externa d'un objecte.

Malla tridimensional: És una representació de superfícies en un entorn tridimensional on es representa la superfície exterior d'un objecte.

Amb aquests arxius, entre d'altres utilitats hi ha la possibilitat de detectar objectes i elements amb unes característiques concretes, fer càlculs de distàncies, d'àrea o de volum o comparar l'evolució d'una àrea en el temps.

Aquestes utilitats poden servir en caps molt diversos com la topografia, l'agricultura, l'urbanisme, la indústria, la gestió del medi ambient, l'arquitectura, l'arqueologia...



Il·lustració 30- Núvol de punts d'una edificació en runes processat pel programa Pix4D Desktop. Font pròpia.

1.2.5- QUINS PERMISOS ES NECESSITEN I PER ON ES POT VOLAR AMB EL DRON?

La llei que regula el vol amb drons és la llei 18/2014 del 15 d'octubre, aquesta llei modifica la llei 48/1960 del 21 de juliol de navegació aèria. Aquesta llei serà modificada aquest any i serà més permissiva però faran falta més requisits. Tot i això és una llei que es preveu que quedarà obsoleta quan als voltants del 2021 es promogui una llei de caràcter europeu.

En termes generals, i tal com ha resumit AESA (l'Agència Estatal de Seguretat Aèria) en els seus fulls informatius s'ha de diferenciar l'ús de drons per vols recreatius i l'ús de drons com a eina de treball.

Per vols recreatius, tal com informa AESA cal tenir en compte que s'ha de veure el dron mentre es vola i no es pot superar els 120m d'alçada, no es pot volar per sobre zones urbanes, aglomeracions de gent, de nit ni a prop d'aeroports, aeròdroms o zones de vol a baixa alçada.

Tot i aquestes recomanacions d'AESA que es poden trobar a la seva web, la normativa és més àmplia i hi ha més zones on el vol en dron està prohibit.

Il·lustració 31- Carta de navegació aèria per informar-se dels usos i regulacions de l'espai aeri. Font: http://www.enaire.es

Pel vol com a eina de treball l'empresa ha d'estar registrada a AESA com a operadora de drons, aquest és un registre en que s'ha d'aportar informació sobre l'aeronau, la utilització i els pilots. També s'ha de tenir contractat un assegurança de responsabilitat civil específica, el pilot ha de tenir el carnet de pilot en la modalitat teòrica i pràctica corresponent i ha de tenir el certificat mèdic en vigor. No es pot volar per tot arreu, en queden excloses les àrees urbanes, sobre aglomeracions de gent, el vol de nit, dins l'espai aeri controlat i a prop d'aeroports i aeròdroms.

Com en el cas dels vols recreatius la normativa és més estricte en alguns àmbits i hi ha altres elements a considerar. Cal llegir-se la normativa completa abans de volar amb qualsevol de les dues modalitats.

Código: F-07-02 Versión: 01 Fecha: 11/05/2016
Nº Certificado: P010A09-2P

CERTIFICADO PRÁCTICO DE PILOTO DE DRONES

D. Robert Pedra Domingo, HT ATO RS Servicios de Teledetección SL (E-ATO-178), con licencia de Piloto Comercial de avión nº E/FCL/00020991,

CERTIFICA

Que Don Nil Sicart Moragas con DNI 40368839 K, ha superado, demostrando los conocimientos y/o pericia mínimos exigibles, los cursos:

Conocimientos y pericia prácticos

Con el hexacóptero Spread Wings S900 (DJI) + A2 (DJI)

Realizados en HEMAV, Castelldefels, y por ello queda habilitado para su pilotaje de acuerdo a lo establecido en el Apéndice I, Revisión 2 (10.07.15) – medios aceptables para acreditar el cumplimiento de los requisitos para la formación y certificación de los pilotos que operen aeronaves pilotadas por control remoto (art. 50.5 Ley 18/2014)

Y para que así conste, a los efectos que proceda, se expide el presente certificado, en Castelldefels, 3 de noviembre de 2016.

RSAVIATION HEMAV Academy

RS SERVICIOS DE TELEDETECCIÓN SL
Passeig Onze de Setembre 3, 7-4
25005 Lleida
B 25657883

Robert Pedra Domingo
HT E-ATO-178 RS Servicios de Teledetección SL

RSAVIATION HEMAV

Código: F-07-02 Versión: 01 Fecha: 11/05/2016
Nº Certificado: P010A09-1P

CERTIFICADO PRÁCTICO DE PILOTO DE DRONES

D. Robert Pedra Domingo, HT ATO RS Servicios de Teledetección SL (E-ATO-178), con licencia de Piloto Comercial de avión nº E/FCL/00020991,

CERTIFICA

Que Don Nil Sicart Moragas con DNI 40368839 K, ha superado, demostrando los conocimientos y/o pericia mínimos exigibles, los cursos:

Conocimientos y pericia prácticos

Con el cuadcóptero DJI Phantom 2

Realizados en HEMAV, Castelldefels, y por ello queda habilitado para su pilotaje de acuerdo a lo establecido en el Apéndice I, Revisión 2 (10.07.15) – medios aceptables para acreditar el cumplimiento de los requisitos para la formación y certificación de los pilotos que operen aeronaves pilotadas por control remoto (art. 50.5 Ley 18/2014)

Y para que así conste, a los efectos que proceda, se expide el presente certificado, en Castelldefels, 3 de noviembre de 2016.

RSAVIATION HEMAV Academy

RS SERVICIOS DE TELEDETECCIÓN SL
Passeig Onze de Setembre 3, 7-4
25005 Lleida
B 25657883

Robert Pedra Domingo
HT E-ATO-178 RS Servicios de Teledetección SL

RSAVIATION HEMAV

Código: F-07-02 Versión: 01 Fecha: 11/05/2016
Nº Certificado: P010A09-1

CERTIFICADO TEÓRICO DE PILOTO DE DRONES

D. Robert Pedra Domingo, HT ATO RS Servicios de Teledetección SL (E-ATO-178), con licencia de Piloto Comercial de avión nº E/FCL/00020991,

CERTIFICA

Que Don Nil Sicart Moragas con DNI 40368839 K, ha superado, demostrando los conocimientos y/o pericia mínimos exigibles, los cursos:

Conocimientos teóricos avanzados

para pilotaje de RPAS con MTOM ≤ 25 kg

Realizados en HEMAV, Castelldefels, y por ello queda habilitado para su pilotaje de acuerdo a lo establecido en el Apéndice I, Revisión 2 (10.07.15) – medios aceptables para acreditar el cumplimiento de los requisitos para la formación y certificación de los pilotos que operen aeronaves pilotadas por control remoto (art. 50.5 Ley 18/2014)

Y para que así conste, a los efectos que proceda, se expide el presente certificado, en Castelldefels, 3 de noviembre de 2016.

RSAVIATION HEMAV Academy

RS SERVICIOS DE TELEDETECCIÓN SL
Passeig Onze de Setembre 3, 7-4
25005 Lleida
B 25657883

Robert Pedra Domingo
HT E-ATO-178 RS Servicios de Teledetección SL

RSAVIATION HEMAV

Il·lustració 32- Certificats de la titulació de pilot de drons. Font pròpia.

2- OBJECTIUS DE L'APROXIMACIÓ

Amb el coneixement adquirits als cursos de teledetecció amb imatges preses amb dron i amb la titulació de pilot de dron se'm va despertar un gran interès per la teologia i els usos dels drons. Aquests coneixements són els necessaris per començar a treballar amb drons amb l'objectiu d'obtenir uns resultats fiables, de qualitat i que ajudin a aportar informació útil per projectes de tot tipus, des de l'agricultura de precisió fins a estudis mediambientals de control de fauna.

Sempre hi ha espai per aprendre coses i perfeccionar la tècnica en camps concrets però per no perdre la dinàmica d'aprenentatge d'un món que evoluciona molt ràpidament fan falta dues eines bàsiques.

Disposar d'un aparell per realitzar proves i obtenir imatges amb un sensor incorporat i disposar del programari i maquinari necessari per fer-lo volar amb missions predefinides i posteriorment processar les imatges amb el programari específic per obtenir els resultats.

Aquest programari i els drons que et permeten preconfigurar-hi un vol perquè el facin de forma automàtica tenen un preu molt elevat. És una llàstima que tenint els coneixements sigui tant difícil poder accedir a les eines per experimentar-hi i guanyar experiència.

L'aeronau amb l'electrònica i amb els accessoris necessaris per ús professional supera el miler d'euros i el programari s'enfila a més de dos mil euros.

És per això que l'objectiu final del treball és buscar les eines necessàries, al més baix cost possible, per realitzar treballs amb el màxim rigor i qualitat, seguint tots els consells i coneixements adquirits al llarg de l'aprenentatge.

En aquesta recerca s'ha valorat i intentat sempre utilitzar eines gratuïtes i/o de codi obert tot i que també s'ha entès l'esforç tècnic que suposa el desenvolupament de programari i s'ha considerat el pagament d'algunes d'aquestes eines sempre i quan el preu no ha estat elevat i entra dins el què és pot considerar assequible per la majoria de la població.

3- METODOLOGIA

Per arribar a l'objectiu final em vaig estructurar una sèrie de passos a seguir.

Primer de tot s'ha de disposar d'una aeronau i valorar aspectes tècnics per considerar si és l'adequada per la tasca a desenvolupar o no. També s'ha de considerar el cost de l'aparell i tota l'electrònica.

Un cop s'ha escollit l'aeronau i molt lligat amb aquesta decisió s'han de considerar els sensor que hi portaran incorporats i que permetran obtenir les imatges per posteriorment esser processades. S'han de valorar preus de sensors RGB, multiespectrals, hiperespectrals, tèrmics… i si hi ha la possibilitat d'incorporar-los fàcilment a l'aeronau.

Un cop aquestes dues primeres fases estiguin decidides se'ns plantejarà el dubte de quines utilitats, en quina mena de projectes, quins resultats finals podrem arribar a obtenir amb l'equip que tenim a disposició.

Després d'haver valorar en quins camps creiem que ens podrà fer servei el nostre equip s'ha de considerar una àrea d'estudi per fer les proves.

Es necessitarà establir un pla de vol i per això s'haurà de valorar quins programaris hi ha a disposició per crear la missió més adient per obtenir les imatges necessàries pel resultat que es volen obtenir.

Sobre el terreny s'ha de comprovar que l'àrea escollida i el programari escollit realment són els que adequats per obtenir les imatges correctes.

Un cop obtingudes les imatges, aquestes s'han de processar i obtenir uns arxius finals que ens permetran fer les anàlisis. Per això s'han valorat diversos programes informàtics i obtingut diversos resultats.

Finalment, després de tota la tasca d'experimentació s'ha arribat a unes conclusions que a falta de ser definitives donen una idea clara de com està el camp de l'obtenció i processament d'imatges preses amb dron a baix cost en aquests moments.

4- APROXIMACIÓ

4.1- AERONAU

Per fer proves amb dron, ja sigui per agafar experiència pilotant-lo, per prendre imatges o vídeos per un ús multimèdia, obtenir imatges amb diferents sensors per després processar-les i obtenir uns resultats fàcils d'interpretar o bé utilitzar el dron per fer una feina mecànica com per exemple transportar un paquet, el primer que s'ha de considerar és l'aeronau.

En el meu cas, decidir-me per una aeronau d'ala fixe o un multi rotor va ser fàcil ja que la titulació de pilot que m'he tret és només per multi rotor.

Decidits doncs per un multi rotor el següent pas va ser valorar quina aeronau necessitava. Evidentment sempre es voldria tenir la millor aeronau possible, però llavors cal considerar el factor del preu i també la durada de les bateries de les aeronaus que poden suportar més pes de càrrega. Vaig considerar que amb una aeronau de mida petita (0-5kg) ja era suficient.

Hi ha dues opcions a l'hora d'adquirir una aeronau, comprar els components per separat (o amb un paquet conjunt) i llavors muntar-los, ajustar-los i calibrar tota la electrònica o bé comprar un aparell apunt per volar, tal com apareix en moltes promocions en anglès, RTF (Ready To Fly).

Primer vaig considerar l'opció de comprar-lo per peces i muntar-lo jo mateix, ja que d'aquesta manera pots utilitzar peces estàndards, amb una electrònica de codi obert utilitzant una controladora amb placa base Arduino amb programari Ardupilot. Aquest és un dels objectius que m'havia proposat, utilitzar programari de codi obert, però després de realitzar el curs de pilot de drons i veure la complexitat tant del muntatge com del calibratge dels aparells i els coneixements d'electrònica i informàtica necessaris per ajustar-ho tot es va descartar aquesta opció.

Més o menys al mateix moment en què estava prenent la decisió de descartar muntar jo mateix l'aeronau va aparèixer una oferta molt bona per un dron, de les mateixes característiques que els drons amb els que havia fet les pràctiques de 0-5kg, concretament el model DJI Phantom 3 Standard, que porta una càmera RGB incorporada de 12 megapixels i amb capacitat de gravar vídeo a 2,7K (2704x1550). EL preu va ser de 350€ quan un any enrere havia sortit al mercat a un preu de 799$. Aquesta oferta es justifica ja que estem parlant d'un producte reacondicionat en què els preus són força inferiors als preus d'un producte nou. Actualment el Phantom 3 standard es pot comprar per 599€ al web oficial i pel voltants de 400€ a portals d'internet que venen productes d'importació.

Les seves especificacions completes es poden trobar a l'Annex i al seu web oficial http://www.dji.com/es/phantom-3-standard/info

Il·lustració 33- Primeres proves amb el dron adquirit en una vinya al Priorat. Font pròpia.

Pros i contres del dron adquirit

Aquest dron és d'una de les millors marques especialitzades en drons del món, DJI. Tot i que a nivell de maquinari és un aparell molt tancat i de difícil reparació, és molt fiable i amb molt bon suport per part de la marca. És també un dels models més venuts del món, per tant la seva informació a internet és de les més bones i amb més solucions per part d'altres propietaris als fòrums d'internet per tal de resoldre dubtes i problemes.

Aquest dron en concret, utilitza només els serveis GPS per geoposicionar-se a diferència d'altres drons similars o de classe més alta que també utilitzen els satèl·lits GLONASS per obtenir una precisió més alta. Tot i això els resultats són molt bons i l'estabilitat és alta. El rang de control també és inferior en comparació a d'altres models, però la normativa no permet cap mena de vol a més de 500m si no ets operadora de drons, per tant entra dins de les prestacions necessàries.

Un altre dels grans avantatges d'aquest dron és el fet que duu la càmera incorporada així t'assegures que la informació que es guarda a les imatges sobre la seva posició és la correcta ja que no l'has de calibrar, també t'estalvies de incorporar-hi i configurar-hi un gimbal, que solen tenir un cost elevat i una difícil configuració. En aquest dron, el gimbal ja hi va incorporat i a part d'estabilitzar la càmera en 3 eixos gràcies a dos motors sense escombretes permet moure-la en la seva vertical per obtenir imatges de 45 a 90º.

També s'ha de tenir en compte que la seva autonomia és d'uns 25 min de vol a diferència d'altres models que no superen els 15 minuts, una molt bona autonomia per un dron multi rotor que porta la càmera incorporada.

Tot i això, al ser un dron petit pot aguantar poc pes i al dur una càmera incorporada si mai es vol substituir per una altra, tot i que possible, serà complicat.

Un últim punt a tenir en compte del model DJI Phantom 3 standard és el fet que la marca ha alliberat l'API (Interfície de Programació d'Aplicacións) de la seva controladora per tal de que tercers puguin desenvolupar programes per crear rutes preconfigurades i el dron les faci de forma automàtica. Aquests programes també permeten el control de la càmera que duu incorporada per tal de poder-la moure per enfocar l'objectiu desitjat. Aquest fet és molt important a l'hora de dissenyar missions útils per obtenir imatges destinades a crear ortofotos, models amb 3D o bé inspeccions, ja que cada aplicació requereix d'una ruta determinada.

4.2- ESTACIÓ DE CONTROL

El dron Phantom 3 Standard du incorporat l'electrònica que permet el control de vol des del terra i l'enviament de la informació de vídeo, bateria, posicionament...

El control manual de l'aeronau es realitza amb l'emissora pròpia del dron i que només funciona amb aquest model i permet una distància de 1000m pel control manual.

Pels vols automàtics i la visualització de la resta de paràmetres des del terra s'utilitzen dispositius mòbils o bé ordinadors portàtils amb diferents softwares a escollir gràcies a l'alliberació de la seva API i funciona a través de la tecnologia WIFI que transmet la informació del dron a l'emissora i és l'emissora qui la transmet també per WIFI al dispositiu. Així doncs, tota la informació d'aquest dron es transmet a través de la tecnologia WIFI a diferència d'equips més complexos on s'utilitzen diferents aparells, antenes i freqüències per transmetre la informació de vídeo, posicionament, informació de la bateria...

Resumint, l'equip de l'estació de control utilitzat consta de la pròpia emissora que du el dron i de dispositius mòbils i PC que ja es tenen a disposició.

Aquests dispositius són:

Un mòbil amb sistema operatiu Android amb un processador de 8 nuclis i una memòria RAM de 3Gb. En principi és un dispositiu que ha de funcionar amb totes les aplicacions Android que hi ha avui dia a la botiga oficial d'aquest sistema operatiu, Play Store.

També es disposa d'un PC amb sistema operatiu Windows 10 Home, amb processador Intel I7 4207MQ, i 8GB de RAM.

4.3- ACCESSORIS

Amb l'adquisició del dron DJI Phantom 3 Standard, com he dit, el gimbal i la càmera ja hi estan incorporats. El gimbal és de molt bona qualitat i compleix amb el què se n'espera. La càmera també és de molt bona qualitat per un ús multimèdia recreatiu o inclús semi-professional. A nivell tècnic és un sensor RGB, que capta l'espectre visible, i per tant totes les aplicacions en què es requereixen sensors que puguin captar més amplitud de l'espectre electromagnètic queden descartades. En aquest cas es comencen a considerar doncs només les possibilitats que ofereix un sensor RGB.

També vaig valorar l'adquisició d'altres sensors.

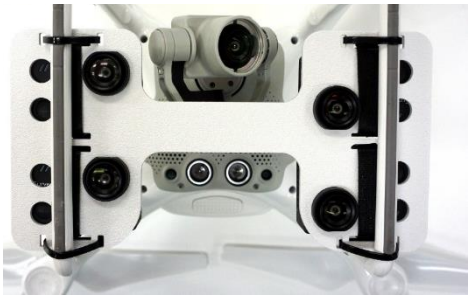
El tipus de sensor RGB estava cobert per tant vaig descartar comprar-ne cap altre de més bo.

Pel què fa a les càmeres multiespectrals, tot i que en un principi vaig pensar que era molt complicat adaptar-n'hi una, existeixen algunes solucions.

La més clara és utilitzar una de les càmeres amb bateria incorporada de l'empresa MAPIR. Aquesta empresa també té a la venda un kit per només 20 euros que permet incorporar fins a 4 càmeres a part de la pròpia del dron.

Il·lustració 34- Càmeres amb diferents filtres per obtenir imatges multiespectrals. Font http://www.mapir.camera

Aquestes càmeres tenen un preu de 400$ cadascuna i tot i que vaig descartar adquirir-ne alguna en aquests moments és una solució que podria servir pel model de dron que tinc. Tenen a la venda 5 càmeres que cobreixen les ones de l'espectre electromagnètic més importants pel control dels cultius, filtres que permeten obtenir, després de processar les imatges índex com els NDVI, ENDVI, EVI, SAVI, GNDVI, GVI i altres.



Il·lustració 35- Suport per acoblar als drons tipus DJI Phantom per poder-hi incorporar fins a 4 càmeres multiespectrals. Font: http://www.analistgroup.com

Pel que fa a les càmeres tèrmiques ha avançat molt el seu desenvolupament en els últims anys i tot i que la resolució encara no és gaire alta en càmeres compactes si que són suficientment útils per les aplicacions que se'ls hi pot donar com controls de plaques fotovoltaiques, fugues de calor d'edificis, seguiment d'animals, recerca de persones, vigilància... Hi ha opcions molt considerables de l'empresa FLIR, amb diferents sistemes d'adaptació pels models de DJI, els seus preus van des dels 300€ per les opcions més bàsiques (càmeres que van acoblades a un mòbil i el mòbil s'acobla al dron) fins als 2000€ per les opcions més professionals. En aquesta ocasió vaig descartar comprar-ne cap tot i que ho podria considerar en un futur.

Il·lustració 36- Càmera tèrmica acoblada a un DJI Phantom. Font: http://www.analistgroup.com

Pel què fa a les càmeres hiperespectrals ho vaig descartar d'entrada degut al seu elevat cost però si que n'he anat fent un seguiment constant. Crida l'atenció l'empresa XIMEA que ha creat una sèrie de models de càmeres que tenen des de 20 fins a més de 100 bandes i són càmeres petites per ser utilitzades en drons. El gran inconvenient d'aquestes càmeres és el preu, que pot superar els 10.000€.

Il·lustració 37- Càmera hiperespectral dissenyada pel seu ús en drons. Font: http://www.ximea.com

Un últim sensor que he investigat són els sensors LIDAR. Aquesta tecnologia que permet la creació de mapes 3D (lasegrametria) amb una qualitat molt alta està avançant ràpidament i tot i que ja existeixen models pensats per ser incorporats a drons, el seu pes i sobretot el seu preu, que supera els centenar de milers d'euros els deixa fora de l'abast de la gran majoria. Faré un seguiment del seus desenvolupament per futurs plantejaments.

Il·lustració 38- Dron DJI S900 amb un sensor LIDAR de la marca Phoenix incorporat. Font: http://dronelife.com/wp-content/uploads/2017/01/aerial-scout.png

Pel que fa als accessoris del dron, per aquesta experimentació he descartat tot tipus d'accessoris mecànics ja que no és un dron suficientment gran i no pot suportar gaire pes. Aquests tipus d'elements que permetrien, per exemple, transportar paquets, es consideren per futures adquisicions.

En resum doncs, només disposo de la pròpia càmera que duu incorporada el dron, una càmera RGB d'una qualitat mitjana dins dels models que aquest tipus de drons poden incorporar.

4.4- UTILITATS

Amb els elements aconseguits, que en aquest cas ha estat tot en un sol paquet, dron i accessori toca pensar perquè em serà útil aquest maquinari, quins projectes i quins resultats puc esperar obtenir amb aquest dron i aquesta càmera.

Disposo d'una càmera RGB que cobreix l'espectre visible. Disposo d'un dron capaç de realitzar missions amb un traçat i alçada preconfigurats que dona una estabilitat considerable i també te incorporat un GPS amb el que s'aporta informació geogràfica de cada foto. Amb aquests elements és fàcil pensar que podré obtenir imatges per després poder generar una ortofoto.

A part de generar una ortofoto, la informació que emmagatzema la pròpia foto, com el tipus d'objectiu amb el qual ha estat realitzada, la resolució, el posicionament... permetrà amb un programa informàtic realitzar un procés de fotogrametria i obtenir un model digital d'elevació del terreny, o el què és el mateix, una informació d'alçada de cada píxel respecte als altres píxels. Amb aquesta tècnica, si sobrevolo verticalment un edifici, una zona minera, una roca... i també obtinc imatges circulars de totes les seves cares, i aconsegueixo cobrir tota la seva superfície, podré obtenir un model 3D, tant de l'objecte en concret com d'una zona més gran i així posteriorment realitzar càlculs volumètrics i mesuraments de distàncies, de gran utilitat en l'àmbit de la topografia i el modelatge 3D.

Amb una càmera RGB acoblada a un dron, amb tota la informació geografia aportada a cada imatge presa puc obtenir resultats finals útils per camps com la topografia, l'arquitectura, l'urbanisme, l'arqueologia, l'agricultura...

4.5- PROGRAMES DE PLA DE VOL

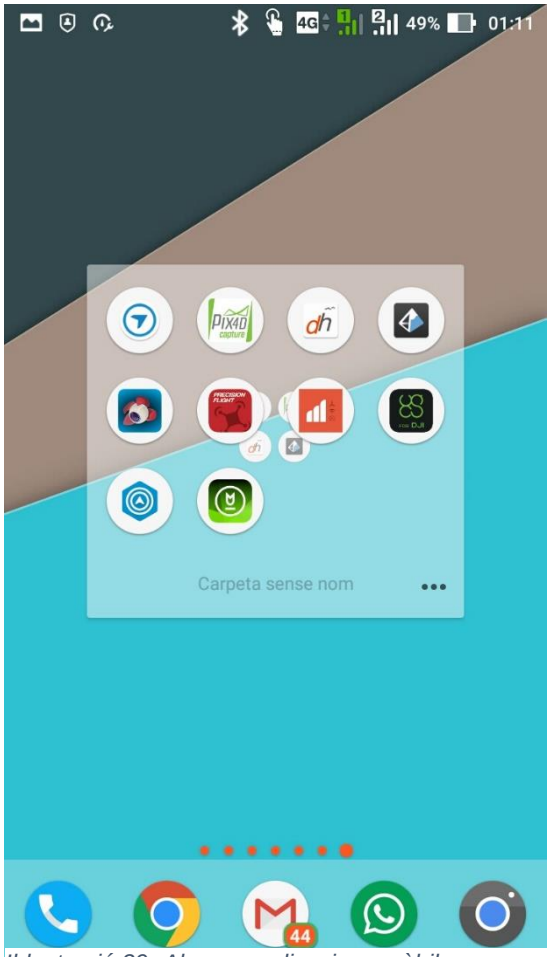
Per realitzar el pla de vol que em permetrà obtenir de forma automàtica les imatges pels diferents projectes cal saber ven bé de quins programes es disposa per fer-ho, si ens són útils pel què vull fer, si són de pagament o gratuïts i si són programes per ser utilitzats al PC o bé funcionen amb el mòbil.

El programa de la mateixa marca DJI, el programa DJI GO no permet crear rutes i que el dron les segueixi automàticament, és només un programa que permet el vol manual amb algunes funcions que permeten fixar uns punts preestablerts per una millor gravació de vídeo. És un programa pensat per un ús multimèdia i no per l'obtenció d'imatges per processar-les posteriorment. Com que DJI té l'API alliberada, si que n'existeixen que permeten fer el què buscava. N'he provat uns quants i s'han valorat els pros i contres de cadascun per arribar a la conclusió final de determinar quin és millor pels diferents resultats que es volen obtenir.

D'entrada vull explicar què es busca en un programa de planificació de vol perquè sigui llavors més fàcil entendre el resum de cadascun d'ells.

Quan es configura un ruta es pot determinar d'entrada l'espai per on ha de transcórrer. Molts programes només permeten determinar una zona quadrada, tot i que el millor és poder determinar la zona amb la forma que es vulgui. Per posar un exemple, un camp pot tenir forma de ronyó, amb uns programes el dron haurà de sobrevolar els camps del costat ja que només es pot indicar una zona quadrada, amb d'altres es pot marcar exactament la zona que ha de cobrir el recorregut, sigui quadrada o no.

També s'ha de considerar la direcció en què fa les passades el dron per sobre de la zona a fotografiar. Alguns programes només permeten fer passades d'anada i tornada, per exemple en direcció N-S i viceversa. Si llavors es vol fer una passada en una altra direcció, per exemple en direcció E-O i viceversa, s'ha de crear una altra missió. Hi ha programes que permeten cobrir varies direccions en una mateixa missió. Això pot ser interessant si una àrea es vol cobrir per crear un mapa 2D o bé es volen més imatges per poder fer millor triangulació per elaborar un mapa en 3D. Sobre la ruta hi ha programes que permeten incorporar a les missions trajectes que envoltin en cercle un objectiu, això també ajuda a obtenir imatges obliqües per una millor generació de models 3D.



Il·lustració 39- Algunes aplicacions mòbil utilitzades col·locades en una carpeta a l'escriptori. Font pròpia.

Per un bon calibratge radiomètric, els programes haurien de respectar sempre l'alçada sobre el nivell del terra a la que es vol volar, independentment dels canvis orogràfics, però pocs permeten tenir-ho en compte, ja sigui utilitzant fonts d'informació públiques com permetent la càrrega de fitxers MDT obtinguts anteriorment.

També s'ha de considera si el mateix programa permet variar la velocitat del dron per donar més pes a la nitidesa de les imatges o a la zona a cobrir i la bateria.

Configurar la inclinació de la càmera o poder seleccionar un objectiu al mapa també és important a l'hora d'obtenir imatges per la creació de models 3D.

Es interessant poder determinar el percentatge de solapament de les imatges per facilitar al programa el seu processament.

També cal comprovar si el programa et permet determinar el punt d'inici de la ruta per poder optimitzar al màxim la bateria.

Finalment hi ha altres elements que ens poden ser útils, com conèixer el nombre de fotos que es faran durant el recorregut o conèixer la durada del recorregut.

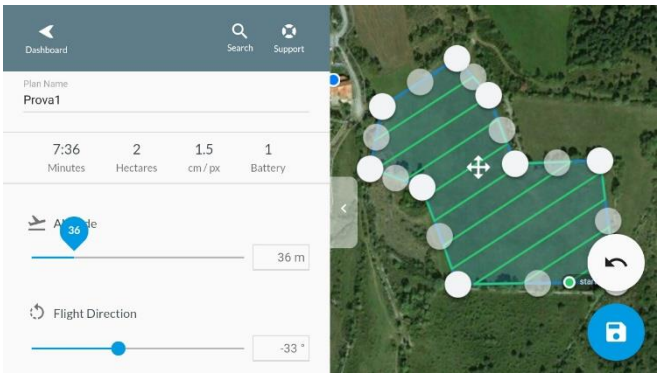
De totes les aplicacions provades podríem separar-les en dos grups. Hi ha unes aplicacions que estan desenvolupades especialment per obtenir imatges per uns fins concrets, generar ortofotos, models 3D... i et permeten escollir una sèrie de paràmetres per optimitzar l'obtenció de les imatges. En cap moment aquestes aplicacions volen donar un control total del disseny de la missió ja que seria més complicat crear-les. Busquen que sigui ràpid i eficaç.

Hi ha un altre grup d'aplicacions que el seu objectiu és donar accés a molts més paràmetres perquè puguis crear realment una ruta personalitzada. Aquestes aplicacions tot i que són molt més completes que les altres, és molt més complicat i lent crear la ruta.

A continuació exposo un resum i conclusions del funcionament de cada aplicació.

4.5.1- Dronedeploy (App per Android, gratuïta)

És el planificador de missions (Mission planner) d'aquesta empresa que també disposa d'un programa al núvol de processament d'imatges. Aquesta app només permet un tipus de vol però es poden configurar una sèrie de paràmetres prou importants.



Il·lustració 40- Captura de pantalla on s'observa una missió amb forma irregular i alguns paràmetres de l'aplicació DroneDeploy. Font pròpia.

Amb aquesta aplicació podrem escollir l'àrea amb la forma que vulguem però només disposem d'un sol traçat possible, anada i tornada des d'un punt d'inici. El punt d'inici és pot escollir fent rotar tot el traçat, això fa que canvi la durada de la ruta. El millor és aconseguir una durada de la ruta més baixa si es va just de temps o que el punt d'inici estigui més a prop.

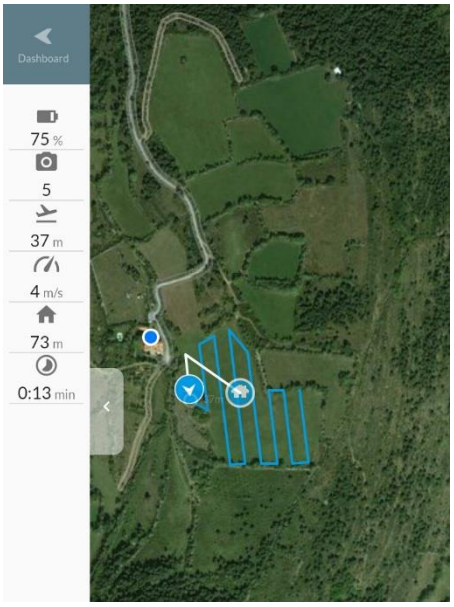
Aquesta aplicació permet incorporar a la missió un traçat circular que engloba més o menys tota l'àrea d'estudi i que ajuda a crear un model 3D més bo.

No es pot escollir la inclinació de la càmera però si el percentatge de solapament tan endavant (frontlap), com de costat (sidelap)

Aquesta aplicació no permet respectar l'alçada considerant l'orografia del terreny, es determina l'alçada de vol a l'aplicació i es considera l'alçada zero des d'on s'enlaira el dron.

Sobre la missió dissenyada aquesta aplicació ens informa de la durada de la ruta, les hectàrees cobertes, la resolució del píxel de les imatges (cm/pc) i el nombre de bateries necessàries per fer la ruta. En cas de necessitar més d'una bateria el dron torna, es canvia la bateria i es reprèn la missió.

Durant la missió l'aplicació ens informa del percentatge de bateria del dron, el nombre de fotos preses, l'alçada del vol, la velocitat del vol, la distància en línia recte del punt d'inici, el temps que porta fent la missió i permet veure en directe la càmera del dron.



Il·lustració 41- Captura de pantalla de la informació al moment de realitzar la missió. Font pròpia.

Conclusions DroneDeploy

És una aplicació a considerar si el què es vol és crear un mapa en 2D o un 3D d'un terreny amb una forma no quadrada i que aquest fet sigui determinant pel què fa a la durada de la missió. El fet de no poder inclinar la càmera i la poca capacitat de crear missions circulars el descarten per projectes on es busqui una bona definició dels models 3D com per exemple una zona amb edificacions.

4.5.2- Pix4D capture (App per Android, gratuïta):

És l'aplicació per obtenir imatges d'aquesta empresa que disposa d'un programa tant d'escriptori com al núvol de processament d'imatges. Aquesta aplicació permet 4 tipus de vol, traçat d'anada i tornada en una direcció, traçat d'anada i tornada en dues direccions perpendiculars, vol circular i vol manual. Es valora molt positivament el fet de tenir 4 tipus de vol diferents però és una llàstima que només es puguin abarcar àrees rectangulars i no de la forma que es vulgui. Aquest fet fa que en algunes missions s'hagi de recopilar imatges de zones que no interessen per l'estudi i es malgasti bateria.

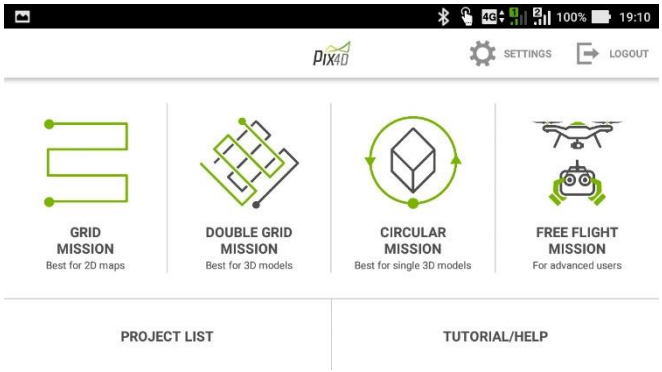
Il·lustració 42- Opció d'escollir àrea d'estudi de l'aplicació Pix4DCapture, només pot ser quadrada. Font pròpia.

El vol lliure d'aquesta aplicació permet establir una distància en horitzontal i en vertical al voltant dels 4 metres que és cada quan el dron realitzarà una foto. Aquestes missions estan pensades per experts que vulguin obtenir imatges per la creació de models 3D.

En els altres tipus de vol en què el traçat esta preestablert es pot escollir l'alçada de vol però el recorregut no respecta l'orografia del terreny sinó que considera 0 el punt d'enlairament del dron. En tots els tipus de missions permet configurar el percentatge de solapament de les imatges però només permet establir un sol

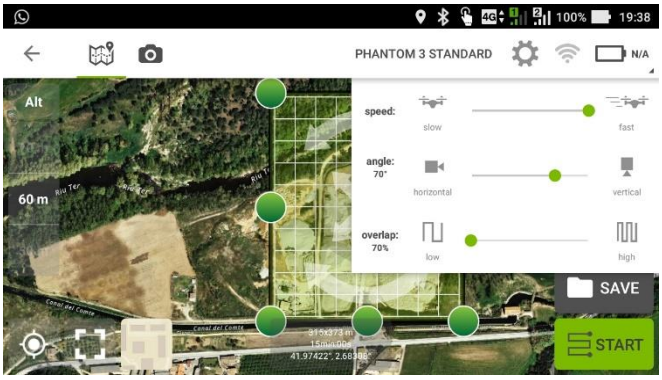
percentatge que serveix tant pel solapament endavant com pel de costat. També permet escollir la velocitat en tots els tipus de missions.

A la missió amb un sol traçat d'anada i tornada la inclinació de la càmera es pot establir entre 0 i 90º i a la missió de doble traçat d'anada i tornada la inclinació només pot variar de 45º a 80º. La missió amb un sol traçat està pensada per obtenir uns resultats en 2D mentre que la de traçat doble esta optimitzada per obtenir mapes en 3D. En el tipus de vol circular la inclinació de la càmera es fa manualment amb l'emissora igual que en el tipus de vol lliure.



Il·lustració 43- Tipus de vol de l'aplicació Pix4DCapture. Font pròpia.

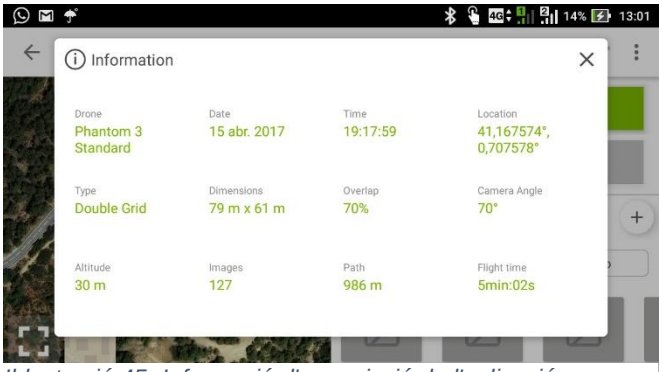
Aquesta aplicació permet rotar la ruta per determinar on vols que sigui el punt d'inici. Al moure-ho la missió canvia perquè es mou tot el rectangle. L'inici sempre és en una cantonada, s'ha de col·locar la cantonada el més a prop del punt d'enlairament possible, sobretot en les missions de doble traçat, que comença i acaba al mateix punt.



Il·lustració 44- Paràmetres configurables de l'aplicació Pix4DCapture. Font pròpia.

Abans de donar la ruta per bona l'aplicació t'informa de la durada de la ruta, l'àrea coberta i si la ruta dura més de 17 minuts no permet crear-la, considera que una bateria no aguantarà.

Durant la missió l'aplicació ens informa del percentatge de bateria del dron, el nombre de fotos preses, l'alçada del vol, la velocitat del vol, la distància en línia recte del punt d'inici, el temps que porta fent la missió i permet veure en directe la càmera del dron.



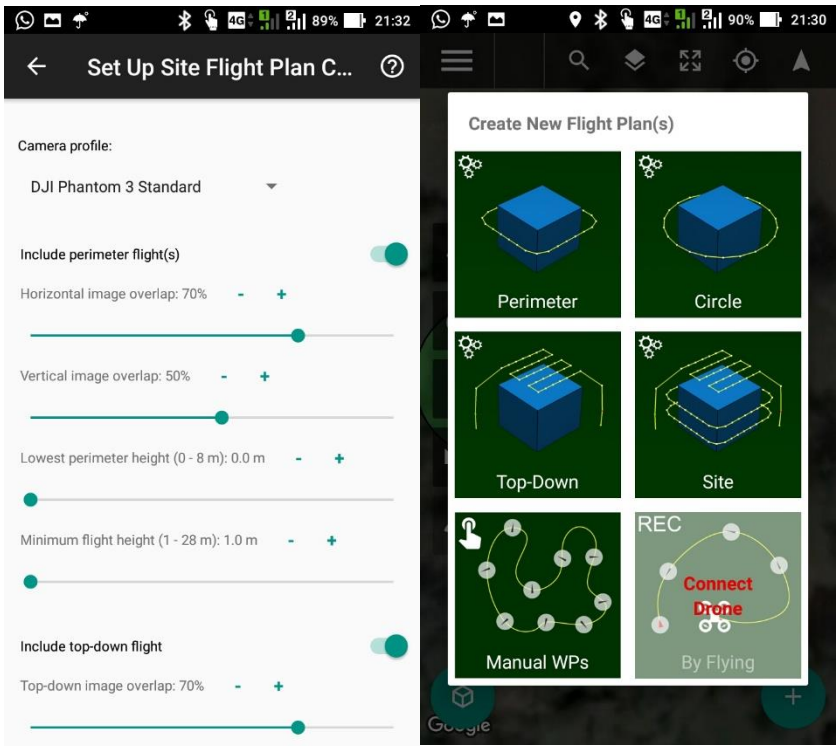
Il·lustració 45- Informació d'una missió de l'aplicació Pix4DCapture. Font pròpia.

Conclusions Pix4DCapture

És una aplicació molt bona a l'hora de obtenir de manera ràpida i senzilla les imatges necessàries per la creació tant de mapes en 2D com mapes i models 3D. Gràcies als diferents tipus de vol permet crear missions que poden abarcar tot el que es necessita, doble traçat amb càmera inclinada, traçat circular, vol lliure per detalls... És una aplicació a tenir instal·lada i a punt per ser utilitzada, tot i que té alguna mancança que la descartaria per un treball 100% rigorós. La primera mancança és a nivell pràctic, és el fet que l'àrea d'estudi només pugui ser rectangle, aquest fet pot portar problemes si es vol fer una missió a prop d'una zona prohibida i si es vol optimitzar la bateria. Una altra mancança a nivell tècnic és el fet que no es pugui respectar l'alçada seguint l'orografia del terreny. Aquest fet pot no impedir molts projectes en què els resultats siguin igualment visibles encara que no s'hagi respectat l'alçada, però és molt important per un bon processament de les imatges i l'obtenció d'uns resultats rigorosos, fiables i tècnicament correctes.

4.5.3- DroneHarmony (App per Android, gratuita):

Aquesta és una de les aplicacions més completes que hi ha per Android. Permet crear tot tipus de missions lliurament, amb tants punts de ruta com es vulgui, establint l'alçada a cada punt de la ruta i escollint cada quan s'han de tirar les fotos i en quin angle, però al mateix temps també permet crear rutes automàtiques establint l'àrea d'anàlisi.



Il·lustració 46- Opcions de creació de ruta respecte un objecte i alguns paràmetres que es poden configurar. Font pròpia.

Un dels punts forts d'aquesta aplicació és que es poden crear objectes de la forma que es vulgui i se'ls hi pot donar alçada, d'aquesta manera el dron pot o bé considerar-los objectiu de les fotos o bé elements perillosos amb els que pot xocar. És una gran manera de crear un món virtual i així poder establir la ruta el màxim d'adaptada a la realitat.

D'entrada es crea un o més objectes amb l'alçada que es vulgui. Si es tracta d'un camp l'alçada serà 0m, si és un edifici l'alçada podria ser 5m. Un cop creats els objectes es pot o bé dissenyar una ruta manualment establint els punts de ruta o bé es pot seleccionar un objecte i crear una ruta automàtica que passi per sobre seu, agafi tot el perímetre o les dues coses. Qualsevol ruta creada automàticament és pot manipular amb els paràmetres que es vulgui, es poden moure els unts de ruta, es pot moure cap on ha d'enfocar la càmera a cada punt i es pot determinar l'alçada de vol de cada punt.

Il·lustració 47- A l'esquerra, opció de modificar tots els punts de ruta, tant l'alçada, l'objectiu a enfocar... A la dreta, visualització 3D de la ruta amb l'àrea que enfocarà cada imatges. Font pròpia.

Un cop creada la ruta en un plànol 2D aquesta aplicació permet visualitzar la ruta en 3D i anar punt per punt i veure l'àrea que cobrirà cada foto. És una manera molt clara de veure què farà el dron a l'aire.

Conclusions DroneHarmony

És una de les aplicacions que tot i buscar la simplicitat i rapidesa no dirigeix tant a l'usuari, sinó donar llibertat màxima per poder elaborar missions complexes de manera senzilla. És una aplicació que cal tenir-la en compte si es vol crear un recorregut per zones amb molts obstacles els quals s'han d'evitar però no la consideraria una bona aplicació per obtenir imatges de qualitat ja que no permet respectar l'alçada en funció de l'orografia, si que permet mantenir-la respecte els elements creats, per tant és una bona aplicació per llocs plans amb obstacles. Té aquests modes de visió en 3D que s'agraeixen per veure com anirà la ruta però no deixa de ser informatiu i prou ja que el que s'hi pot veure difícilment serà exactament igual que la realitat.

4.5.4- Altizure (App per Android, gratuita):

L'aplicació Altizure és l'aplicació d'aquesta empresa que disposa d'un programari al núvol per processar imatges preses amb dron i especialitzada en la generació de mapes i models 3D.

L'aplicació només permet establir una àrea d'estudi rectangle i et recomana fer 5 passades diferents.

La primera passada és exactament per sobre l'àrea d'estudi, amb la càmera vertical.

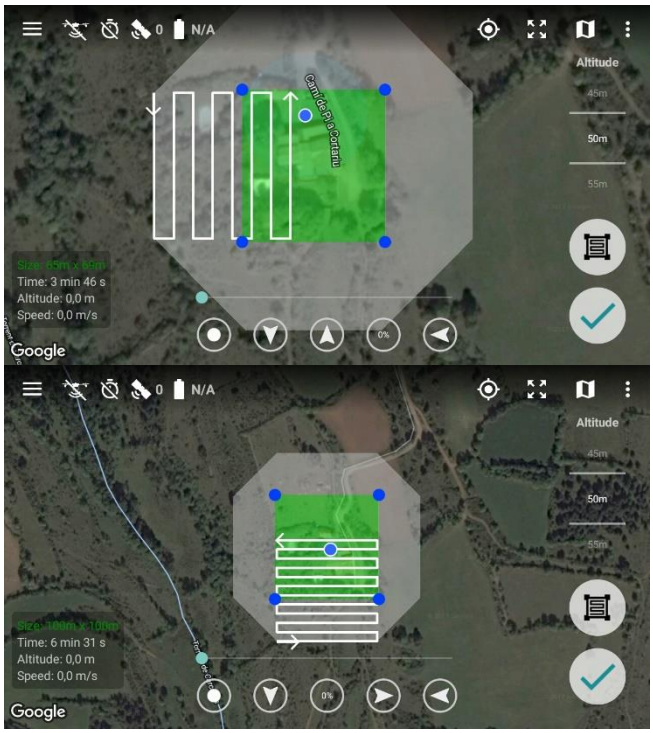
Il·lustració 48- Opcions de les imatges que es poden configurar amb l'aplicació Altizure. Font pròpia.

Les següents passades que et recomana són desplaçant el mateix traçat cap a un dels 4 costats. Aquestes passades les fa amb el dron encarat cap a l'àrea d'estudi amb la càmera inclinada uns 40º per defecte, però es pot canviar els graus d'inclinació. Les següents passades són amb el traçat desplaçat cap als altres costats de manera que s'obtenen moltes imatges d'un mateix punt, preses des de posicions diferents amb les quals el programa Altizure pot crear uns models 3D molt bons. Les imatges captades també serveixen per crear mapes 2D.

Es pot escollir l'alçada a la que es vol volar i també el percentatge de solapament de les imatges tant endavant (frontlap) com de costat (sidelap).

Abans de volar t'informa de l'àrea coberta i del temps que tardarà a fer cada vol.

Durant el vol t'informa de l'alçada, la velocitat, el número de satèl·lits localitzats, el nivell de bateria del dron i el temps que queda per acabar la missió.



Il·lustració 49- Després de fer el vol per sobre l'àrea d'estudi amb la càmera vertical s'han de fer els vols amb el mateix recorregut desplaçat cap a un lateral amb el dron encarat cap al requadre verd amb la càmera a 40º, per exemple. Font pròpia.

Conclusions Altizure

L'aplicació Altizure és sens dubte l'aplicació que escolliria si volgués realitzar un bon modelat 3D. Està especialitzada en això i la seva aplicació està pensada per agafar moltes imatges per un millor processament. Falta l'opció d'agafar imatges en circulars per objectes alts com per exemple una torre, si fos aquest el cas només es podrien agafar imatges des d'una alçada més alta que el propi objecte i no es podria agafar imatges circulars des de mitja alçada on aparegués tota la torre des d'un punt de vista més baix. Pel què fa a la resolució de les imatges, aquesta aplicació no permet variar l'alçada de vol en funció de l'orografia i per tant, tot i que possiblement el seu programa corregeixi aquests errors i els resultats siguin molt bons i totalment útils per moltes aplicacions a les imatges obtingudes en sí els hi falta aquesta rigorositat.

4.5.5- Litchi (App per Android, pagament):

L'aplicació Litchi no és una aplicació per obtenir imatges per ser processades com altres aplicacions. Litchi és una aplicació que intenta cobrir els buits que ha deixat l'aplicació oficial de DJI. És una aplicació pensada per obtenir tant fotos com vídeos per un ús, sobretot, multimèdia.

Il·lustració 50- Captura de pantalla on s'observen els diferents tipus de vol de l'aplicació Litchi. Font pròpia.

És una aplicació que disposa de 7 tipus de vol diferent:

FPV: Vol lliure amb control total de tots els paràmetres del dron.

Waypoint: Aquest és el tipus de vol que et permet dissenyar una ruta personalitzada. Permet crear tants punts de ruta com es vulgui, escollint l'alçada i cap on ha d'estar encarat el dron a cada punt. També permet establir objectius en els que s'ha de fixar el dron i en els que automàticament dirigirà la càmera per gravar-los i punts on ha de realitzar accions com per exemple fer una foto, fer una volta de 360º o parar-se una estona. Aquest tipus de vol és realment útil per crear una ruta personalitzada, ja sigui per agafar imatges per després ser processades o bé fer un vídeo o un recull d'imatges d'una zona concreta per un ús multimèdia. L'únic inconvenient d'aquest tipus de vol és que s'ha de crear tota la ruta manualment.

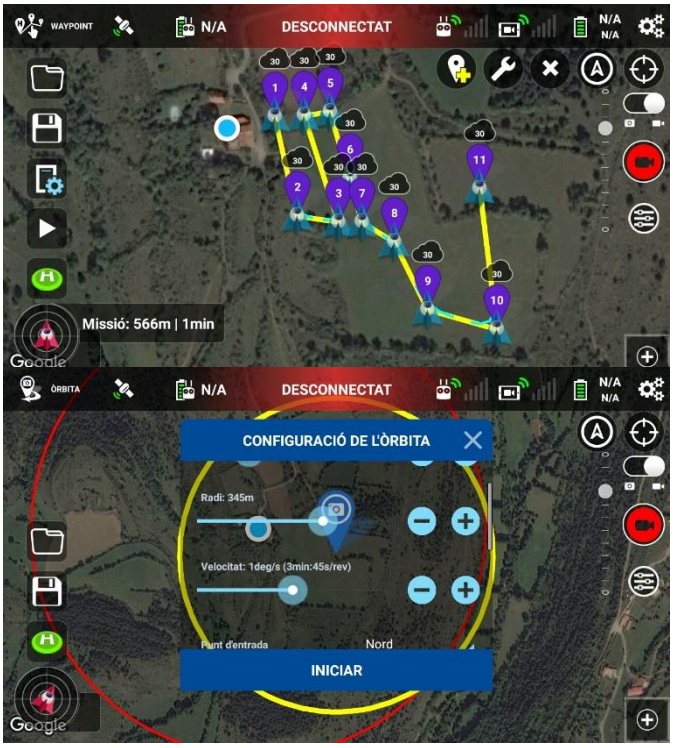
Seguir: Amb aquest tipus de vol el dron seguirà al pilot mantenint la distància i a l'alçada escollida, la càmera i la rotació guinyada seran controlables manualment.

Orbita: EL tipus de vol orbita permet fer una traçada en cercle al voltant d'un punt on es permet definir l'alçada, l'alçada de l'objectiu, la velocitat, el punt d'inici, el sentit de rotació...

Enfocament: Permet volar el dron lliurement però forçant-lo a enfocar sempre a un punt en concret. Aquest punt pot ser fixe o bé pot ser un altre dispositiu mòbil en moviment. Aquest tipus de vol és útil per exemple per gravar un cotxe en marxa.

Panorama: Permet crear panorames configurant una sèrie de paràmetres com ara el número de files de fotos, el solapament de les imatges, o els graus que ha de cobrir la panoràmica.

Track: Aquest tipus de vol només funciona amb dispositius potents i amb una resolució de pantalla alta. Amb el dron a l'aire i enfocant un objecte que es mou es selecciona l'objecte i l'aplicació amb un sistema de reconeixement d'imatge mou el dron de manera que segueix l'objecte. És un tipus de vol que falla bastant, i faltaria comprovar si els errors són atribuïbles al dispositiu mòbil o a l'aplicació. És útil pel seguiment d'animals per exemple.



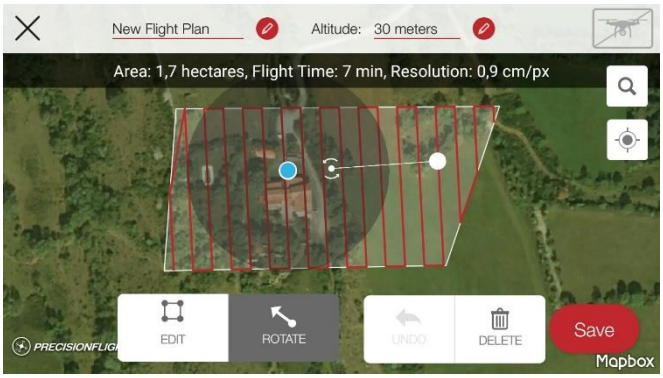
Il·lustració 51- Exemples de tipus de vol de l'aplicació Litchi. A dalt, Waypoints. A baix, Orbita. Font pròpia.

Conclusions Litchi:

Tot i ser una gran aplicació amb una llibertat d'escollir paràmetres molt amplia i amb diferents tipus de vol per diferents ocasions no és una aplicació massa útil pel tipus d'imatge que vull obtenir pels projectes escollits. És estat útil per crear vídeos amb transicions suaus entre un objectiu i un altre, amb diferents plans, alçades i accions concretes com per exemple fer una volta de 360º al arribar al final. Però per obtenir imatges útils per ser processades, al no poder adaptar l'alçada en funció de l'orografia realment no aporta res millor que altres aplicacions.

4.5.6- PrecisionFlight (App per Android, gratuita):

Aquesta aplicació és el planificador de missions de l'empresa PrecisionFlight que també disposa d'un programari al núvol de processament d'imatges.



Il·lustració 52- Opció de rotació de la ruta creada per Precisionmapper per establir el punt d'inici. Font pròpia.

És una aplicació que permet escollir la forma de l'àrea a sobrevolar que es vulgui només amb un tipus de vol de traçat d'anada i tornada. La ruta es pot rotar per determinar quin és el punt inicial i per fer-la el més ràpida possible.

Permet configurar la velocitat de vol, el percentatge de solapament de les imatges tant endavant (frontlap) com de costat (sidelap).

Informa de la durada de la missió amb la possibilitat de fer missions llargues en varies tandes de vols, també informa de l'àrea coberta i de la resolució de la imatge (cm/x).

Hi ha la possibilitat de escollir que el traçat vagi més enllà de l'àrea seleccionada per garantir que l'àrea d'interès quedi amb bons resultats.

No permet ni fer vols circulars ni canviar la inclinació de la càmera ni ajusta l'alçada de vol a l'orografia.

Cal tenir en compte, aquesta aplicació està lligada amb el sistema LATAS, un sistema de seguretat aèria que pretén crear un mapa de vols per avisar de possibles col·lisions i també una informació de possibles obstacles terrestres com ara arbres amb els quals podria xocar el nostre dron.

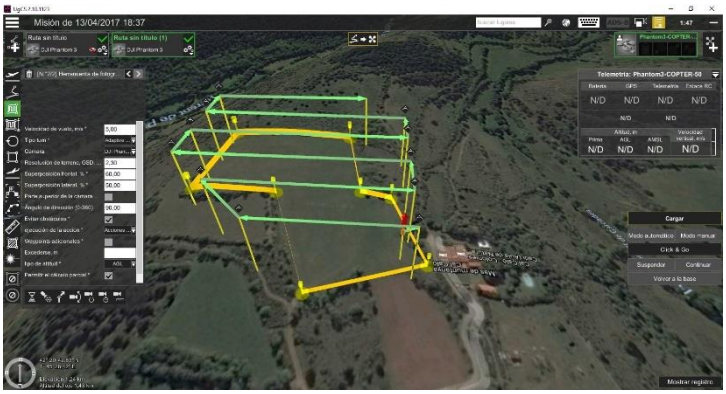
Conclusions PrecisionFlight:

És una aplicació molt clara i senzilla però cal tenir en compte el que ens permet obtenir, imatges verticals d'una àrea en una missió de traçat d'anada i tornada. Són unes imatges fàcils d'obtenir amb altres aplicacions que a més a més et permeten configurar algun paràmetre més. És una aplicació que per algú que vulgui la rapidesa i senzillesa pot ser útil, però queda una mica curta en quan a possibilitats.

4.5.7- UgCS (Programa Windows amb App Android, pla gratuït i plans de pagament):

Aquest programa per Windows és un planificador de missions (Mission planner) complert.

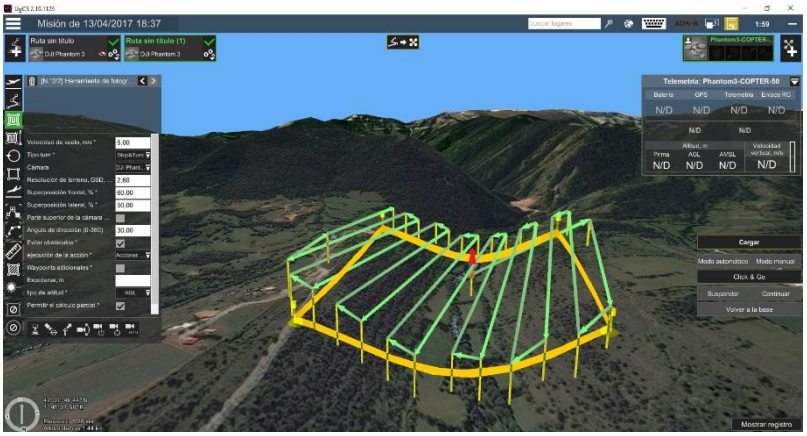
Permet totes les possibilitats de creació de rutes, tal i com permeten molts dels programes de codi obert disponibles per drons amb controladores també de codi obert.



Il·lustració 53- Interfície del programa UgCS que permet la creació lliure de rutes. Font pròpia.

El primer a tenir en compte d'aquest programa i el més important és que permet crear rutes encarades a l'obtenció d'imatges per la fotogrametria respectant l'alçada en funció de l'orografia del terreny.

Disposa d'un apartat per establir des d'on s'enlairarà el dron i diferents eines de creació de rutes:



Il·lustració 54- Es pot observar com l'alçada de vol (línia verda) es manté respecte el terra, encara que hi hagi desnivell. Font pròpia.

Una eina per crear rutes pensades per la fotogrametria que permet escollir si les imatges s'obtenen en funció del percentatge de solapament tant endavant (frontlap) com de costat (sidelap). Aquesta eina és de pagament però no és un problema greu ja que la següent eina de creació de rutes és exactament igual, amb la diferència que no permet establir l'obtenció de les

imatges en funció del percentatge de solapament sinó que les imatges es prenen cada cert temps o bé per distància. Aquest programa permet enllaçar diferents rutes, per tant permet crear-ne amb tantes direccions com es vulgui, sempre i quan no es superin els límits de la versió gratuïta, que son 99 punts de ruta.

Il·lustració 55- Varies rutes seguides a varies alçades. Circulars i d'anada i tornada. Font pròpia.

Aquest programa també té una eina de creació de rutes circulars i de rutes perimetrals a un edifici. Qualsevol de les rutes que es creen automàticament al determinar una àrea d'estudi poden ser modificades, tant la posició de cada punt de ruta com la seva alçada i l'acció de la càmera en cada punt.

Permet també establir punts d'interès on la càmera es pot fixar en un objectiu, per exemple, per les rutes circulars, establint una imatge cada cert temps o per distància recorreguda.

És un programa que permet incloure edificis amb 3D en format .kmz per tenir-los en compte per la missió i en les versions de pagament permet incloure-hi arxius MDT creats anteriorment per crear rutes més precises, per exemple, en una zona molt rocallosa.

Aquest programa no es connecta directament al dron, el seu funcionament és més laboriós. La ruta creada s'ha de sincronitzar amb una aplicació mòbil i és l'aplicació mòbil la que es comunica amb el dron i li carrega la ruta., per tant s'ha d'anar sobre el terreny tant amb el portàtil amb la ruta com amb el mòbil per carregar-la al dron.

Conclusions UgCS:

És un gran programa amb moltíssimes possibilitats, de fet, permet crear tot el que puguis necessitar. Amb la versió gratuïta no es troben a faltar opcions però si que algunes limitacions com el número de punts de ruta o la distància que pot anar el dron respecte el punt d'inici. S'ha de tenir en compte però, que trobar un programa d'escriptori tan complert per un dron DJI Phantom 3 Standard és molt complicat i aquest, amb les possibilitats del pla gratuït i amb opció d'adquirir un dels plans de pagament ofereix tot allò que es pot necessitar.

És més dificultós però, el fet que t'hagis d'endur el portàtil sobre el terreny quan amb altres aplicacions per mòbil ja en fas prou. La creació de rutes també es més lenta que amb altres aplicacions per mòbil on tot és més automàtic. Per tant, realment, si el que es vol és obtenir imatges d'una zona en què l'orografia no és molt important com per exemple un edifici concret, una zona agrícola planera, una zona minera en una plana... fer servir un altre programa segurament ens serà molt més fàcil.

En zones on hi ha canvis orogràfics i a la ruta hi ha desnivells, com una vall, zones amb penya-segats, turons o altiplans, és important tenir-ho en compte i utilitzar aquest programa.

4.5.8- Altres programes i apps provades:

DJI UltimateFlight (App per Android, pagament):

És una aplicació que vaig provar però fallava molt en el meu dispositiu. És una aplicació molt similar a l'aplicació Litchi tot i que amb algunes eines de més i algunes de menys. És també una aplicació que permet gestionar els punts de ruta lliurament i també totes les opcions de la càmera.

Un dels punts forts d'aquesta aplicació però que no he pogut arribar a provar és que permet configurar l'alçada dels punts de ruta agafant l'alçada del terreny, per tant respectant l'orografia. Aquesta és una eina molt bona per obtenir imatges garantint sempre la mateixa alçada respecte el terra. Tot i això no l'he pogut acabar d'avaluar bé ja que de tant en tant em donava errors.

Botlink Capture (App per Android, gratuïta):

És l'aplicació de l'empresa Botlink que té disponible un programa de processament d'imatges al núvol. És una aplicació que no he provat en vol però si que s'ha estudiat. Té exactament el mateix funcionament que l'aplicació analitzada PrecisionFlight. És una aplicació que et permet crear rutes d'anada i tornada d'una zona establint un percentatge de solapament de les imatges, una alçada i una velocitat.

He estudiat valorat altres programes de pagament però no he considerat ni provar la versió de prova ni comprar-los ja que veien les seves funcionalitats no aportaven res de nou a l'experimentació.

4.5.9- Conclusions programari pla de vol

Les proves dels diferents programes no les he realitzat l'una darrere l'altra de forma seguida sinó que les he anat fent mentre al mateix temps també feia les proves dels programaris de processament d'imatges. Això ha fet que de mica en mica hagi anat valorant diferents coses a l'hora de utilitzar-ne un o un altre. Finalment, tot i que al moment de provar-los tenia una idea clara del què es buscava després d'haver-los provat tots si que he pogut arribar a unes quantes conclusions.

De totes les aplicacions i programes valorats no n'hi ha cap que cobreixi perfectament totes les necessitats que es puguin tenir. És per això que el millor és utilitzar en cada cas aquell programa de planificació de vol que més s'ajusta al què busquem.

Si el que es necessita es cobrir una zona amb canvis orogràfics importants s'haurà d'utilitzar el programa UgCS d'escriptori ja que és l'únic que permet crear missions on es manté l'alçada respecte el terra.

Si l'àrea a cobrir és força gran, irregular i amb imatges nadir ja en fem prou pels resultats que volem obtenir (ortofoto 2D), podem utilitzar l'aplicació DroneDeploy ja que permet adaptar l'àrea d'estudi a diferents formes i a part de les imatges nadir permet incorporar al final un cercle que ajudarà al processament de les imatges per crear el mapa.

Si el que es vol és obtenir imatges per la creació d'un mapa 3D la millor opció és Altizure tot i això, el seu funcionament no és massa diferent de l'aplicació Pix4DCapture, les dues permeten vols tan nadir com amb un cert grau d'inclinació de la càmera. Podríem resumir-ho amb què l'aplicació Altizure és més completa si fas els

5 plans de ruta que et proposen i les imatges obtingudes per l'aplicació Pix4DCapture son més senzilles però suficients per la creació d'un mapa 3D.

Per realitzar vídeos o fer fotografies en punts concrets, com per exemple per determinar si hi ha nius en un penya-segat la millor opció és UgCS o per fer-ho més còmodament des del mòbil, l'aplicació Litchi que et permet realitzar vídeos automàtics amb transicions suaus pels punts de ruta escollits fixant la càmera als objectius.

4.6- MISSIONS FINALMENT REALITZADES AMB L'OBJECTIU DE PROCESSAR LES IMATGES

Al llarg de l'experimentació he tingut l'oportunitat de fer missions en diferents zones i per objectius molt diversos. Amb les proves que he fet he obtingut grups d'imatges preses utilitzant varis programes, sobretot amb DroneDeploy i Pix4DCapture ja que són amb els que al principi hi confiava més, tot i això, tal com he comentat aquesta opinió ha anat variant. Algunes d'aquestes imatges s'han pres fent servir només missions d'un sol traçat d'anada i tornada, d'altres amb doble traçat amb la càmera inclinada, i d'altres s'han realitzat també vols circulars i en algunes ocasions he fet vols manuals.

Aquests grups d'imatges de diferents missions han acabat essent les següents:

Edifici en ruïnes de les mines del Molar (El Molar, Priorat)

App Pix4DCapture - Vol amb doble traçat amb inclinació de la càmera a 70º i dos vols circulars a alçades de 40 i 50m.

Zona de tractament d'Àrids de l'Empresa Àrids Vilanna (Bescanó, Gironès)

App Pix4DCapture - Vol amb doble traçat amb inclinació de 70º.

Ermita de la Santa Margarida (Bescanó, Gironès)

Pix4DCature - Vol amb un sol traçat d'anada i tornada i vol lliure amb presa d'imatges cada 4 m verticals i 4 m horitzontals.

Pineda a tocar del Parc Natural del Cadí-Moixeró (Cortariu, Cerdanya)

Diferents proves amb varies aplicacions. Aquí vaig comprovar a la pràctica el fet de no respectar l'alçada en funció de l'orografia. La pineda és a dalt d'un turó i des d'on es va iniciar la missió a 60m d'alçada sobre el terra, van passar a ser només 4m per sobre les copes dels arbres de dalt de tot. Algunes missions van quedar inutilitzables. Arran d'això es vaig descobrir el programa UgCS.

Roca argilosa en forma de cap coneguda com El nas d'en Quiuma (El Lloar, Priorat)

Pix4DCapture – Vol lliure amb presa d'imatges cada 4m verticals i cada 4m horitzontals.

Zona de transició d'arbreda a camps (Sant Gregori, Gironès)

Pix4DCature – 3 missions independents per fer una comparativa de resultats amb vol amb un sol traçat d'anada i tornada a diferents alçades, 40, 60 i 80m.

Zones de rebrota afectades per incendis (Vilopriu, Baix Empordà)

Pix4DCapture – Vol amb un sol traçat d'anada i tornada a una alçada de 70m.

2 Bancals de vinya (Gratallops i El Lloar, Priorat)

DroneDeploy i Pix4DCapture – Vol amb un sol traçat i circular final a una alçada de 40m i vol amb un sol traçat a una alçada de 40m.

Casa de pagès (Contestins, Gironès)

DroneDeploy – Vol amb un sol traçat a una alçada de 40m

Camp de perers, en dues ocasions (Bescanó, Gironès)

DroneDeploy - Vol amb un sol traçat a una alçada de 40m i 60m

Zona sorrenca a les ribes del riu Ter (Bescanó, Gironès)

DroneDeploy - Vol amb un sol traçat a una alçada de 40m.

Aquestes imatges posteriorment les he processat en diferents programes amb l'objectiu de comprovar el funcionament, utilitats i la capacitat de processament de cada programa i no amb la intenció de fer una comparativa dels resultats. Així, algunes d'aquestes missions les he processat amb tots els programes i d'altres missions només les he processat amb algun programa.

4.7- PROCESSAMENT D'IMATGES PRESES AMB DRON

Un cop obtingudes les imatges és necessari processar-les amb programes específics per aquesta tasca. Amb l'augment de l´ús de drons per l'obtenció d'imatges per fotogrametria s'han creat unes noves necessitats de processament d'imatges. Aquests programes que tenim a dia d'avui són el resultat d'aquestes necessitats. D'entrada cal ajuntar les imatges per tal de crear una de sola, llavors aquesta gran imatge s'ha de modificar per tal d'ajustar-la a la realitat. Aquest, és un procés que ja es duia fent durant molt de temps, és l'ortorectificació de les imatges.

En aquests programes s'hi desenvolupa també una altra tasca, un procés de triangulació fotogramètrica per tal d'obtenir el relleu dels elements representats a la imatge, ja sigui el propi relleu del terreny o elements com edificis, arbres, cotxes...

Així han aparegut una sèrie de programes especialitzats en oferir el processament d'imatges preses amb dron. Alguns són programes nous, d'altres, que ja es dedicaven al tractament d'imatges han desenvolupat eines específiques per aquesta nova utilitat.

Aquests programes necessiten molta potència per treballar ja que han de processar una gran quantitat de dades i els podem trobar en dos formats.

Els programes d'ús local són programes que s'instal·len i s'executen al propi ordinador i requereixen d'una gran potència, memòria RAM i temps amb l'ordinador encès per processar les imatges. Són programes que permeten modificar molts paràmetres a l'hora de processar les imatges, imatges preses amb qualsevol tipus de càmera i aeronau.

Han aparegut una sèrie d'empreses amb un funcionament molt similar els uns dels altres que es basen en el núvol. Són serveis amb menys opcions que els programes d'escriptori ja que busquen la senzillesa i rapidesa. De fet, tot i que no es diu públicament, alguns d'aquestes serveis utilitzen els mateixos programes d'escriptori que podem utilitzar els usuaris, instal·lats en els seus servidors i oferint els serveis a través d'internet. Són serveis en que a través d'internet és carreguen les imatges als seus servidors on hi tenen el programa de processament d'imatges. Al cap d'unes hores d'haver carregat les imatges et permeten visualitzar i descarregar els resultats.

Aquests resultats poden ser en diferents formats per un ús en 2D o per un ús en 3D. Els formats d'arxiu més habituals són: .TIFF, .PDF, .JPG, KMZ, .OBJ i .MTL, .LAS, .PLY, .XYZ i .SHP.

A més a més alguns d'aquests programes duen incorporades funcions extra com, per exemple, DroneDeploy que ha alliberat la seva API i ofereix una botiga d'aplicacions de tercers que utilitzen els mapes generats per oferir més informació a l'usuari com detectar si hi ha arbres, cotxes o altres elements, generar un informe en format PDF per entregar als clients, o crear un GIF dels models 3D generats... També hi ha alguns d'aquests serveis al núvol que, a part de processar les imatges, ofereixen la possibilitats d'aplicar algoritmes a la informació de la imatge per oferir com a resultats mesures automàtiques dels arbres, la detecció d'aigua, el percentatge de cobertura vegetal, diferents índexs útils per l'agricultura de precisió, etc.

Tot i que la majoria d'aquests programes fan una gran tasca georeferenciant la imatges, cal tenir en compte la possibilitat d'afegir-hi punts de control terrestres (GCP) en cas de tenir-ne de coneguts, per tal d'ajustar al màxim els resultats a la realitat. És una llàstima que aquesta funció que permet augmentar la qualitat i

rigorositat dels resultat, en moltes ocasions sigui una opció de pagament extra o només disponible pels plans de pagament més cars.

La majoria de programes, tan els de funcionament local com els de funcionament al núvol són de pagament i són cars. Poden ser subscripcions mensuals, trimestrals o anuals, o bé de pagament únic. També n'hi ha alguns que funcionen amb la compra de crèdits i et permeten processar gigues a canvi de crèdits. En general estem parlant de preus que de mitjana és situen al voltant dels 2000 euros anuals.

La majoria disposen de versió de prova amb una gran funcionalitat. Aquestes versions de prova són o bé de durada limitada, uns 30 dies, o bé et permeten generar uns quants mapes amb totes les opcions, la resta de mapes són de pagament.

Hi ha però, alguns programes que sobresurten sobre les altres. Són els programes de codi obert i gratuïts.

4.7.1- WebODM, un programa de codi obert pel processament d'imatges preses amb dron

Els programes de codi obert s'han anat desenvolupat per necessitats específiques del tractament de les imatges. Fins ara, es podien arribar a obtenir els mateixos resultats que amb un programa de pagament especialitzat però calien certs coneixements informàtics, l'ús de varies eines diferents i l'aportació manual d'informació com la georeferenciació de les imatges. Fa un temps va aparèixer un programa anomenat Opendonemap que agafa diferents eines de tractament d'imatges de codi obert per, amb una sola execució, obtenir uns resultats finals útils pel seu anàlisi, ortofotos 2D i models 3D.

Aquest programa només funciona amb comandes a través d'una consola d'escriptura de codi, és a dir, no té una interfície gràfica amb botons on poder clicar, i la seva instal·lació es fa en sistemes operatius Linux, o en Windows i Mac a través d'una màquina virtual amb un programari específic per executar aquest tipus de programes anomenat Docker. Aquesta complexitat d'instal·lació i funcionament fa que no sigui molt conegut i és a l'abast de pocs.

Fa més o menys un any però, va aparèixer gràcies al desenvolupador Piero Toffanin, una webapp, un programa que funciona en un navegador web (sense necessitat de connexió a internet) per executar el programa opendronemap. Aquesta webapp ha anat evolucionant i de manera gratuïta permet processar imatges preses amb dron a l'ordinador, visualitzar els resultats tan en 2D com en 3D i fer càlculs de volums i mediacions a les mateixes visualitzacions. També genera tots els fitxers necessaris per visualitzar-los en altres programes i ser tractats i analitzats en programes SIG, CAD, BIM...

Aquesta webapp i tot el programa opendronemap que hi ha darrera es pot descarregar gratuïtament al seu repositori, on està guardat tot el codi i les instruccions per instal·lar-lo. Instal·lar-lo és encara una mica complicat i poden haver-hi errors que són complicats de detectar i solucionar si no es té algun coneixement de codi de programació.

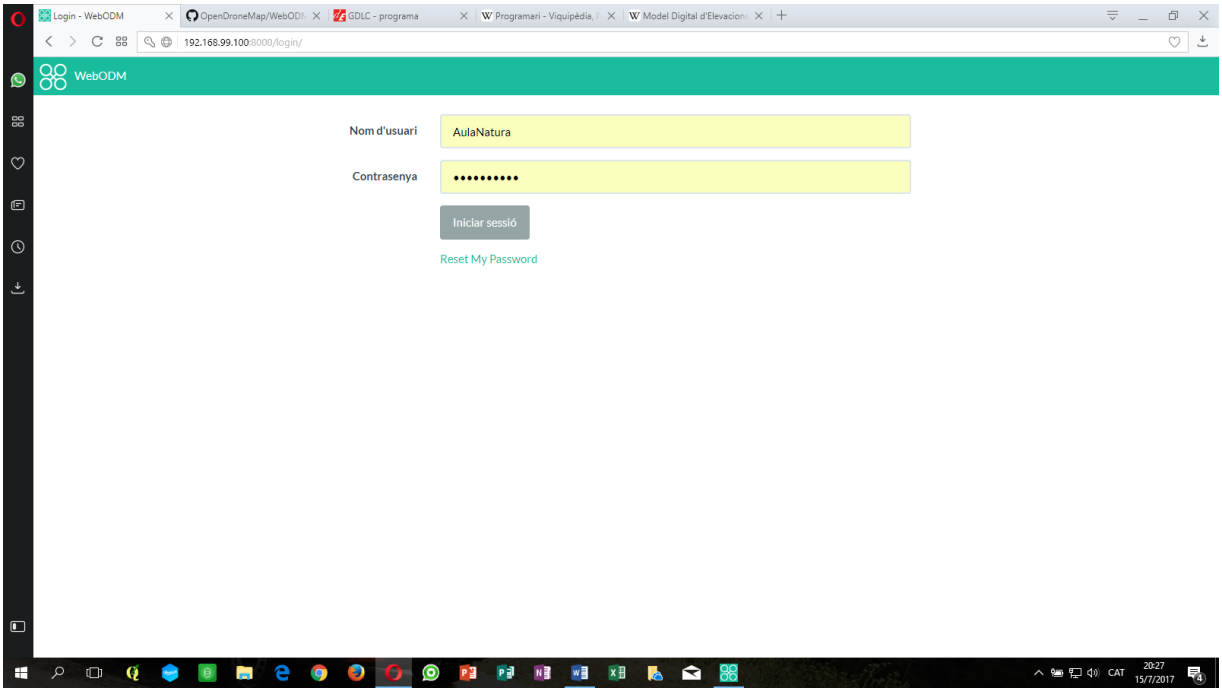
Recentment, però, han desenvolupat un instal·lador que per un baix preu, uns 50 euros, es pot descarregar i executa tot el procés d'instal·lació de forma automàtica.

La seva ambició és molt gran i entre d'altres propòsits hi ha la intencó de desenvolupar noves funcions com, per exemple, la capacitat d'aplicar algoritmes per obtenir diferents index de vegetació, mostrar un model digital del terreny, carregar automàticament les imatges a la plataforma OpenAerialMap, mostrar més

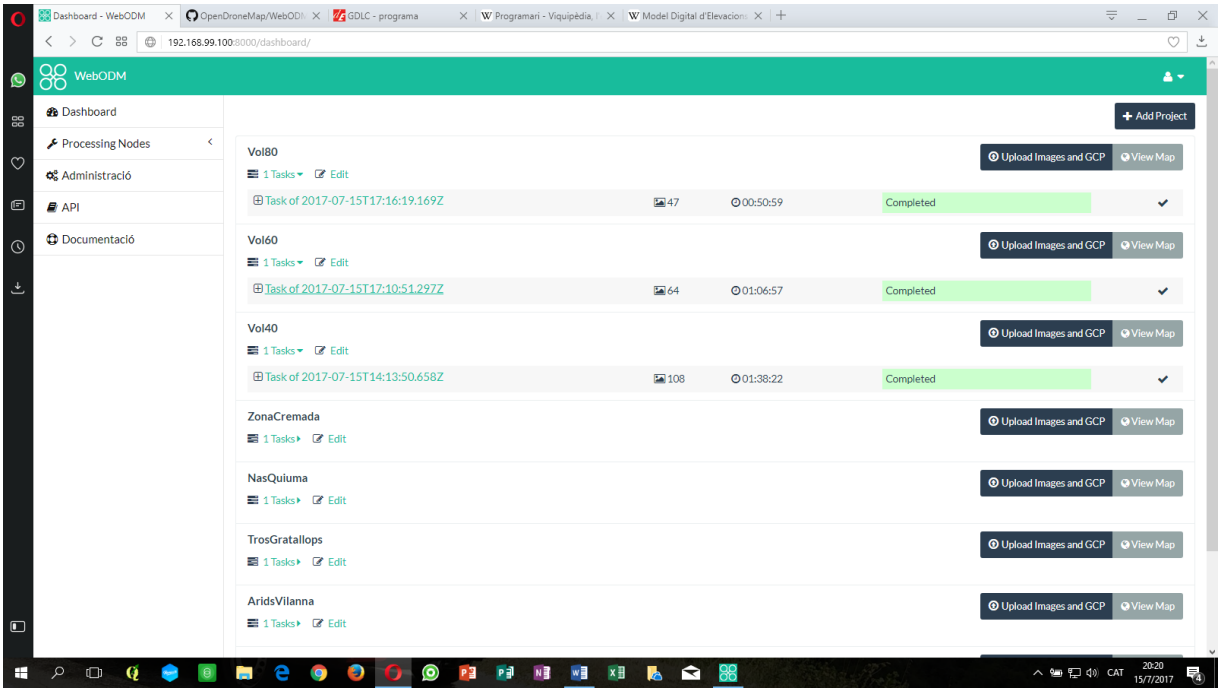
infomració sobre els resultats obtinguts, mesuraments en sistema mètric, la possibilitat d'incormporar-hi extensions de tercers, crear una aplicació tant per android com per IOS, crear una xarxa d'usuaris que posin a disposició els seus servidors per processar les imatges de manera gratuita per tothom i desenvolupar un programa per crear plans de vol.

A dia d'avui el programa es presenta de la següent manera:

Una pantalla d'inici en la que et permet crear diferents usuaris amb diferents rols.



Il·lustració 56- Informació pantalla d'inici.



Il·lustració 57- - Pantalla on apareixen els diferents projectes creats i les seves tasques. Font pròpia.

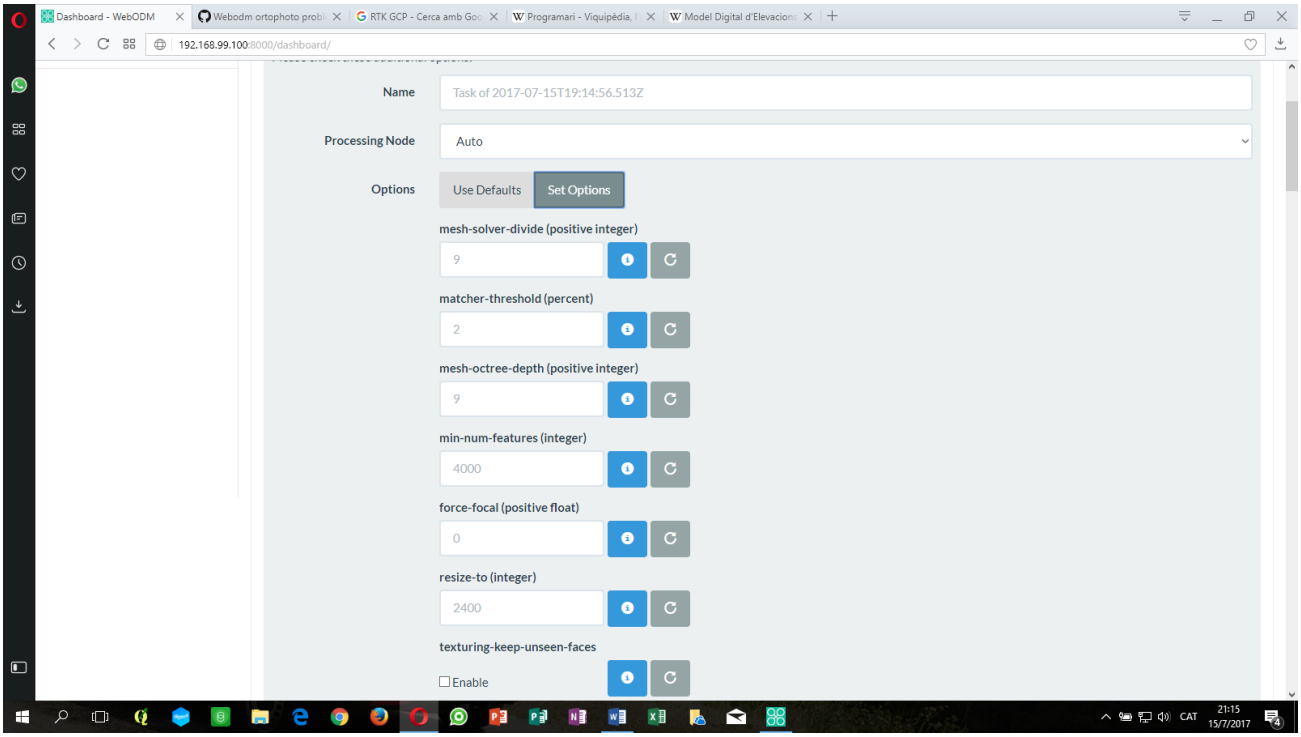
Una pantalla en la que et permet visualitzar els projectes creats. Cada projecte permet la creació de varies tasques que són els processos de les imatges. Així doncs per un projecte podrem tenir diferents tasques creades en moments diferents per poder comparar uns resultats amb els altres.

També tenim 4 menús més: El menú processing nodes et permet gestionar els servidors on es porcessaran les imatges, ja que et permet accedir a més d'un servidor per processar varies tasques a la vegada i és la base sobre la qual es formarà la xarxa comunitària de servidors La tasca comença quan hi ha un servidor lliure.

El menú administració permet gestionar els rols dels usuaris i també accedir a la gestió dels servidors.

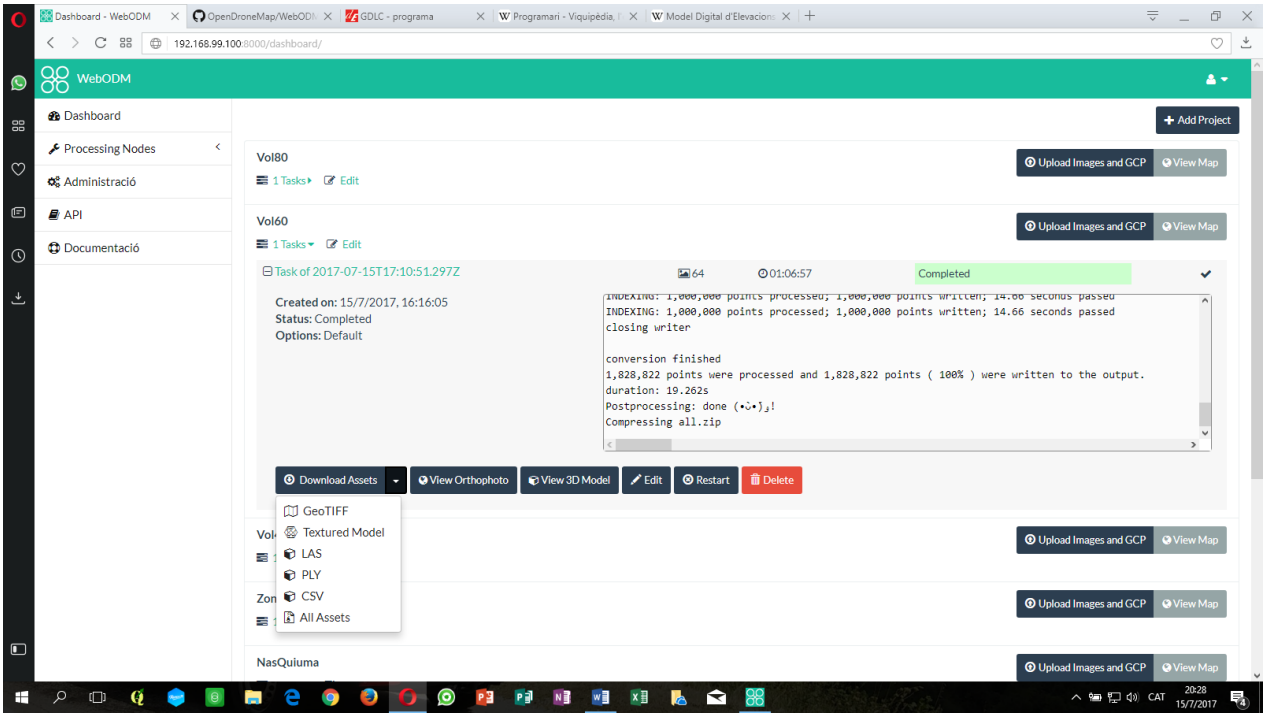
El menú api i el menú documentació t'enllaça a webs informatives sobre el funcionament i el desenvolupament de l'aplicació.

Per processar una nova tasca cal carregar les imatges a un projecte existent o crear un nou projecte assignant-li un nom. Un cop escollides les imatges es començaran a carregar a l'aplicació. En el moment de carregar les imatges també s'hi ha de carregar els GCP en cas de tenir-ne. Podrem donar-li un nom a la tasca i modificar els paràmetres de processament on hi trobem una gran quantitat d'opcions. Un cop escollits els paràmetres iniciem el processat de les imatges.



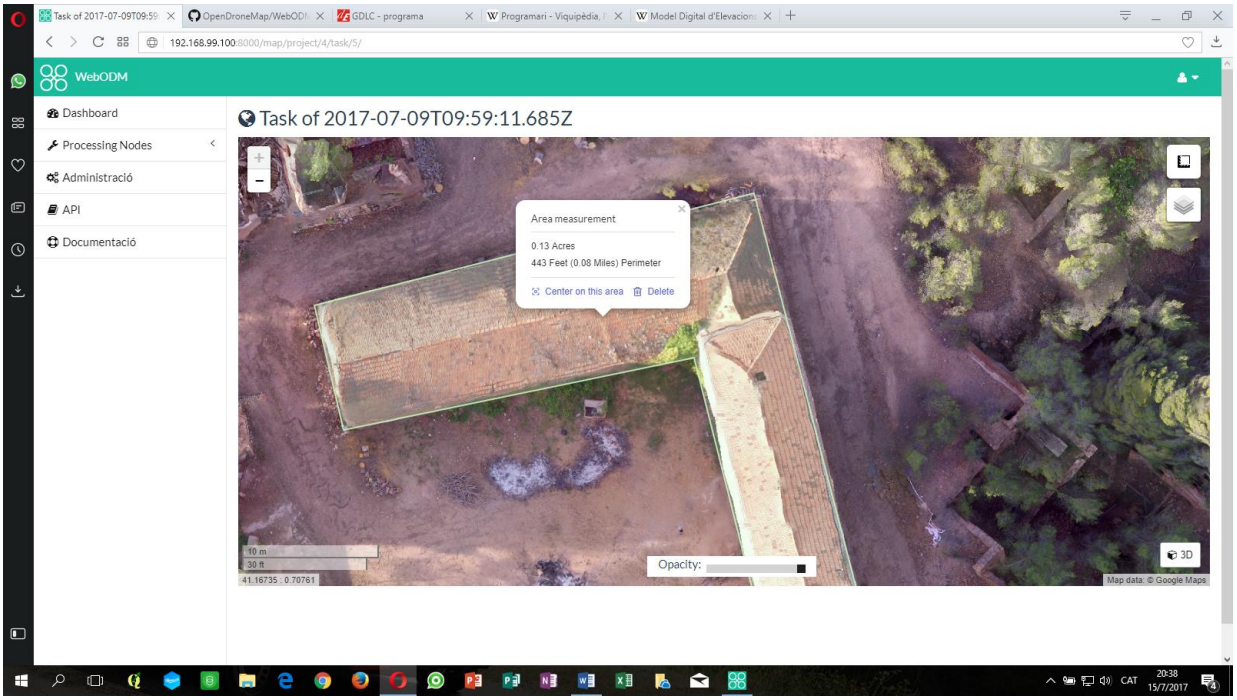
Il·lustració 58- En aquesta captura de pantalla es veuen alguns dels paràmetres que es poden modificar abans de processar la imatge per ajustar el processament i que el resultat quedin millor. Font pròpia.

Dins de la tasca completada trobem les opcions de descarregar els arxius (GTIFF, OBJ, LAS, PLY i CSV), veure l'ortofoto, el model 3D, editar els paràmetres per tornar-ho a processar, reiniciar el procés o esborrar-lo. També veiem una pantalla on ens informa de la data i hora creada, el seu estat, amb quins paràmetres ho hem processat, el número d'imatges i la durada del procés. Al recuadre blanc veiem tots els processos que segueix per obtenir els resultats per comprovar on hi ha hagut errors i poder retocar els paràmetres en cas necessari.

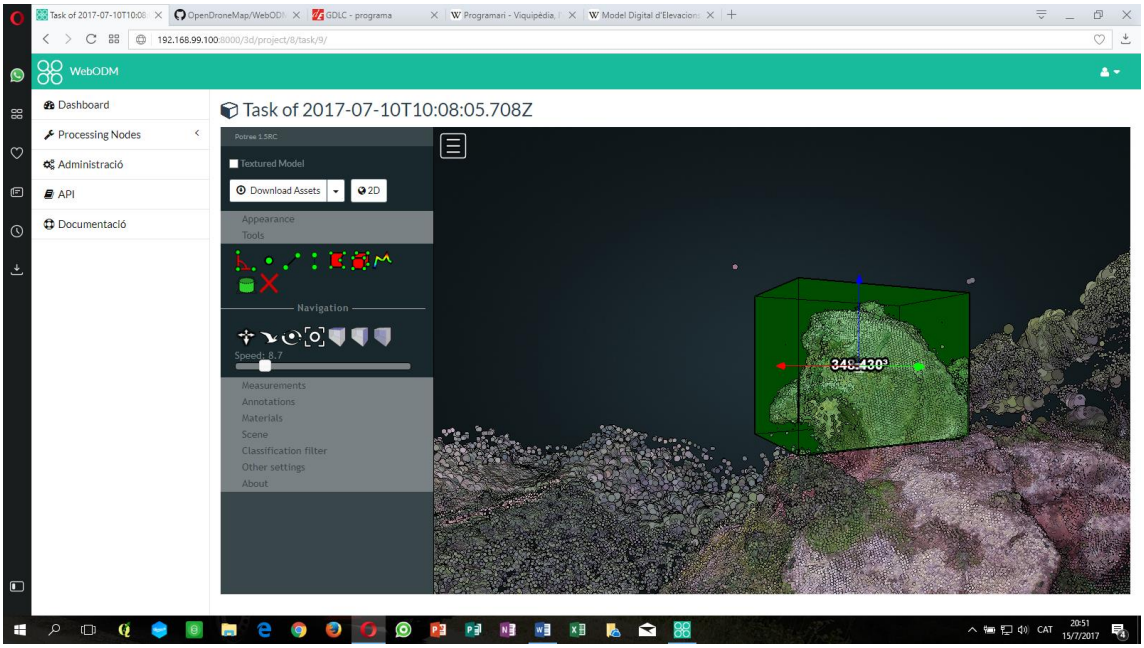


Il·lustració 59- Pantalla amb les opcions un cop processada una tasca. També es veu la pantalla blanca amb la informació del processament. Font pròpia.

Dins el visor 2D hi trobem la possibilitat de fer mesurament de distàncies i àrees i dins el 3D hi trobem diferents opcions de visualització (núvol de punts i malla de triangulació texturitzada) i les opcions de mesurament de volums



Il·lustració 60- Visualitzador dels resultats 2D on es poden fer entre altres coses, mesuraments. Font pròpia.

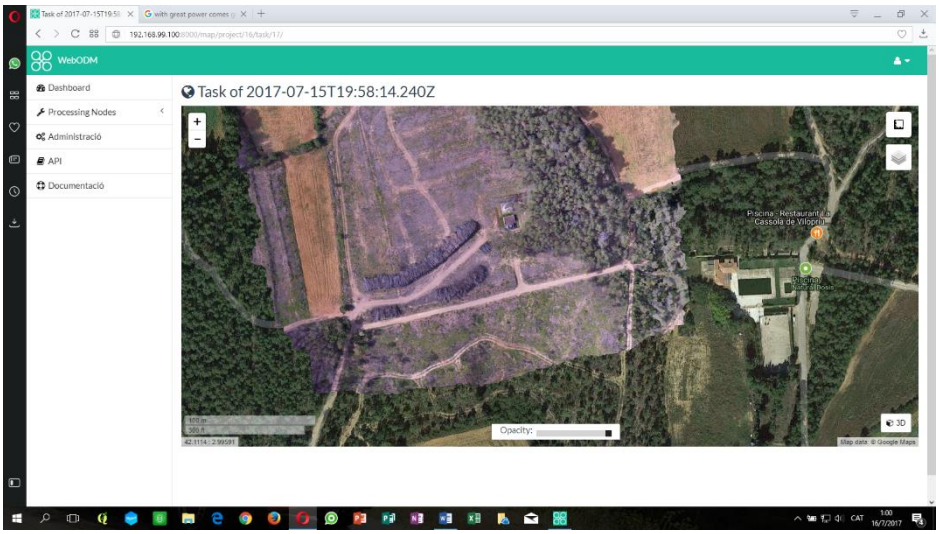


Il·lustració 61- Visualitzador 3D dels resultats amb un càlcul de volum fet. En aquest visor es pot veure el núvol de punts, la malla triangular, fer mesuraments... Font pròpies.

Conclusions WebODM:

Cal tenir aquest programa molt en compte ja que la comunitat d'usuaris que comenten errors i de desenvolupadors que els corregeixen és molt amplia i és de les poques eines de processament d'imatges preses amb dron de codi obert que s'està desenvolupant. Serà molt interessant quan la xarxa comunitària de servidors per processar les imatges estigui en marxa, fins llavors l'única opció és o bé instal·lar-ho en el propi ordinador o en un servidor. La primera opció requereix de maquinari potent i de molt de temps de processat amb l'ordinador engegat. En les meves proves hi ha hagut processos que no han acabat per falta de memòria RAM al dispositiu i els que han acabat han tardat mig dia més o menys. La segona opció requereix d'uns coneixements informàtics més avançats i disposar del maquinar o bé llogar-lo, amb el cost que això suposa.

També cal tenir en compte que no és un programa que ho faci tot de forma automàtica i té molt paràmetres a configurar prèvis al processat de les imatges per poder obtenir uns bons resultats. Hi ha unes opcions per defecte però en molts casos no sera suficient per obtenir un bon processat i s'hauran de variar paràmetres. Aquest fet fa que s'hagi de tenir un coneixement tècnic sobre quins processos executa el programa i què els hi fa a les imatges per obtenir uns bons resultats.



Il·lustració 62- Ortofoto d'una zona cremada generada amb el processament d'imatges amb el programa WebODM.

4.7.2- Altres programes de processament d'imatges avaluats

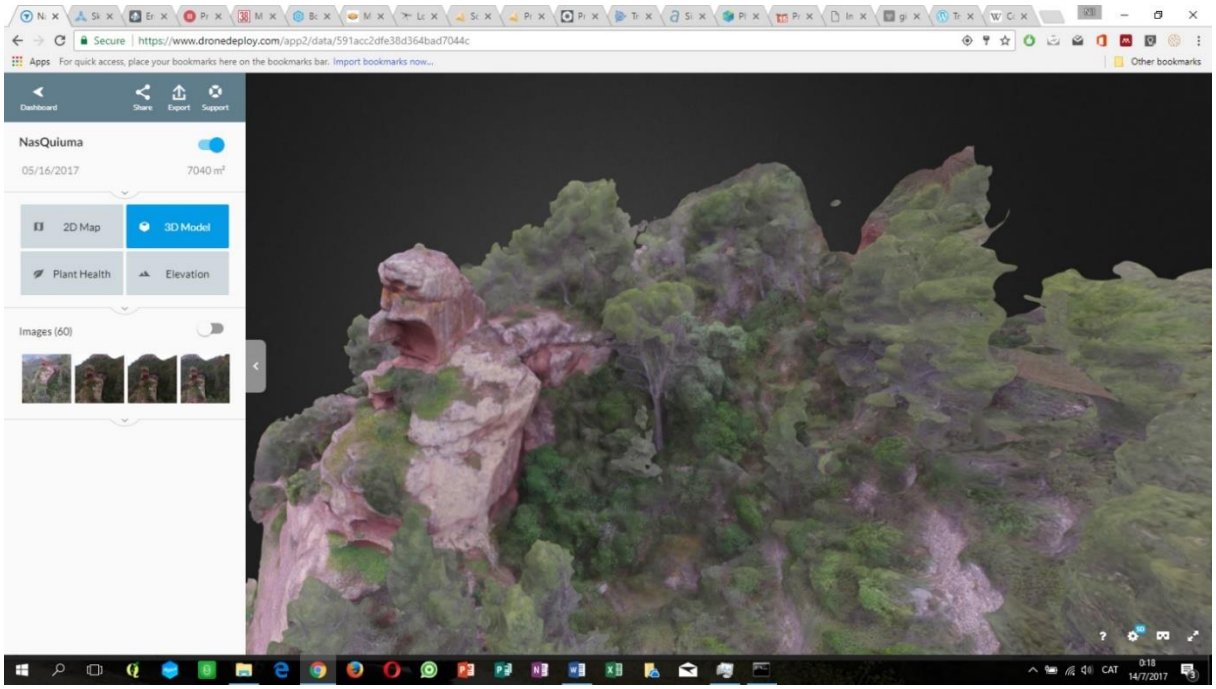
A continuació faré un petit resum d'altres programes que s'han utilitzat. No informo de totes les possibilitats però si dels elements que els diferencien. Tots són molt correctes a l'hora de processar les imatges i s'ha de tenir en compte que el resultat que et permeten visualitzar normalment no és el resultat real sinó que és una versió reduïda pel tal que els visors web puguin carregar-los fàcilment. Si es volgués fer una comparativa real de resultat s'haurien de descarregar tots els arxius i obrir-los en una mateixa aplicació per valorar les diferències. A part dels programes que explicaré a continuació també he fet proves amb altres programes com Botlink (web), Dronifi (web), Drofika (web), Agisoftphotoscan (escriptori), 3Dsurvey (escriptori), Micmac (Escriptori - Codi obert), RapidForDJI (escriptori), que no detallaré per falta de temps de prova.

4.7.2.1- DroneDeploy (Servei web):

És un programa que permet la visualització 2D, 3D, l'elevació del terreny i l'índex VARI (amb imatges RGB). També permet veure altres índex si s'han pres imatges amb càmeres multiespectrals. Permet el mesurament de distàncies i volums i la creació d'etiquetes i anotacions al mateix mapa. També permet compartir el visor, posar-lo emmarcat en una web o bé descarregar els resultats en diferents formats.

Disposa d'un pla de 30 dies gratuïts amb la versió pro que destaca per permetre l'exportació de resultats, però la incorporació de GCP només està disponible pel pla que costa 300$/mes i amb un suplement de 75$ per mapa. Al moment de carregar les imatges permet escollir el grau de qualitat-rapidesa que volem i si estem treballant amb imatges d'un terreny o d'una estructura.

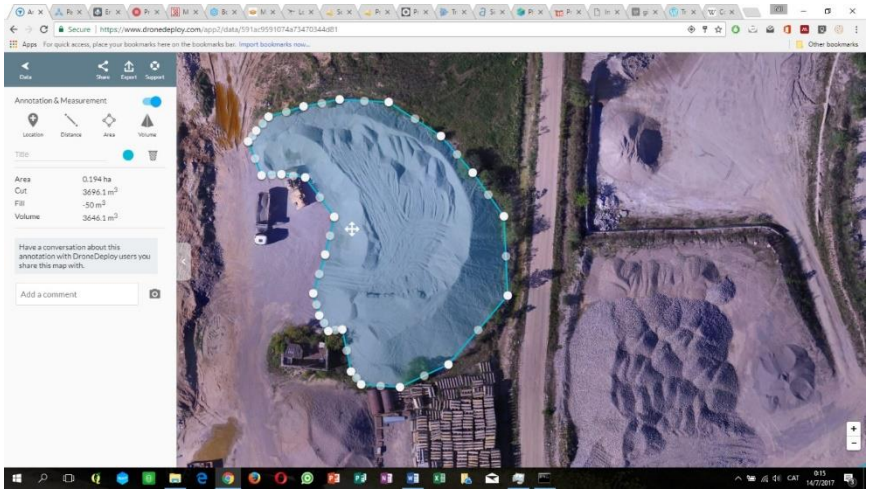
Cal destacar d'aquesta aplicació la botiga d'aplicacions creada on tercers poden oferir els seus serveis. Així podem trobar-hi aplicacions de registre de vols, de generació d'informes, exportació automàtica dels mapes a altres plataformes, identificació d'objectes als mapes...



Il·lustració 63- Visor 3D amb els resultats de les imatges del nas d'en Quiuma. Font pròpia.

Conclusions DroneDeploy:

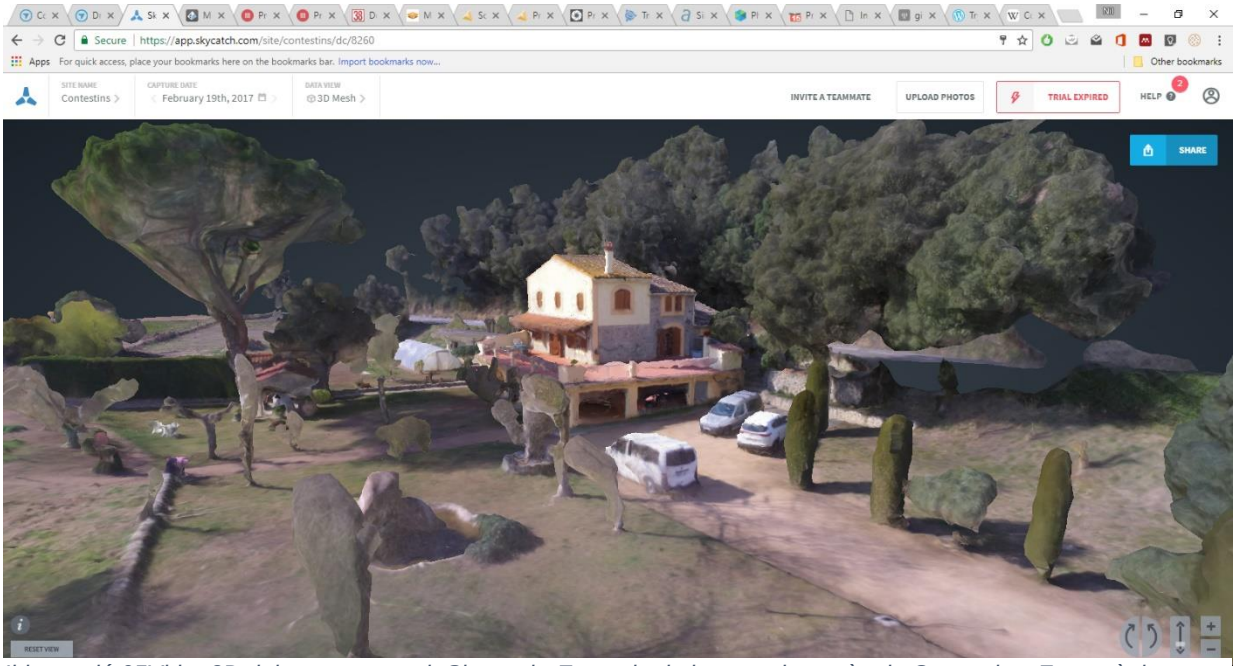
És una plataforma molt completa i amb moltes possibilitats, és una de les més ràpides en carregar les imatges i això s'agraeix. Està especialitzada en ortofotos i mapes 3D, potser no tan amb model 3D més concrets, ja que tal com hem vist, la seva pròpia aplicació només permet un tipus de vol d'un sol traçat amb la càmera a perpendicular al terra. És un programa que busca oferir tot el que es necessita a la pròpia web i que l'exportació de resultats no sigui del tot necessària, per això incorpora un visor d'elevació, mesuraments a la pròpia web i la possibilitat d'aplicar algoritmes per veure diferents índex de vegetació.



Il·lustració 64- Secció del programa Dronedeploy on permet fer mesuraments. Exemple de la zona de tractaments d'àrid de Vilanna. Font pròpia.

4.7.2.2- Skycatch (Servei Web)

És un programa que permet la visualització en 2D i en 3D en format de núvol de punts i en format model 3D. Permet fer mesuraments ràpids als mapes, escriure-hi anotacions i sobreposar-hi altres mapes així com l'exportació a diferents tipus de formats inclús un cop finalitzada la prova gratuita. També permet compartir els mapes, tan l'enllaç al visor com el visor emmarcat en un web. Té un pla de prova de 30 dies amb els quals es té accés a tots els serveis de la modalitat pro, que permet els mesuraments, les anotacions i incorporar arxius CAD als mapes.



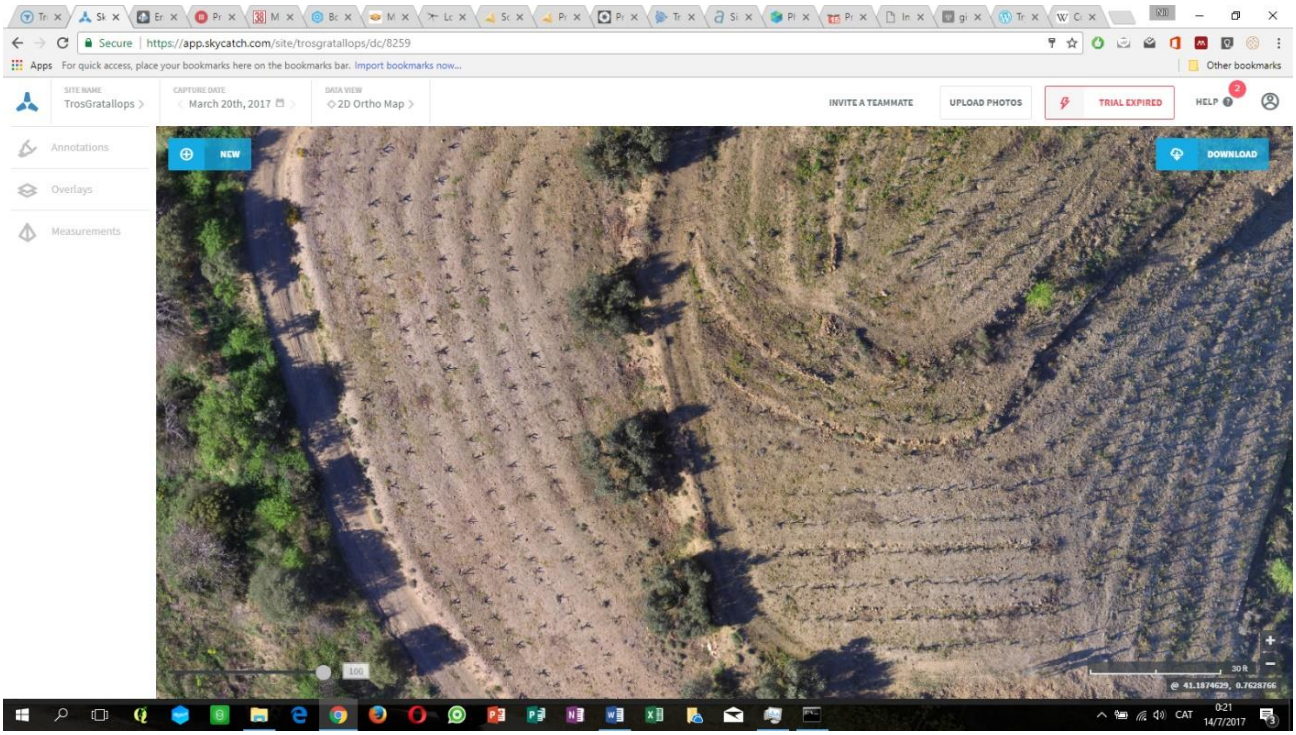
Il·lustració 65Vidor 3D del programa web Skycatch. Exemple de la casa de pagès de Contestins. Font pròpia.

Els preus van dels 50$/mes als 800$/mes amb la possibilitat de establir GCP només a la versió més cara.

Destaca per la seva rapidesa a l'hora de carregar i processar les imatges i generar bons resultats 3D.

Tenen a la venta un dron en el qual, al haver-hi incorporat un GPS d'alta sensibilitat, l'ofereixen per evitar establir GCP per crear mapes acurats.

Disposen d'una aplicació per crear rutes per IOS i pròximament per Android.



Il·lustració 66- Exemple de l'orotofoto d'uns bancals de vinya processats amb el programa Skycatch. Aquest es el visor 2D. Font pròpia.

Conclusions Skycatch:

És un bon servei de processament de les imatges, és ràpid i genera bons mapes i bons models 3D, permet la visualització online, fer mesuraments, compartir els resultats i descarregar els arxius de les proves gratuïtes inclús un cop finalitzat el període de prova. El seu defecte és no permetre processar cap mapa sense una versió de pagament.

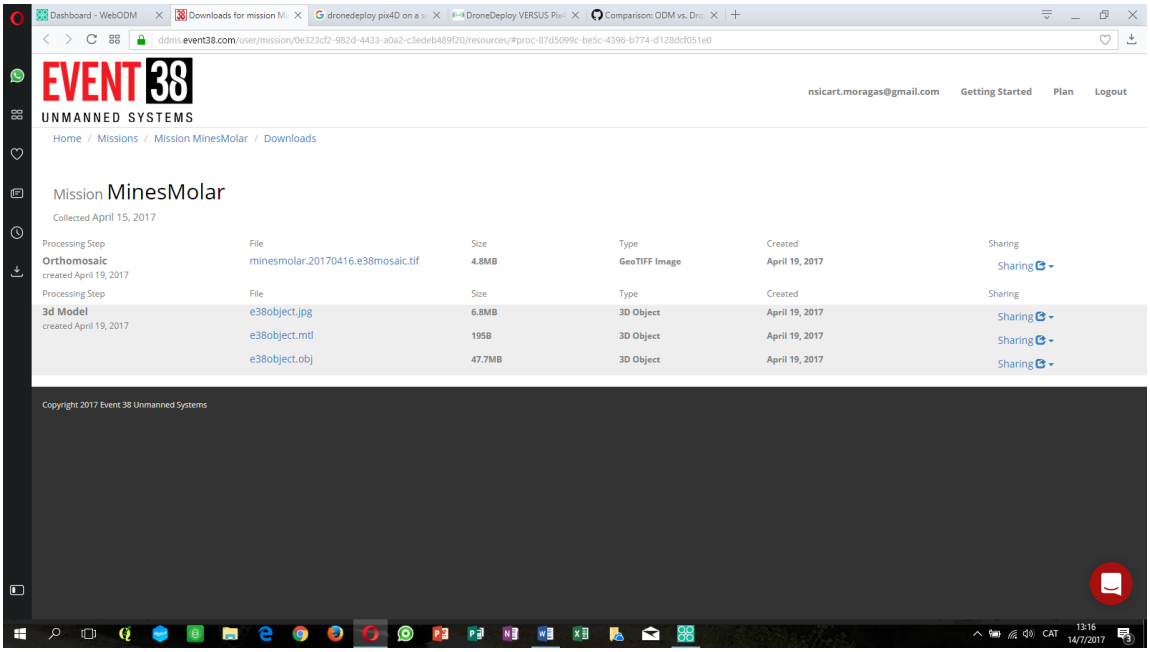
4.7.2.3- Event38 (Programa Web):

És una empresa dedicada a l'obtenció i processament d'imatges preses amb dron. Disposa d'aeronaus pròpies, sensors propis i d'un programa web per processar les imatges.

Aquest programa permet visualitzar els mapes finalitzats en 2D però no en 3D. Tampoc permet fer-hi mesuraments ni anotacions. És un programa que un cop processada la imatge es centra en permetre la descàrrega dels resultats per ser analitzats en altres aplicacions.

En els plans de pagament permet que automàticament s'hi apliquin algoritmes als resultats per obtenir diferents índex de vegetació i només en el pla més car (1.200$/any) permet col·locar GCP.

Per obtenir uns resultats senzills però en alguns casos útils destaca per permetre el processament de 5 mapes al mes amb exportació d'arxius .TIFF i .OBJ a la versió gratuïta, tot i que no amb la màxima qualitat, a una resolució màxima de 15cm/px.



Il·lustració 67- Secció del programa Event38 on es pot descarregar tots els arxius processats. Font pròpia.

Conclusions Event38:

Si l'objectiu final és obtenir una ortofoto i un model 3D sense la necessitat que aquests resultats siguin de molt bona qualitat és un gran programa ja que la versió gratuïta permet processar fins a 5 mapes al mes permetent descarregar els resultats. Això sí, t'obliga a analitzar les imatges amb altres programes ja que el seu visualitzador és molt senzill i no permet cap mena d'interacció amb el resultat.

4.7.2.4- Precisionmaper (Programa Web)

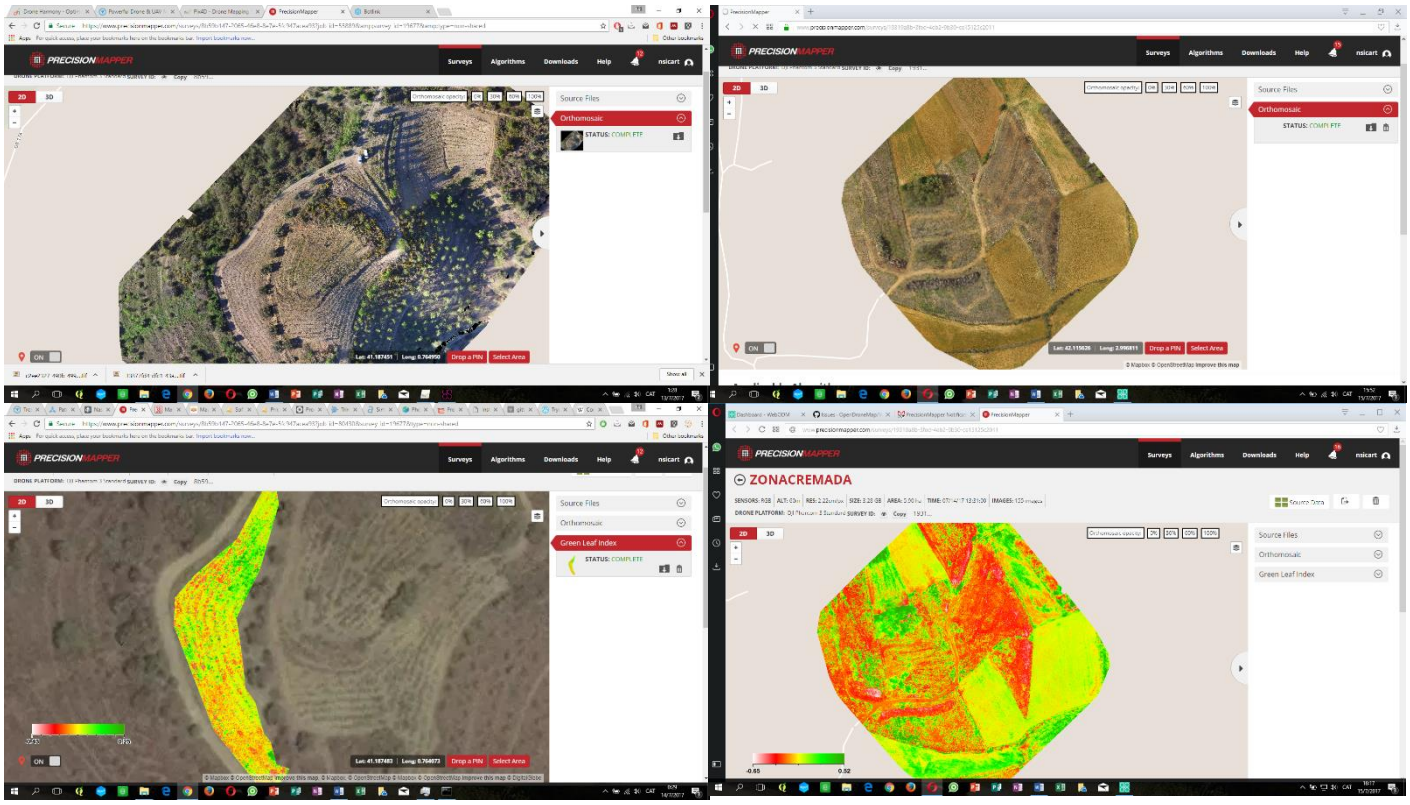
És una empresa de serveis que busca cobrir amb senzillesa el màxim de necessitats que puguin tenir els que busquen uns resultat finals comprensibles. És per això que a part del programa al núvol de processament d'imatges té una àmplia oferta d'algoritmes aplicables als resultats i classificats segons el camp d'estudi al qual poden ser útils. Trobem índex de vegetació, volums de vegetació, detecció de males herbes, percentatge de superfície vegetal, detecció d'aigua, càlculs de volums de terres...

Alguns d'aquests algoritmes es permeten aplicar a la versió gratuïta, així com la visualització 2D i 3D dels resultats. També permet crear-hi anotacions però no fer-hi mesuraments. La descarrega però, només es permet en els plans de pagament.

Aquests plans van des dels 95$ als 450$ mensuals. La diferència entre uns i altres és la capacitat d'emmagatzematge de què es disposa i el nombre de mapes que et permeten tenir processats. Els algoritmes tenen un preu mensual cadascun d'ells per poder-se aplicar.

Permet la inclusió de GCP a través de la seva aplicació d'escriptori PrecisionViewer, que serveix per fer el seguiment de la ruta sobre el terreny.

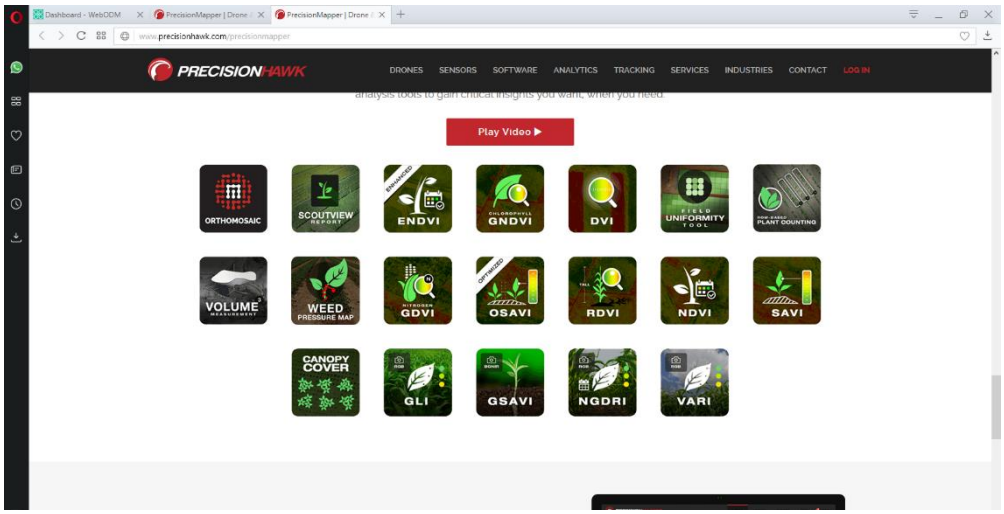
És una empresa que també ofereix els seus propis drons i tal com hem vist disposa de l'aplicació per Android PrecisionFlight per crear plans de vol.



Il·lustració 68- Aplicació d'alguns dels índex que es poden utilitzar. En un camp de vinyes i en una zona cremada. Font pròpia.

Conclusions PrecisionMapper:

No destaca per sobre de la resta en cap aspecte que ens pugui interessar si el que es vol és processar imatges amb un sensor RGB. Fa bé la feina i la interfície és molt clara. Tot i això tenen molts serveis, app android, software escriptori pels GCP, el processament és online... És un programa que busca ser l'eina completa i que es realitzin totes les funcions a través dels seus serveis. Al no permetre la descarrega i les poques possibilitats al web amb la versió gratuïta la descarto per un ús pràctic si no es té un pla de pagament. Tot i això s'ha de tenir en compte el gran ventall d'algoritmes que permet aplicar per futurs projectes.



Il·lustració 69- Diferents índexs que es poden aplicar als resultats de Precisionmaper. Font pròpia.

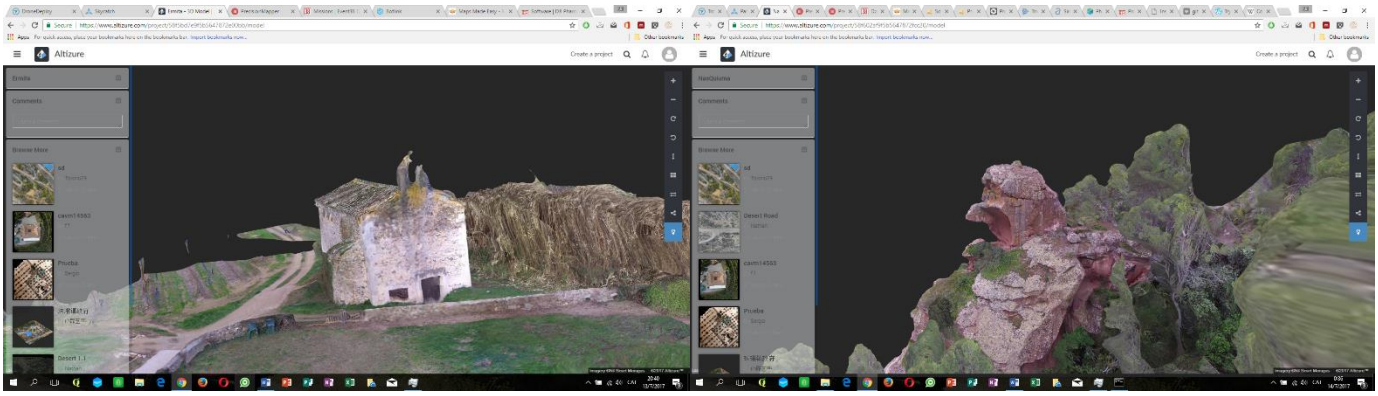
4.7.2.5- Altizure (Programa Web i eina de pujar imatges d'escriptori)

És una plataforma online enfocada en els models 3D, ja siguin mapes grans com estructures i/o objectes. Promocionen el processament d'imatges de drons però també destaquen les seves qualitats en fotogrametria d'objectes propers.

Tenen un catàleg públic on es poden visualitzar models 3D fets per usuaris i valoren el nombre de visites que té cada model a l'estil xarxa social.

Amb el pla gratuït no permet la descàrrega d'arxius però si que facilita poder compartir tant la ortofoto com el model 3D a les xarxes socials o bé emmarcar-lo a una pàgina web.

Permet la visualització tan en 3D com en 2D del resultat i fer-hi anotacions, retallar-lo per mostrar únicament la part que interessa i aplicar efectes per millorar la seva visualització com determinar si es tracta d'un paisatge o un objecte proper o establir zones d'aigua per millorar la textura.



Il·lustració 70- Visor 3D del programa Altizure amb l'ermita de Santa Margarita de Bescanó i el nas d'en Quiuma d'El Lloar. Font pròpia.

Conclusions Altizure:

És un programa destinat a aquells usuaris a qui els hi agrada el modelatge 3D ja sigui per crear vistes virtuals d'edificis, complexes urbanístics o bé d'objectes concrets. Està enfocat a la compartició dels models creats i les seves eines estan orientades a millorar la visualització del model. No destaca per ser una eina que cobreixi amb senzillesa les necessitats d'algú que vulgui els model 3D o el 2D per extreure'n informació com volums, mides, o treballar els resultats amb altres programes, tot i que també és possible fer-ho. El programa online juntament amb la seva pròpia aplicació per Android garanteixen molt bons resultats 3D.

4.7.2.6- MapsMadeEasy (Programa Web)

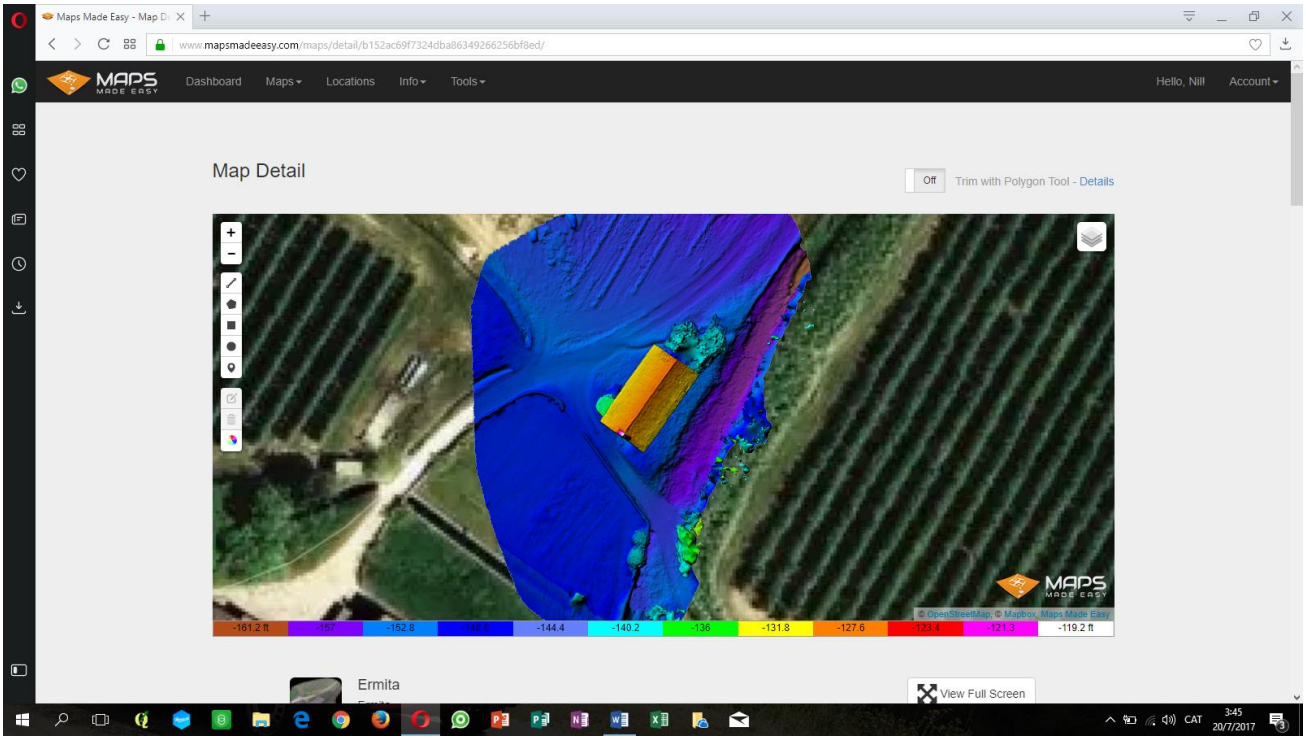
El programa online MapsMadeEasy és una bona opció per treballs puntuals ja que el seu pla de pagament es basa en crèdits que et permeten processar un cert nombre de megapíxels. D'aquesta manera es podria, en un projecte professional, estimar ben bé el preu del processat de les imatges. Tot i això per provar-lo et permet processar un cert nombre d'imatges. Aquesta prova gratuïta permet crear mapes que no superin un nombre de crèdits. És un nombre de crèdits baix i no et es poden crear mapes gaire grans ni amb gaire resolució.

Aquest programa, a diferència d'altres, requereix incloure una imatge presa des del terra per conèixer quina és l'altitud a la que vola el dron i així ajustar millor l'ortofoto a la realitat. Permet la creació de GCP i accepta

imatges que tinguin el geoposicionament associat o imatges que requereixen d'arxius externs per determinar la posició.

Genera un informe del mapa i permet la descarrega en diferents formats tan 2D com 3D que es poden visualitzar al seu visor web. Aquests resultats es poden compartir com un enllaç al seu visor o emmarcar-los en una web.

Permet la creació de mapes amb índex de vegetació per imatges preses amb càmeres multiespectrals, el mesurament de distàncies i volums.



Il·lustració 71- Visor MDT del programa MapsMadeEasy del resultat de l'ermita de Santa Margarida. Font pròpia.

Conclusions MapsMadeEasy:

Les possibilitats que ofereix el programa mapsmadeeasy són molt altes. És un programa amb el qual si et decantes per ell no et decebrà ja que està preparat per qualsevol tipus de necessitat. S'ajusta a tot tipus d'imatge, permet crear GCP per ajustar la imatge i fer comparatives amb futures missions, descarregar diferents tipus d'arxius, visualitzar de manera ràpida els resultats... I tot això per un preu concret per projecte. És per això que en molts fòrums especialitzats destaquen mapsmadeeasy com una de les millors eines per confiar-hi. L'inconvenient és que no es pot provar amb mapes gaire extensos ja que la opció gratuïta és molt limitada en quan a mida.

4.7.2.7- PIX4DDesktop (Programa d'escriptori)

Pix4D és un programa de processament d'imatges que s'instal·la al propi ordinador i funciona sense connexió. És de pagament i tot i que disposa de diferents opcions de pagament el seu preu està al voltant dels 2000€ amb garantia d'actualitzacions d'un any. Permet pagar per períodes començant amb 260$/mes. Es pot fer una prova gratuïta de 30 dies amb totes les funcionalitats de la versió Desktop Pro.

És un programa amb la possibilitat de generació de resultats enfocats en tots els àmbits. Es poden retocar tots els paràmetres possibles, utilitzar diferents tipus d'imatges i tractar-les de manera individual, per exemple, si d'una zona es tenen imatges geoposicionades i imatges que requereixen d'un arxiu extern per geoposicionar-les i la càmera té una resolució i una distància focal diferent el programa permet processar-les en un mateix mapa.

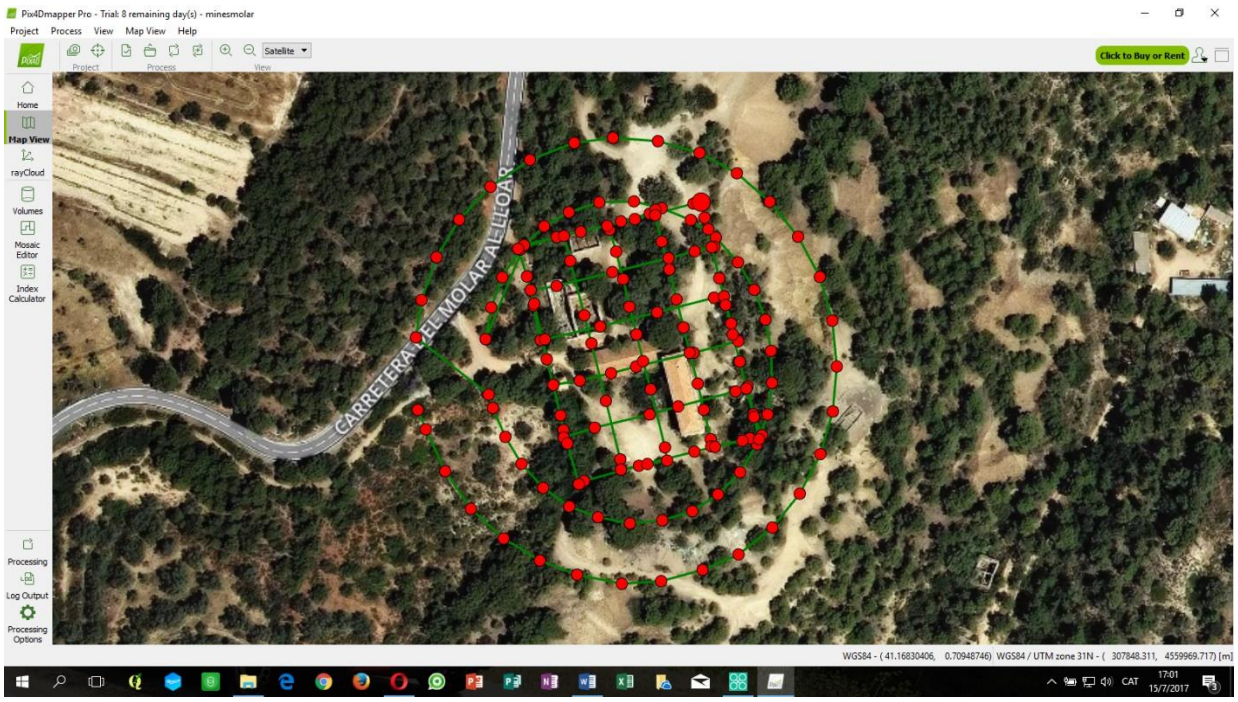
Pots exportar els resultats en quasi tots els formats possibles i en el mateix programa crear anotacions, fer mesuraments de distàncies i volums, i retocar els resultats. També generar informes i presentacions de mapes finals.

En definitiva, és una eina completa del tot, difícilment es trobarà a faltar res i la seva interfície és fàcil de comprendre. Potser per això és un dels programes més ben valorats pels usuaris.

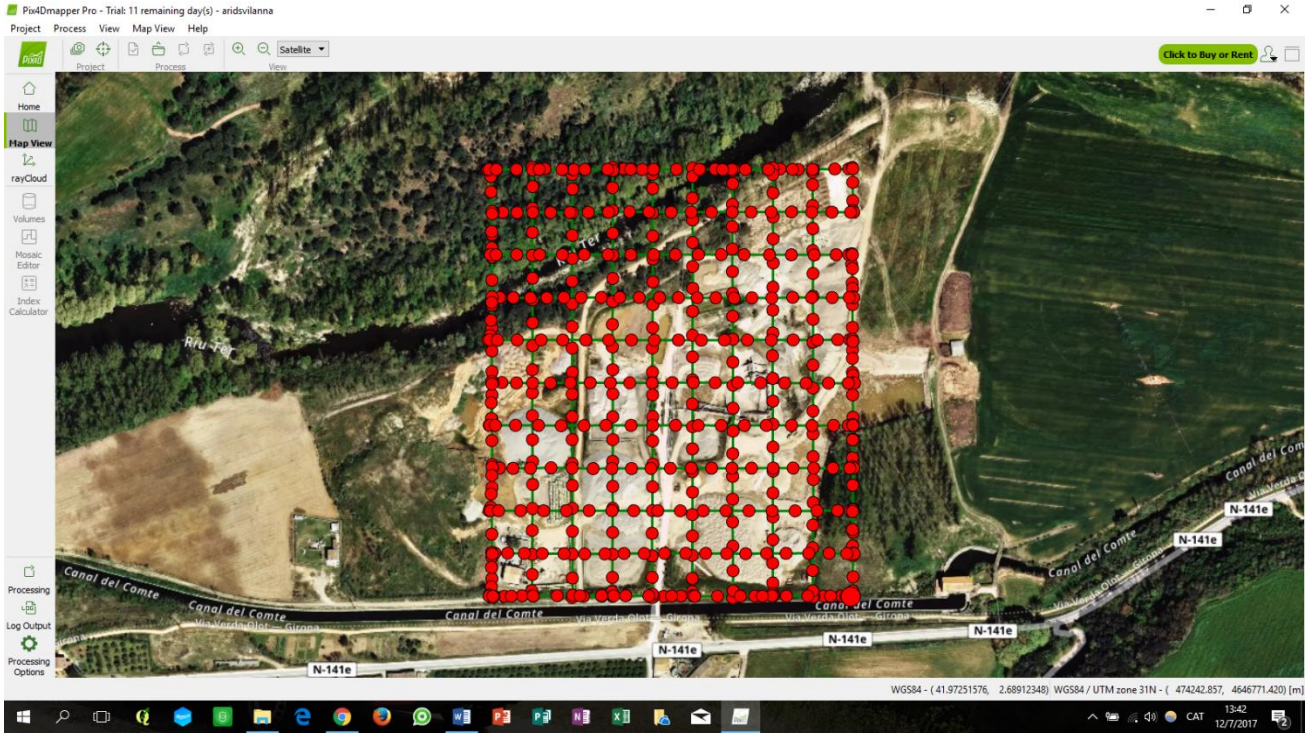
Disposa d'un servei de processament al núvol amb menys opcions però amb bons resultats i juntament amb l'aplicació Android per crear plans de vol pots utilitzar totes les seves eines per obtenir els resultats.

Conclusions Pix4D:

Tot i ser el programa més ben valorat pels usuaris no està a l'abast de tothom degut al seu elevat preu. El fet que tingui tantes opcions és molt positiu per usuaris avançats però hi ha altres programes més senzills enfocats a cobrir unes necessitats concretes que seran del tot útils i còmodes per qui no en tingui més. El fet de requerir una instal·lació local fa que es tingui més llibertat a l'hora de processar les imatges ja que no es requereix d'una connexió a internet però per altra banda necessites un equip potent i mantenir-lo encès durant unes quantes hores. En el meu cas cada processat d'imatges que he provat ha tardat mig dia quan en els programes online tarda minuts o poques hores. En definitiva, es té present que és molt bon programa però degut als inconvenient que té no el fan gaire pràctic per un ús inicial.



Il·lustració 72- Pla de vol amb les imatges preses de les Mines del Molar visualitzades al programa Pix4D Desktop. Font pròpia.



Il·lustració 73- Pla de vol amb les imatges preses de la zona de tractament d'àrids de Vilanna visualitzades al programa Pix4D Desktop. Font pròpia

4.7.3- Conclusions programes de processament d'imatges

No hi ha cap programa de processament d'imatges que he provat que es pugui considerar un mal programa, tots tenen punts forts i punts febles, tot i això cal tenir en compte que molts d'ells estan enfocats a un públic amb unes necessitats concretes i no pretenen ser el programa definitiu. El que determinarà l'ús d'un programa o un altre és l'objectiu que es busca amb les imatges. Però els preus dels programes impossibiliten utilitzar-los de forma saltada en funció dels objectius.

Les opcions al núvol són més senzilles d'utilitzar, busquen la simplicitat amb uns resultats bons i així guanyar la fidelització dels usuaris però requereixen una connexió a internet tant per carregar les imatges com per descarregar els resultats i això no sempre és possible.

Per altra banda, les opcions en local permeten un ús sense internet i tal com hem vist són opcions que permeten modificar més paràmetres. Aparentment són millor opció que els programes al núvol si es té intenció de seguir formant-se en el tractament d'imatges i es volen modificar paràmetres.

Dels dos programes d'escriptori provats WebODM és el programa a considerar en un futur. És gratuït, de codi obert, amb projecció de moltes funcionalitats noves i amb el que pots variar molts paràmetres a l'hora de processar imatges. Tot i això encara està una mica verd i si no tens coneixements tècnics per variar els paràmetres de processat de les imatges pots obtenir uns resultats inútils per ser analitzats.

El fet de requerir un maquinari potent també el condiciona per no ser l'únic programa a utilitzar ja que segons amb quins equips no es podrà processar mapes gaire extensos.

Així doncs per un ús professional i a baix cost s'haurà d'utilitzar un programa al núvol i utilitzar WebODM en determinades ocasions quan sigui possible.

Dels programes al núvol, tot i que alguns disposen de versió gratuïta, no és recomanable utilitzar-les per usos professionals. És millor utilitzar el programa MapsMadeEasy que permet pagar en funció del nombre i resolució de les imatges, així es podrà aplicar un cost concret a cada projecte sense la necessitat de pagar si hi ha temporades que no se'n realitza cap.

5- CONCLUSIONS i VALORACIÓ FINAL DE L'APROXIMACIÓ

Els objectius s'han assolit: s'ha pogut realitzar tot el procés d'obtenció d'imatges amb dron i el processament d'aquestes imatges aconseguint uns resultats útils per un ús professional a baix cost.

Tot i això hi ha molts matisos que cal considerar:

Per un preu de 350€ i utilitzant el portàtil i el mòbil d'ús particular he pogut assolir l'objectiu però per realitzar treballs com a professional el cost és molt més alt ja que s'ha de tenir en compte el preu per obtenir el carnet de pilot i la gestió de acreditar-se com operadora de drons, la quota d'autònoms en cas de ser un mateix l'empresa i l'assegurança de responsabilitat civil.

També cal considerar que no tots els resultats obtinguts poden ser usats en tots els àmbits professionals perquè els hi manca tecnicitat. En les proves realitzades el calibratge de la resolució espacial no s'ha tingut en compte, tot i que he trobat programes amb un cert grau de gratuïtat com UgCS que permeten considerar-ho. Tampoc s'ha aconseguit un bon geoposicionament de les imatges i alguns resultats han presentat desplaçaments en relació al mapa base. Tot i això, aquests errors tècnics són corregibles per futures proves.

Pel què fa a la disponibilitat de drons al mercat he vist que existeixen opcions relativament assequibles per utilitzar en àmbits semi-professionals i amb opcions d'incorporació d'altres accessoris per seguir ampliant les utilitats. També pot fer-se un dron a mida per un preu similar que permetria una configuració molt més personalitzada a les necessitats i objectius.

Pel què fa als programes de creació de pla de vol he vist que hi ha opcions per un ús ràpid i per unes necessitats bàsiques d'obtenció d'imatges. Aquests programes per mòbil serveixen sobretot per obtenir models 3D. Si realment es volgués un programa més tècnic s'hauria d'optar per una opció de pagament i d'escriptori com UgCS.

Pel que fa als programes de processament d'imatges he vist que hi ha molt futur amb el programa WebODM així que és un programa que recomano provar. Ha estat complicat la seva instal·lació i familiarització amb els termes que s'utilitzen però un cop aprés és un programa a tenir en compte i a no desinstal·lar.

El programa per utilitzar en usos professionals si es busca el baix cost és MapsMadeEasy que et permet pagar per projecte.

Si es pogués fer una inversió però intentant mantenir el baix cost en la realització de projectes i la utilització de programari de codi obert la recomanació és invertir en un maquinari potent que permeti un bon processat de les imatges i el posterior tractament en programes SIG o 3D.

Per acabar, recomano la utilització del programa QGIS per realitzar projectes SIG a l'ordinador i el programa Cloudcompare per la visualització i tractament de models 3D, tots dos són gratuïts i de codi obert.

6- BIBLIOGRAFIA

"10 Top Lidar Sensors For UAVs And So Many Great Uses | DroneZon," <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/best-lidar-sensors-for-drones-great-uses-for-lidar-sensors/>

"Mounts - MAPIR CAMERA," <https://www.mapir.camera/collections/mounts>

"Maps Made Easy - Map Detail," <https://www.mapsmadeeasy.com/maps/detail/b152ac69f7324dba86349266256bf8ed/>

"Botlink," <https://app.botlink.com/dashboard/flights/80483248-b282-424a-abd4-6df3df4d4994>

"Missions | Event38 DDMS," <https://ddms.event38.com/user/missions/>

"PrecisionMapper," <https://www.precisionmapper.com/surveys>

"Skycatch," <https://app.skycatch.com/site/minesmolar/dc/8258>

"DroneDeploy," <https://www.dronedeploy.com/app2/settings>

"Trying all the free Photogrammetry! – Dr Peter L. Falkingham," <https://pfalkingham.wordpress.com/2016/09/14/trying-all-the-free-photogrammetry/>

"DJIFlightPlanner – Our flight planning software is the easiest way to pre-plan a photogrammetric aerial survey for your DJI Phantom 3 (all versions) / Phantom 4 (all versions) / Mavic Pro / Inspire 1 / Matrix. You'll be up and flying in no-time with our powerful yet easy-to-use Windows-based software.," <http://www.djiflightplanner.com/>

"UgCS Photogrammetry tool for UAV Land Surveying Missions," <https://www.ugcs.com/en/page/photogrammetry-tool-for-land-surveying>

"Ground Station Software | UgCS PC Mission Planning," <https://www.ugcs.com/>

"Dashboard," <https://services.flylatas.com/dashboard.html#/>

"PrecisionFlight | UAV & Drone Flight Planner," <http://www.precisionhawk.com/precisionflight>

"Altizure," <https://www.altizure.com/#altizure/5>

"Pix4D - Drone Mapping Software for Desktop + Cloud + Mobile," <https://pix4d.com/>

"Powerful Drone & UAV Mapping Software | DroneDeploy," <https://www.dronedeploy.com/>

"Drone Harmony - Optimal mission planning for DJI Drones," <http://droneharmony.com/>

"FLIR Systems | Sistemas de termografía, visión nocturna y cámaras infrarrojas," <http://www.flir.es/home/>

"Analist Group - Your International Company," <https://www.analistgroup.com/en/>

"Survey2 Cameras - MAPIR CAMERA," <https://www.mapir.camera/collections/survey2>

"El espacio aéreo controlado - Drones - Drone Spain," <http://dronespain.pro/espacio-aereo-controlado-drones/>.