

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGIA GPS Y
SENSORES REMOTOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA
CIVIL
RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ÁREA DE LA BOVEDA**

PRESENTADO POR:

CLAUDIA ELIZABETH MÁRQUEZ GUEVARA

ERIKA YESENIA MEJÍA AYALA

ENA GABRIELA PEÑATE GUARDADO

YONY LEONEL RIVERA TOBAR

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Curso de Especialización previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y
SENSORES REMOTOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA
CIVIL**

Presentado por :

CLAUDIA ELIZABETH MÁRQUEZ GUEVARA

ERIKA YESENIA MEJÍA AYALA

ENA GABRIELA PEÑATE GUARDADO

YONY LEONEL RIVERA TOBAR

Curso de Especialización Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, noviembre 2021

Curso de Especialización aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I: “GENERALIDADES DE LA RESTITUCION FOTOGRAFICA”	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Alcances.....	4
1.5 Limitaciones	4
1.6 Justificación.....	5
CAPÍTULO II: “FUNDAMENTOS TEÓRICOS”	7
1.7 Sistemas de Referencia Geodésico	7
1.7.1 Elipsoide	8
1.7.2 Datum.....	11
1.7.3 Proyecciones Cartográficas	16
1.7.4 Sistema de Referencia Geodésico Lambert SIRGAS-ES2007.....	23
1.7.5 Levantamientos Geodésicos con GNSS.....	26
1.8 Topografía	29
1.8.1 Levantamientos Topográficos.....	34
1.9 Fotogrametría con Drones	41

1.9.1	Aplicaciones de la fotogrametría:	42
1.9.2	Conceptos importantes para la fotogrametría	43
1.9.3	Ventajas de realizar la fotogrametría con drones	44
1.9.4	Desventajas	45
1.9.5	Algunas aplicaciones de los drones.....	45
1.9.6	Tipos de drones.....	46
1.10	Tipos de modelo digitales	47
1.10.1	Modelos digitales de superficie	48
1.10.2	Modelos digitales de elevación.....	49
1.10.3	Modelos digitales de terreno.....	50
CAPITULO III: "OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO"		52
1.11	Obtención de datos con técnicas GNSS.	52
1.12	Plan de Vuelo	71
1.13	Levantamiento de vuelo fotogramétrico con Drone	74
CAPÍTULO IV: "PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO"		78
1.14	Paso 1: Procesamiento inicial	78
1.15	Paso 2: Nube de puntos y malla.....	91
1.16	Paso 3: MDS, ortomosaico e índices.....	102
CAPÍTULO V: "ANÁLISIS DE RESULTADOS"		106
CAPÍTULO VI: "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"		112

1.17	CONCLUSIONES	112
1.18	RECOMENDACIONES:.....	113
	BIBLIOGRAFIA	114
	ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1.	FOTOGRAMETRÍA ANÁLOGA.	1
FIGURA 2.	VERDADERA FORMA DE LA TIERRA	7
FIGURA 3.	FORMA CORRECTA DE LA TIERRA: UN GEOIDE. APROXIMACIÓN DE LA FORMA DE LA TIERRA: ELIPSOIDE. ELIPSOIDE DE REFERENCIA.	8
FIGURA 4.	REPRESENTACIÓN DE GEOIDE, ELIPSOIDE Y SUPERFICIE DE LA TIERRA	9
FIGURA 5.	MEADES RANCH TRIANGULATION STATION, FUNDAMENTAL STATION FOR THE NORTH AMERICAN DATUM OF 1927.	12
FIGURA 6.	UBICACIÓN DE MEADES RANCH EN ESTADOS UNIDOS.	13
FIGURA 7.	CENTRO GEODÉSICO DE MEADES RANCH 1891.	13
FIGURA 8.	PARÁMETROS QUE DEFINEN EL DATUM.	14

FIGURA 9. MAPA DE EL SALVADOR CON ANTIGUA RED GEODÉSICA BASADA EN DATUM NAD 27.....	14
FIGURA 10. MAPA DE EL SALVADOR CON ANTIGUA RED GEODÉSICA BASADA EN DATUM NAD 27.....	15
FIGURA 11. DATUM GLOBAL O GEOCÉNTRICO, UBICADO EN EL CENTRO DE LA TIERRA.	16
FIGURA 12. COMPARACIÓN ENTRE DATUM LOCAL Y DATUM GLOBAL.	16
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN DE PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS PRINCIPALES	17
FIGURA 14. VISTA PROYECCIÓN CILÍNDRICAS.....	18
FIGURA 15. VISTA PROYECCIÓN CÓNICA.....	19
FIGURA 16. REPRESENTACIÓN DE PROYECCIÓN PLANA.....	19
FIGURA 17. MODELO DE SISTEMA UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM).	20
FIGURA 18. VISTA CONFIGURACIÓN DE UNA ZONA UTM	21
FIGURA 19. SIRGAS, SISTEMA DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO PARA LAS AMÉRICAS.....	24
FIGURA 20. A) THE INTERNATIONAL TERRESTRIAL SYSTEM (ITRS), B) THE INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME (ITRF) VISUALIZED AS A DISTRIBUTED SET OF GROUND CONTROL STATIONS (REPRESENTATED BY RED POINTS).....	24

FIGURA 21. INTEGRACIÓN DE LA RED GEODÉSICA DE EL SALVADOR A LA RED SIRGAS. LAS ESTACIONES GOLD, PIE.....	25
FIGURA 22. RED GEODÉSICA BÁSICA NACIONAL DE EL SALVADOR, SIRGAS ES2007.8	25
FIGURA 23. PARÁMETROS DE LA PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007.8.	26
FIGURA 24. UBICACIÓN RECOMENDADA PARA RECEPTOR BASE Y MÓVIL EN TÉCNICA RTK.....	29
FIGURA 25. AZIMUT.....	33
FIGURA 26. RUMBO.....	33
FIGURA 27. BRÚJULA, ESTADÍA, NIVEL, ESTACIÓN TOTAL, TRÍPODE, GPS.....	34
FIGURA 28. UNIDADES DE MEDIDA SEXAGESIMAL, REVOLUCIONES, RADIANES, GRADOS CENTESIMALES.	38
FIGURA 29. PUNTO E Y OE TIENEN COORDENADAS CONOCIDAS.....	39
FIGURA 30. DIFERENTES TIPOS DE POLIGONALES.....	40
FIGURA 31. POLIGONAL CERRADA N Y A PUNTO DE CONTROL ESTABLECIDOS CON GPS.	40
FIGURA 32. RESOLUCIONES DE IMAGEN	42

FIGURA 33. DOS IMÁGENES EN UN MISMO OBJETO.....	43
FIGURA 34. DIFERENTES GSD	44
FIGURA 35. DRON DE ALA FIJA	46
FIGURA 36. DRON DE ALA ROTATORIA.....	47
FIGURA 37. DETECCIÓN Y ALCANCE DE LUZ AÉREA.....	48
FIGURA 38. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE, INCLUYE LA VEGETACIÓN PRESENTE EN EL SUELO.	49
FIGURA 39. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL.....	50
FIGURA 40. MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	51
FIGURA 41. EQUIPO GPS CON SUS RESPECTIVOS ACCESORIOS Y COLECTORES USADOS EN EL LEVANTAMIENTO RTK.....	54
FIGURA 42. TRÍPODE DONDE SE INSTALARÁ EL GPS BASE.	54
FIGURA 43. BASTÓN CON BURBUJA NIVELANTE PARA INSTALAR GPS ROVER.....	55
FIGURA 44. TRÍPODE DONDE SE INSTALARÁ BASE NIVELANTE.	55
FIGURA 45. BASE NIVELANTE.....	56
FIGURA 46. BASE NIVELANTE TRÍPODE Y GPS	56

FIGURA 47. MEDICIÓN DE ALTURA DE ANTENA.....	57
FIGURA 48. GPS ROVER.	57
FIGURA 49. DATOS DE CAMPO.....	70
FIGURA 50. SOLAPAMIENTO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL.....	71
FIGURA 51. DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA: A) “MEDIR OBJETOS POR MEDIO DE LA LUZ, B)” “MEDIR SOBRE FOTOS”.....	76
FIGURA 52. REFERENCIA DE SOCIEDAD AMERICANA DE FOTOGRAMETRÍA Y TELEDETECCIÓN (ASPRS).	77
FIGURA 53. FOTOGRAMETRÍA CON DRONES.....	77
FIGURA 54. FOTOGRAMETRIA CON DRONES.....	78
FIGURA 55. NUEVO PROYECTO EN SOFTWARE PIX4D.....	78
FIGURA 56. CONFIGURACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE NUEVO PROYECTO.	79
FIGURA 57. UBICACIÓN DEL PROYECTO.	80
FIGURA 58. AÑADIR LAS FOTOGRAFÍAS DE FORMA MANUAL.....	81
FIGURA 59. AÑADIR LA CARPETA QUE ALMACENA LAS FOTOGRAFÍAS.	81
FIGURA 60. DIRECTORIO DE FOTOGRAFÍAS.....	82

FIGURA 61. PROPIEDADES DE FOTOGRAFÍA.....	83
FIGURA 62. SISTEMA DE COORDENADAS.....	84
FIGURA 63. SELECCIÓN DE ARCHIVO LAMBERT SIRGAS-ES2007.8.....	85
FIGURA 64. SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA.....	86
FIGURA 65. PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESAMIENTO.....	87
FIGURA 66. PLAN DE VUELO.....	88
FIGURA 67. OPCIONES DE PROCESAMIENTO.....	89
FIGURA 68. INFORME DE CALIDAD.....	90
FIGURA 69. INICIO DE PROCESAMIENTO INICIAL.....	91
FIGURA 70. PUNTOS DE PASO.....	92
FIGURA 71. PUNTOS DE PASO.....	93
FIGURA 72. PUNTOS DE PASO.....	94
FIGURA 73. PUNTOS DE PASO.....	94
FIGURA 74. PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAFÍAS.....	95
FIGURA 75. PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAFÍAS.....	96

FIGURA 76. PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAFAMÉTRICOS.....	96
FIGURA 77. PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAFAMÉTRICOS.....	97
FIGURA 78. PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAFAMÉTRICOS.....	98
FIGURA 79. PROCESAMIENTO.	99
FIGURA 80. PROCESAMIENTO.	99
FIGURA 81. PROCESAMIENTO.	100
FIGURA 82. PROCESAMIENTO.	101
FIGURA 83. PROCESAMIENTO.	101
FIGURA 84. PASO 3, DSM Y ORTOMOSAICO.....	102
FIGURA 85. PASO 3, RESULTADOS ADICIONALES.	103
FIGURA 86. PROCESAMIENTO PASO 3.....	104
FIGURA 87. PESTAÑA DONDE CAMBIAR MOSAICO-DSM-MDT.	104
FIGURA 88. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS).....	105
FIGURA 89. MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT).	105
FIGURA 90. GEORREFERENCIANDO EL SOFTWARE GLOBAL MAPPER CON EL SISTEMA DE REFERENCIA LAMBERT SIRGAS ES2007.8.	106

FIGURA 91. SE VERIFICAN LOS PARÁMETROS DEL ARCHIVO Y SE ACEPTAN. DE ESTA MANERA YA SE ENCUENTRA EN COORDENADAS CONSISTENTES PARA PROCEDER A LA EXPORTACIÓN.....	106
FIGURA 92. SE SELECCIONA LA OPCIÓN PARA EXPORTACIÓN EN GLOBAL MAPPER.....	107
FIGURA 93. SE GUARDA EN UN DESTINO ESPECIFICADO, EN FORMATO JPG	107
FIGURA 94. ABRIENDO EL ENTORNO DE AUTOCAD CIVIL 3D 2021 Y SELECCIONANDO <<PLANNING AND ANALYSIS >>.....	108
FIGURA 95. SE PROCEDE A INSERTAR LA IMAGEN EN LA PESTAÑA <<INSERT >>.	108
FIGURA 96. SE SELECCIONA LA IMAGEN EXPORTADA ANTERIORMENTE POR GLOBAL MAPPER.....	109
FIGURA 97. SE APLICAN LAS COORDENADAS POR DEFECTO DE LA ORTOFOTO.....	109
FIGURA 98. SE VISUALIZA POSTERIORMENTE LA IMAGEN GEORREFERENCIADA.	110
FIGURA 99. POR ÚLTIMO, SE COMIENZA A DIBUJAR LAS POLIGONALES, DETALLES, ARBOLES, ETC, SOBRE LA ORTOFOTO. SE INSERTA UN MEMBRETE Y SU RESPECTIVO CUADRO DE RUMBOS, DISTANCIAS Y COORDENADAS CON EL USO DEL SOFTWARE CIVIL CAD 2021.....	110
FIGURA 100. REPORTE DE CALIDAD.....	111
FIGURA 101. ORTHOFOTO GENERADA CON EL SOFTWARE PIX4D.....	116

ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1. SISTEMAS GLOBALES DE REFERENCIA Y SISTEMAS LOCALES DE REFERENCIA.	8
TABLA 2. ELIPSOIDES DE REFERENCIA EN VARIOS PAÍSES.	10
TABLA 3. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT.	23
TABLA 4: CONFIGURACIÓN DE EQUIPO GPS	53

INTRODUCCIÓN

En la actualidad con la integración de los nuevos avances en el sector de la tecnología en la topografía, los trabajos que antes se realizaban empleando muchas horas y un número importante de trabajadores en campo se han reducido notablemente.

Dichos avances tecnológicos están orientados al desarrollo y adaptación de nuevos equipos y métodos de medición. Existen muchas herramientas, software, programas y equipos de alta precisión capaces de procesar gran cantidad de datos, disminuir costos de operación y, sobre todo, la calidad indiscutible de los resultados obtenidos para la planificación y ejecución de obras.

Cada técnica y aparato tiene sus limitantes en el campo, así como su uso está determinado por las condiciones físicas del terreno y las necesidades del proyecto. Dentro de los instrumentos tecnológicos más usados se tiene: estaciones totales, GPS y drones.

Las estaciones totales son aparatos capaces de almacenar en una memoria, y de forma muy precisa, datos de geoposicionamiento, distancias, ángulos y elevaciones de una enorme cantidad de puntos. Estos equipos destacan porque ahorran un tiempo significativo al topógrafo en el trabajo de campo.

Otro instrumento tecnológico indispensable para la topografía hoy día son los GPS de alta precisión. Gracias a estos aparatos es posible ubicar, localizar y marcar cualquier punto en la superficie terrestre. A través de ellos trabajos como nivelaciones, replanteos, alineaciones y levantamientos pueden realizarse de manera óptima y en tiempos considerablemente cortos.

En este trabajo final del Curso de Especialización en Tecnología GPS y Sensores Remotos Aplicados a Proyectos de Ingeniería Civil se estudia la aplicación de la fotogrametría aérea digital a través del uso de drones en el levantamiento

topográfico para la restitución fotogramétrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, específicamente el área de la bóveda en la quebrada Arenal de Mejicanos, que atraviesa el campus universitario en la parte norte.

El presente documento contiene la fundamentación teórica de los sistemas de referencia geodésico, topografía, fotogrametría con drones y tipos de modelos digitales, necesarios para la comprensión de la técnica empleada. Se elaboró una descripción detallada de la obtención de datos de campo con las técnicas GNSS, específicamente la técnica de posicionamiento RTK, de forma teórica también se abordó la planificación de un plan de vuelo y el levantamiento de vuelo fotogramétrico con dron.

Además, se describió el procesamiento de datos de campo con el software Pix4D, el cual permitió la obtención de modelos digitales de terreno (DTM), modelos digitales de elevación (DEM), y generar curvas de nivel y la orto fotografía, a través de esta última se elabora el plano topográfico.

CAPÍTULO I: “GENERALIDADES DE LA RESTITUCION FOTOGRAMETRICA”

1.1 Antecedentes

El nacimiento de la fotogrametría se remonta a 1858, cuando el coronel francés Aimé Laussedat consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía.

En sus inicios la fotogrametría era análoga (ver figura 1) donde se usaba restituidores analógicos basados en elementos mecánicos y ópticos:



Figura 1. Fotogrametría análoga. Son los modelos matemáticos utilizados, fue la primera parte de la fotogrametría en desarrollarse.

Fuente: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/libagr/index/assoc/HASH013d.dir/doc.pdf>

Posteriormente aparecen las computadoras y se sustituyen los componentes mecánicos por electrónicos y nace la fotogrametría analítica, donde se está desarrollando la fotogrametría digital mediante un software para procesamiento de imágenes, ahora en día hay varios softwares los cuales procesan imágenes y puedes crear diseño de un plan de vuelo dependiendo de las necesidades del cliente.

En El Salvador la fotogrametría con drones ha venido desde hace algunos años cobrando su auge. El hacer un modelo digital del terreno, con esta tecnología genera un valor agregado en cuanto a los detalles que con topografía tradicional no se pueden lograr, agregando actualización de las nuevas edificaciones en el

campus, el crear un plano topográfico y de exteriores de los espacios de la universidad para futuros proyectos.

1.2 Planteamiento del problema

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) representa una gran importancia porque proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo, pueden dar información precisa y concisa que se utiliza para estimar la ubicación exacta de los objetos o seres humanos; en el caso de levantamientos, lo cual es útil en el campo de ingeniería civil, y así obtener datos confiables de una manera fácil.

En el presente trabajo de graduación, es necesario la utilización de la fotogrametría (o colección de técnicas), para realizar las reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Con el objetivo principal de convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional.

A lo largo del tiempo, han recibido tremendos avances, entre otros, al uso de aviones, desarrollo de cámaras digitales y los satélites artificiales. El uso de drones ha generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos, para realizar levantamientos topográficos sin mucho tiempo invertido, obteniendo datos verídicos, con porcentajes de error bastante bajos. En el cual se observe la mayor cantidad de detalles, establecimientos, arboles, lugares, tuberías, tapaderas, etc.

Actualmente se realizan levantamiento de detalles con técnicas clásicas. Sin embargo, es de interés realizar la presente investigación con Sistemas de Referencia GPS, para ampliar los conocimientos de las nuevas tecnologías y así, conocer más y ser más eficientes al realizar los levantamientos topográficos.

Con base en este análisis se formulan las siguientes preguntas: ¿Cómo utilizar la georreferenciación para la utilización de Pix4D?

¿Cómo obtener la georreferenciación de fotografías obtenidas por medio de plan de vuelo con Dron? ¿Cómo obtener las curvas de nivel, modelo digital de terreno, modelo digital de elevación para posterior utilización en topografía, del sitio asignado? ¿Cuál es la mejor técnica de plan de vuelo para obtención de fotografías digitales? ¿Cuál es la mejor técnica para obtención de puntos de control?

1.3 Objetivos

Objetivo General:

Contribuir en la optimización y el control de la infraestructura con la realización de una restitución fotogramétrica a partir de levantamiento con drones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES).

Objetivos Específicos:

- Realizar una investigación bibliográfica acerca de las generalidades de la restitución fotogramétrica, los sistemas de referencia geodésicos: elipsoide, datum, proyecciones cartográficas, Sistema de referencia Geodésico Lambert SIRGAS-ES2007, levantamiento Geodésico con GNSS (Método Real Kinematic Time-RTK); Levantamientos topográficos: Métodos por Radiación y Métodos por Poligonación; Fotogrametría con drones; Tipos de modelos digitales (Modelos Digitales de Superficie, Modelos Digitales de Elevación y Modelos Digitales de Terreno); obtención de datos en campo y el procesamiento de datos.
- Realizar el procesamiento de 3 pasos en el software Pix4D, para la obtención de una ORTOFOTO georreferenciada con el sistema de referencia local SIRGAS ES2007.8.

- Obtener una imagen georreferenciada en formato JPG de la zona de interés, con el sistema de referencia local SIRGAS ES2007.8 obtenido a partir de un levantamiento con drones, exportada con el software Global Mapper.
- Obtener curvas de nivel de la zona de interés georreferenciadas con el sistema de referencia local SIRGAS ES2007.8 obtenido a partir de un levantamiento con drones. Así también, utilizando el software Global Mapper para exportar a formato DWG.
- Realizar un plano de detalles con el software AutoCAD CIVIL 3D, a partir de una ORTOFOTO georreferenciada generada con el software Pix4D.

1.4 Alcances

Se presentará un informe de un levantamiento fotogramétrico de un sector de la universidad de El Salvador, llamado la bóveda dando que ahí había una cárcava la cual estaba surcando el terreno de la universidad, se nos asignaron una cantidad de fotografías tomadas por un subcontrato de la UES, se realizó un levantamiento de 7 puntos de control, se adquirieron los conocimientos para el procesamiento con el software Pix4d, buscando obtener curvas de nivel, modelo digital de superficie y de terreno, se auxilió con programas de global mapper y Autocad para la vectorización de un plano topográfico en 2D de la zona. Se investigó acerca de los fundamentos de fotogrametría, para el levantamiento y el procesamiento de las imágenes.

1.5 Limitaciones

El vuelo fue realizado anteriormente al que se tomaron los puntos de control por lo cual se procedió a revisar cada fotografía capturada por el dron para ver la localización de los puntos de control fotogramétricos, al momento del levantamiento había cambios en el ambiente que limitaba el tomar puntos por su nula visibilidad en las fotografías, pero se tomaron los necesarios para realizar el trabajo.

Antes de realizar un vuelo fotogramétrico con dron se colocan lonas debidamente señaladas y que sean foto identificables para luego establecerle coordenadas planas a cada punto de esta lona que nos servirán para georreferenciar las imágenes del proyecto se tomaran ya sea con GPS método RTK o con estación total el cual no se realizó este paso y los puntos de control fueron tomados a esquinas, tapaderas de aguas negras, o puntos de reunión que se observaban con mayor claridad en la foto.

Para el procesamiento de las fotografías del vuelo se necesitó de una computadora con capacidades elevadas de memoria RAM y con procesador actualizado el cual no todos los integrantes del grupo contaban con este equipo se presentaron problemas a los compañeros que intentaron procesar la información.

El tiempo del que disponíamos para el uso del equipo GPS fue de 1 hora en el cual no contábamos con el suficiente tiempo para el levantamiento de detalles que no se logran ver en las fotografías y tampoco levantamos los linderos de la poligonal universitaria esta se obtendrá de la imagen generada en PIX4D y trazada a criterio del grupo con un aproximado según se vea la imagen.

1.6 Justificación

El objetivo del levantamiento realizado por medio de un vuelo fotogramétrico con dron es el procesamiento de las imágenes con el software PIX4D para la obtención de modelos digitales de terreno (DTM), modelos digitales de elevación así como generar el archivo de curvas de nivel y la orto foto (fotografía aérea perpendicular a la superficie) la cual nos ayudara para obtener el plano topográfico definiéndolo a partir de esta imagen perpendicular a la superficie del terreno que cuenta con una resolución excelente donde se pueden observar puntos que forman la poligonal del terreno e identificar detalles a simple vista para la elaboración de un plano topográfico con el software civil 3D.

Actualmente la Universidad de El Salvador se ha ido expandiendo en el área de la construcción y no cuenta con actualizaciones en el área de topografía que reflejen este tipo de nuevas construcciones con el objetivo de obtener un plano donde se reflejen estos cambios que se han venido dando con el transcurso del tiempo se nos planteó realizar este levantamiento fotogramétrico llevado a cabo con un dron de ala fija que nos brindara la suficiente información para el procesamiento de la información de la cual determinaremos el análisis de resultados para la elaboración de planos georreferenciados con el sistema de proyección cónico conformal de Lambert SIRGAS-ES2007 que son las coordenadas planas locales para el área de El Salvador.

CAPÍTULO II: “FUNDAMENTOS TEÓRICOS”

1.7 Sistemas de Referencia Geodésico

Sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación, es decir es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la tierra no es una esfera perfecta.

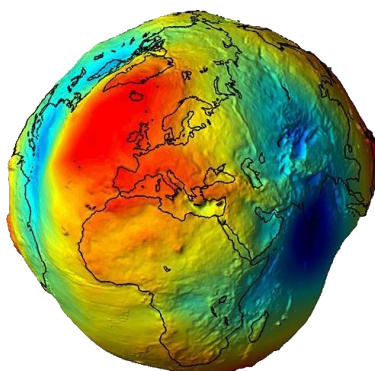


Figura 2. Verdadera forma de la tierra.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.

Dentro de estos cabe distinguir los llamados SISTEMAS LOCALES que utilizan para su definición un **elipsoide** determinado y un punto **datum** y los SISTEMAS GLOBALES cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

Tabla 1. Sistemas Globales de Referencia y Sistemas Locales de Referencia.

Sistemas Globales De Referencia	Sistemas Locales De Referencia
<ul style="list-style-type: none"> - Elipsoide (Superficie de Referencia) - Datum (Punto Fundamental) 	<ul style="list-style-type: none"> - Elipsoide (Superficie de Referencia). - Datum Horizontal (Punto Fundamental). - Datum Vertical - Proyección Cartográfica.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.

1.7.1 Elipsoide

Para hacer cálculos sencillos y aproximados, normalmente se asocia la Tierra con una esfera. Sin embargo, la forma de nuestro planeta es más compleja la Tierra está achatada por lo polos, el hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte, y tiene una cierta rugosidad debida al relieve del terreno.

Es por esto que la geodesia, que es la ciencia que tiene por objeto estudiar la forma y dimensiones de la Tierra, establece una aproximación a la forma de la Tierra, denominada elipsoide. Esto se debe a que el elipsoide es una figura matemática que responde a fórmulas analíticas, de manera que permite hacer cálculos apoyándose en él.

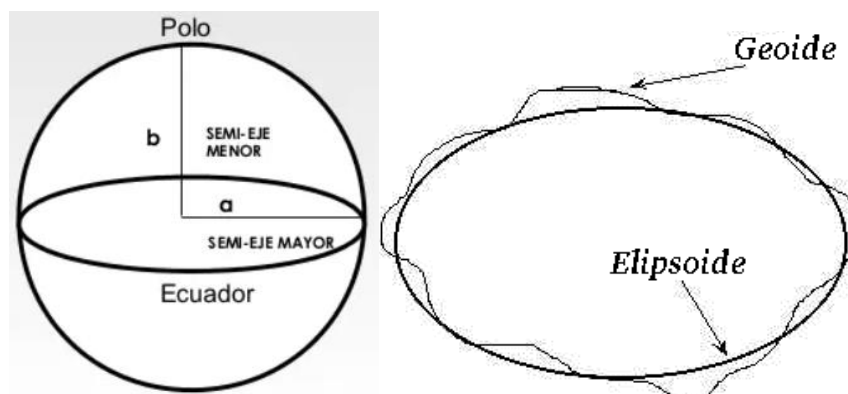


Figura 3. Forma correcta de la tierra: un geoide. Aproximación de la forma de la tierra: elipsoide de referencia.

Fuente: https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_mn.html

En general, es más práctico trabajar la forma de la Tierra como si fuera un *elipsoide*, sin considerar las ondulaciones propias de la topografía. Esto se debe a que el elipsoide es una figura matemática fácil de usar que es lo suficientemente parecida a la forma de la Tierra cuando se están trabajando las coordenadas en el plano: Latitud y Longitud.

Existen diferentes modelos de elipsoides utilizados en geodesia, denominados *elipsoides de referencia*.

Para definir un elipsoide se necesita conocer su semieje mayor (radio ecuatorial de la Tierra) y su semieje menor (radio polar de la Tierra) o el semieje mayor y su índice de achatamiento.

La superficie matemática de referencia más aproximada es el Elipsoide de Revolución que será la superficie de referencia.

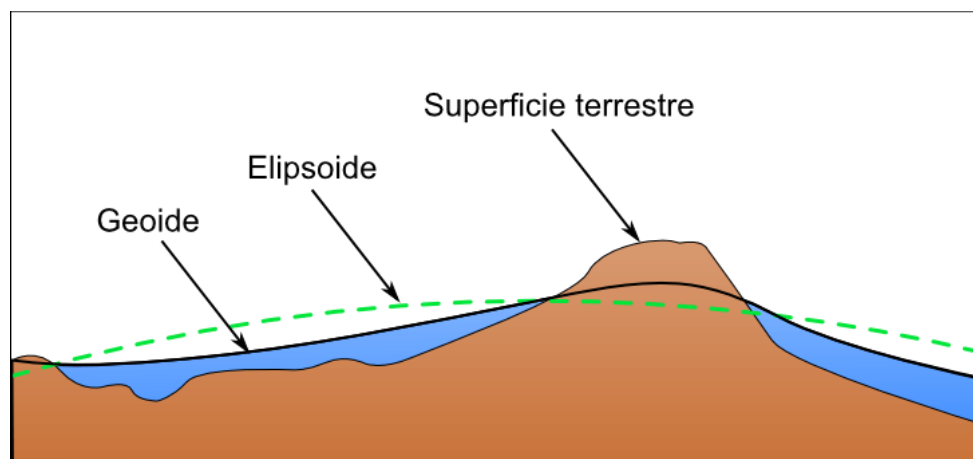


Figura 4. Representación de geoide, elipsoide y superficie de la tierra
Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.

Los parámetros necesarios para definir un elipsoide son tres:

- **Radio polar=B**
- **Radio Ecuatorial=A**
- **Achatamiento o Aplastamiento= $F=(F-A)/A$**

La siguiente tabla muestra los elipsoides de referencia utilizados en varios países:

Tabla 2. Elipsoides de referencia en varios países.

Elipse	a	f
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Fischer 1960 (Mercury)	6378166	298.3
Fischer 1968	6378150	298.3
G R S 1967	6378160	298.247167427
G R S 1975	6378140	298.257
G R S 1980	6378137	298.257222101
Hough 1956	6378270	297.0
International	6378388	297.0
<u>Krassovsky</u> 1940	6378245	298.3
South American 1969	6378160	298.25
WGS 60	6378165	298.3
WGS 66	6378145	298.25
WGS 72	6378135	298.26
WGS 84	6378137	298.257223563

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.

Para el caso de El Salvador se maneja un elipsoide de referencia global llamado "Elipsoide WGS-1984/GRS80", y un elipsoide de referencia local "CLARKE 1866", utilizado desde 1962.

A medida evoluciona la geodesia, se van dando los cambios al de mayor precisión.

GEOIDE.

No obstante, la ventaja de ser una figura matemática sencilla, el elipsoide no es adecuado cuando lo que deseamos medir son altitudes. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70.8) entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio.

El nivel medio del mar, a su vez, depende de las irregularidades en el campo gravitatorio de la Tierra, que alteran su posición. El agua de los océanos del globo busca estar en equilibrio, y por ello tiende a seguir una superficie gravitatoria equipotencial.

1.7.2 Datum

Un datum geodésico es un sistema de referencia espacial que describe la forma y el tamaño de la tierra y establece un origen para los sistemas de coordenadas. Dos tipos principales de datums son los horizontales y los verticales.

Existen 2 tipos de datums locales horizontales y los verticales.

Los puntos de referencia o **Datums horizontales** se utilizan para describir lo que típicamente pensamos que son las coordenadas X e Y.

Los **datums verticales** describen la posición en la dirección vertical (z) y a menudo se basan en la altura sobre el nivel del mar.

Datum Local horizontal. Es el Sistema Geodésico que se usa oficialmente en una región. Emplea un elipsoide determinado que pasa por un punto específico del cual se conocen con exactitud su deflexión astronómica y su gravedad, es decir un punto del elipsoide coincide con un punto de la superficie terrestre (por

ejemplo, el Datum Norteamericano de 1927 cruza la superficie terrestre en el Rancho Meades en Kansas).



*Figura 5. Meades Ranch Triangulation Station, fundamental station for the North American Datum of 1927.
Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.*

A continuación, se describe los DATUM local más relevantes:

❖ **DATUM NORTEAMERICANO DE 1927.**

North American DATUM 1927 (NAD 27 establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU) referidas el elipsoide Clarke de 1866 utilizado en la mayoría de los países de Centroamérica hasta la fecha.



Figura 6. Ubicación de Meades Ranch en Estados Unidos.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya.

El DATUM norteamericano de 1927 fue designado como base para las redes de Triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913.

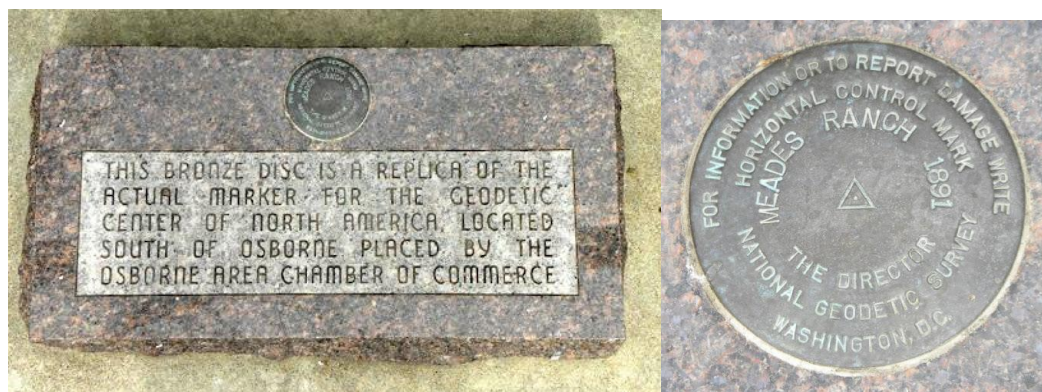


Figura 7. Centro Geodésico de Meades Ranch 1891.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente este DATUM NAD 27 asociado al Elipsoide de Clarke 1866 y toda la información Geodésica y Cartográfica antigua está referida a dicho Datum.

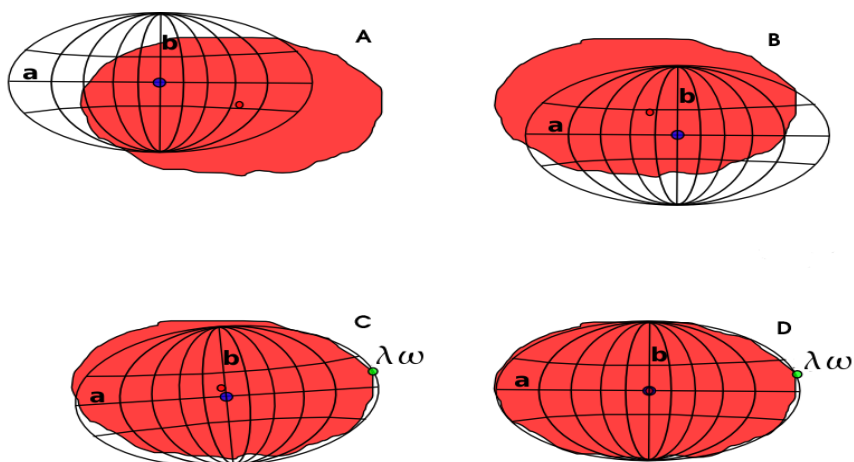


Figura 8. Parámetros que definen el datum.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya

Antiguamente en el país, la Red Geodésica estaba basada en DATUM NAD 27:

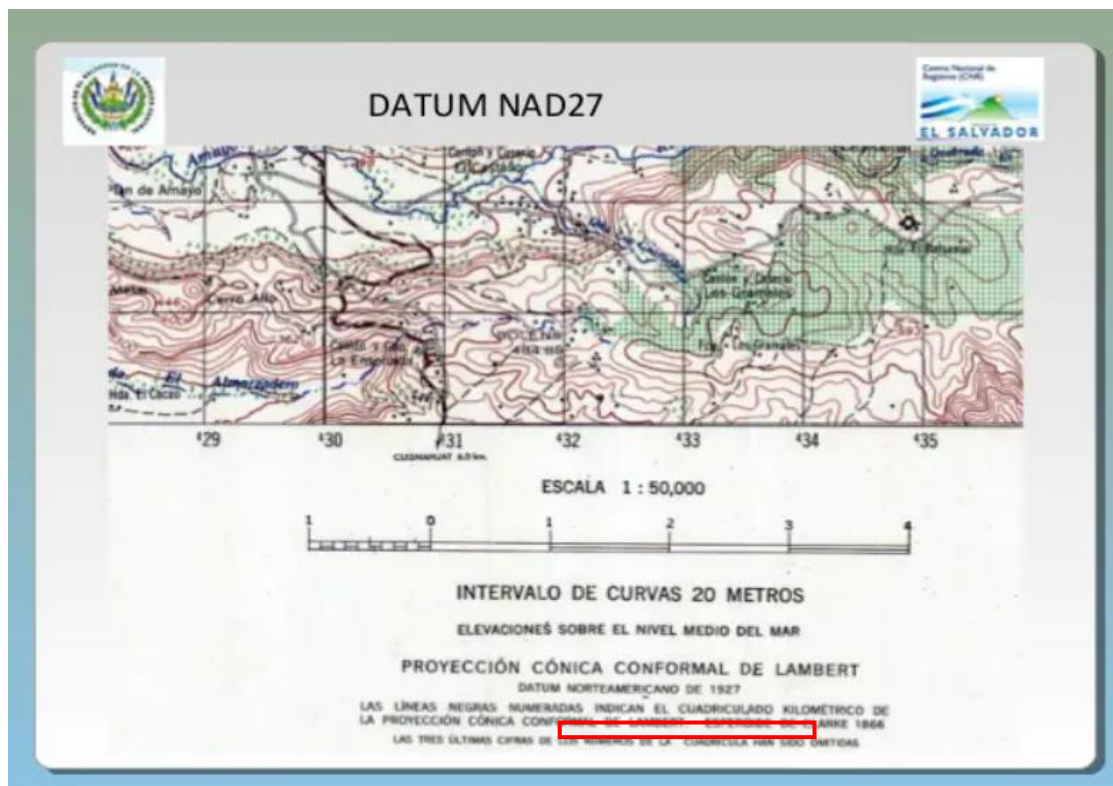


Figura 9. Mapa de El Salvador con antigua Red Geodésica basada en DATUM NAD 27.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya

Existe un gran número de Datum locales, se detallan a continuación los más empleados, su zona de aplicación, punto fundamental y Elipsoide asociado:

Datum	Area	Nombre del Punto	Latitud ω	Ξ	Longitud λ	Eta	Elipsoide
Norte América 1927	Norte América	Meades Ranch	39 13 26.686 N	-1.32	98 32 30.506 W	1.93	Clarke 1866
Old Hawaiian	Hawaii	Oahu West Base Astro	21 18 13.89 N	0.00	157 50 55.79 W	0.00	Clarke 1866
Qomog	Greenland	Station 7008	64 31 06.27 N	0.00	51 12 24.86 W	0.00	Internacional
Hjorsey 1955	Iceland	Hjorsey	64 31 29.260 N	0.00	22 22 05.840 W	0.00	Internacional
Provisional South American 1956	Venezuela, Ecuador, Peru, Bolivia, Chile	La Canea	08 34 17.17 N	2.42	63 51 34.88 W	-0.55	Internacional
Corrego Alegre	Brazil	Corrego Alegre	19 50 15.14 S	0.00	48 57 42.75 W	0.00	Internacional
Chua Astro	Paraguay	Chua Astro	19 45 41.16 S	0.00	48 06 07.56 W	0.00	Internacional
Campo Inchauspe	Argentina	Campo Inchauspe	35 58 16.56 S	0.00	62 10 12.03 W	0.00	Internacional
Yacare	Uruguay	Yacare	30 35 53.68 S	0.00	57 25 01.30 W	0.00	Internacional
European 50	Europe	Potsdam, Helmertium	52 22 51.446 N	3.36	13 03 58.741 E	1.78	Internacional
Ordnance Survey of Great Britain 1936	Great Britain: Northern Ireland	Royal Greenwich Observatory, Herstmonceux	50 51 55.271 N	-1.14	00 20 45.882 E	-2.2	Airy
Ireland 1965	Ireland	Royal Greenwich, Herstmonceux	50 51 55.271 N	-1.14	00 20 45.882 E	-2.2	Modified Airy
Merchich	Morocco	Merchich	33 26 59.672 N	0.00	07 33 27.295 W	0.00	Clarke 1880
Voirol	Algeria	Voirol Observatory	36 45 07.9 N	0.00	03 02 49.45 E	0.00	Clarke 1880

Figura 10. Mapa de El Salvador con antigua Red Geodésica basada en DATUM NAD 27.

Fuente: Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil. Ingeniero Wilfredo Amaya

❖ DATUM GEODÉSICO GLOBAL O GEOCÉNTRICO.

Un DATUM geodésico mundial está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de la Tierra.

El DATUM Global es el WGS 1984 y es Geocéntrico, es decir su origen es el Centro de Masa de la tierra.



Figura 11. DATUM Global o Geocéntrico, ubicado en el centro de la tierra.

Fuente: https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_mn.html

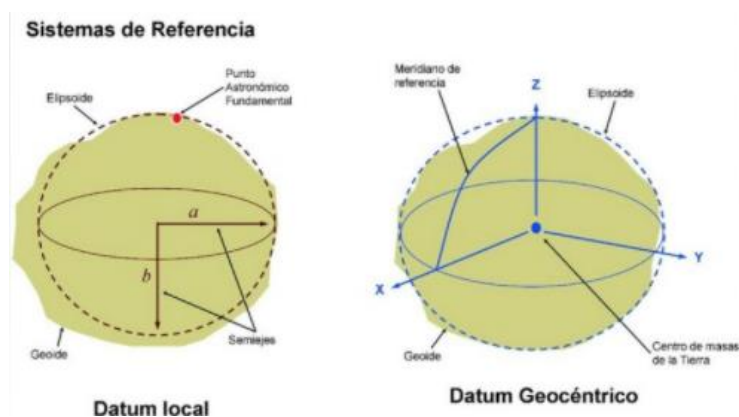


Figura 12. Comparación entre Datum local y Datum global.

Fuente: https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_mn.html

1.7.3 Proyecciones Cartográficas

Según el Manual de Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Digital (USA,2000) se le denomina proyección cartográfica al procedimiento matemático por el cual las coordenadas esféricas de latitud y longitud se convierten en planas. Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Usery (s.f.) la transformación de una superficie curva a un plano se conoce como proyección cartográfica y puede asumir gran

variedad de formas; todas ellas implican de una manera u otra distorsión de áreas, ángulos, y/o distancias.

En resumen, el concepto de una proyección cartográfica es el proceso matemático mediante fórmulas de proyección, la cual permite representar la superficie esférica de la tierra en un plano bidimensional, en este procedimiento se convierten las coordenadas geográficas (latitud & longitud) en coordenadas cartesianas (x & y).

Las proyecciones cartográficas principales son: cilíndricas, cónicas y planas o azimutales (Ver Figura 13).

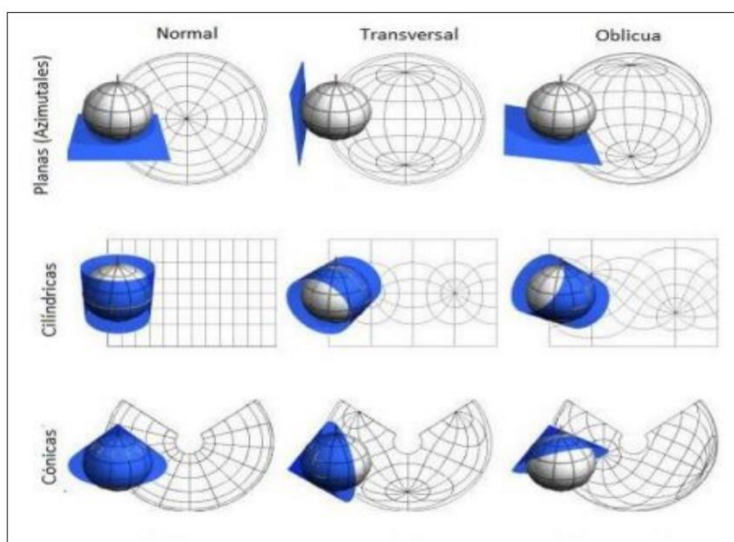


Figura 13. Representación de proyecciones cartográficas principales.

Fuente: (http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_02/Proyecciones_02.html).

❖ PROYECCIONES CILÍNDRICAS.

Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Usery (s.f.) las proyecciones cilíndricas son aquellas que proporcionan la apariencia de un rectángulo. El rectángulo puede ser visto como una superficie cilíndrica desenrollada, que puede volverse a enrollar en un cilindro. Aunque esas proyecciones realmente se crean matemáticamente y no desde un cilindro, el punto de final puede sugerir una construcción cilíndrica. Una proyección cilíndrica puede tener una o dos líneas sin distorsión de escala. Ejemplos clásicos de proyecciones cilíndricas incluyen

la proyección conforme de Mercator y la proyección equivalente de Lambert (Ver figura 13).

Las proyecciones cilíndricas se utilizan a menudo para mapamundis con la latitud limitada a un rango razonable de grados al sur y al norte, para evitar la gran distorsión de las zonas polares. La proyección normal de Mercator se utiliza para las cartas náuticas de todo el mundo, mientras que su punto de vista transversal se utiliza normalmente para mapas topográficos y es la proyección utilizada para el sistema de coordenadas UTM.

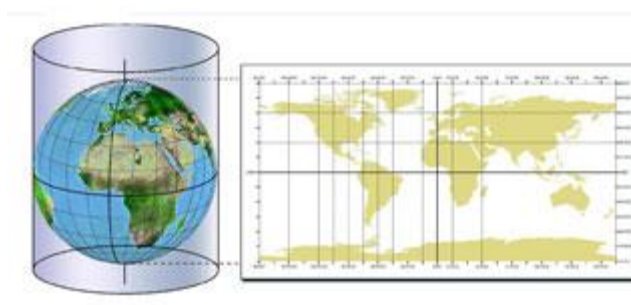


Figura 14. Vista proyección cilíndricas.

Fuente: (<http://www.gisandbeers.com/tag/proyeccion-cilindrica/>).

❖ PROYECCIONES CÓNICAS.

Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Uery (s.f.) las proyecciones cónicas tienen el punto de vista desenrollada de un cono, que puede ser enrollada a su vez en un cono. Estas proyecciones se crean generalmente de forma matemática y no por proyección sobre una superficie cónica. Puede haber una sola línea o dos líneas como líneas sin ninguna distorsión de escala.

Ejemplos clásicos de proyecciones cónicas son la proyección cónica conforme de Lambert y la equivalente de Albers. Las proyecciones cónicas resultan inapropiadas para los mapas que abarcan toda la Tierra y dan mejor resultado en zonas con un mayor eje longitudinal en la dirección Este-Oeste. Eso las hace ideales para las representaciones de las masas de tierra en el hemisferio Norte, como los Estados Unidos de América, Europa o Rusia.

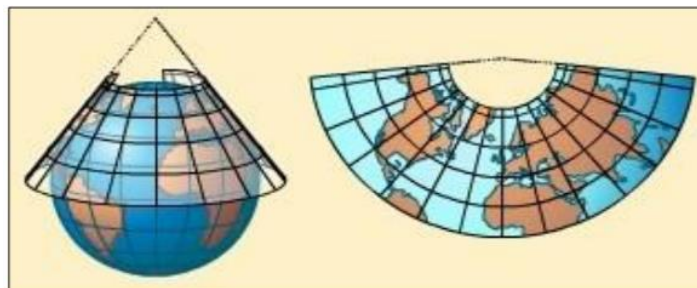


Figura 15. Vista proyección cónica.

Fuente: (<http://espasa.planetasaber.com/AulaSaber/>).

❖ PROYECCIONES PLANAS O AZIMUTALES.

Se obtienen proyectando la superficie terrestre desde un punto llamado vértice de proyección, sobre un plano tangente a un punto de la Tierra llamado centro de proyección. La proyección mantiene sus propiedades geométricas alrededor del centro de proyección y las distorsiones aumentan conforme nos alejamos de dicho punto (Ver Figura 16).

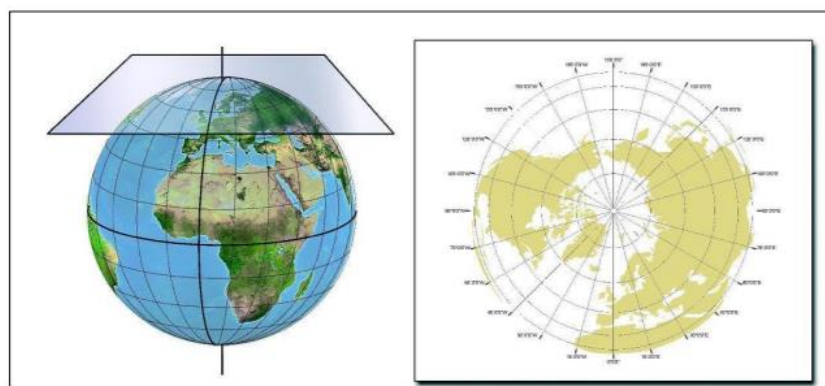


Figura 16. Representación de Proyección Plana.

Fuente: (<http://www.gisandbeers.com/entendiendo-las-proyecciones-en-sig/>).

❖ SISTEMA UTM.

Según el Sistema de Coordenadas UTM (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.) el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) es un sistema de proyección cartográfico basado en cuadrículas con el cual se puede referenciar puntos sobre la superficie terrestre. Fue creado por el ejército de los

E.E.U.U. en 1947 y está basado en un modelo elipsoidal de la Tierra. Su unidad de medida básica es el metro.

Se divide el elipsoide terrestre en 60 husos o zonas de longitud, utilizando cada uno su meridiano central y el Ecuador como ejes de referencia. El trazado de las cuadrículas se realiza en base a estos usos y a zonas UTM, y es válido en una gran parte de la superficie total de la Tierra, pero no en toda. Concretamente, la zona de proyección UTM se define entre los paralelos 80° S y 84° N, mientras que el resto de las zonas de la Tierra -las zonas polares- utilizan el sistema de coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic).

Por tanto, en el sistema UTM la Tierra se divide en 60 husos o zonas de 6° de longitud que complementan sus 360°. Cada huso o zona se numera con un número entre el 1 y el 60, siendo el huso o zona 1 el limitado entre las longitudes 180° y 174° Oeste, con referencia en Greenwich y centrado en el meridiano 177° Oeste. Los husos se numeran en orden ascendente hacia el Este (Ver Figura 17).

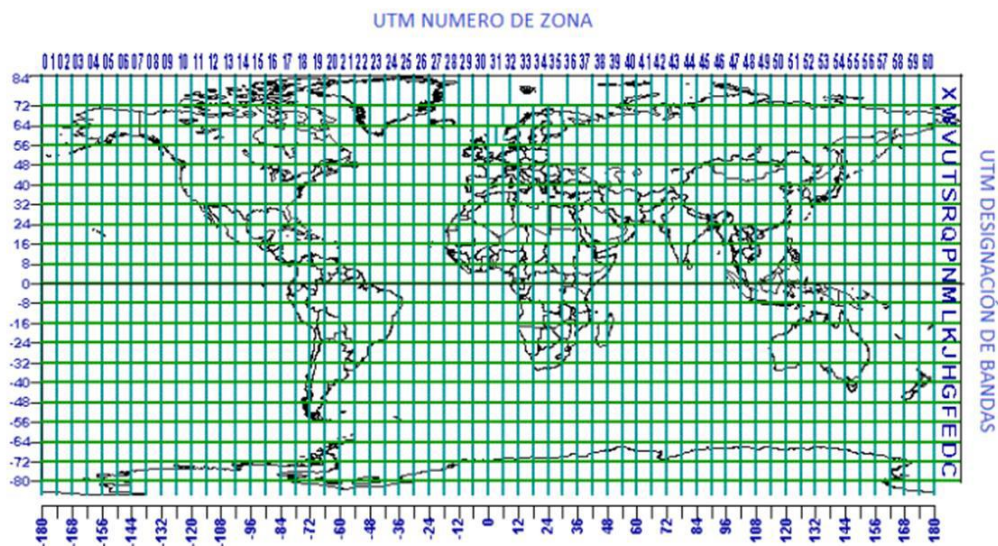


Figura 17. Modelo de Sistema Universal Transversal Mercator (UTM).

Fuente: (<https://dibujotecnicoudo.es.tl/TEMA-6%2C7-Y-8.htm>).

En cuanto, a las bandas de latitud, la Tierra se divide en 20 bandas de 8° grados de latitud, excepto la X que mide 12° grados de latitud; son denominadas mediante letras desde la “C” hasta la “X” inclusive (exclusión hecha de la CH, I y

LL para evitar confusiones, y de la A, B, Y y Z que se reservan para las zonas polares). Como consecuencia de la esfericidad de la Tierra, las zonas se estrechan y sus áreas son menores conforme nos acercamos a los polos.

Para cada huso o zona, la anchura máxima se encuentra en el ecuador y es aproximadamente de 668 Km ($6^\circ \times 111 \text{ km/grado}$). La línea central de cada zona coincide con un meridiano del sistema geodésico tradicional, que se denomina Meridiano Central. (Ver figura 18)

El origen de las coordenadas UTM en cada huso o zona es el punto de intersección entre su meridiano central y el ecuador. Este origen de coordenadas es de 0 km en el hemisferio norte y de 10,000 km en el hemisferio sur. Conforme nos desplazamos desde el ecuador hacia el norte, los valores de latitud aumentan (de 0 a 10,000 km), mientras que cuando nos desplazamos desde el ecuador hacia el sur, los valores de latitud disminuyen (de 10,000 a 0 km).

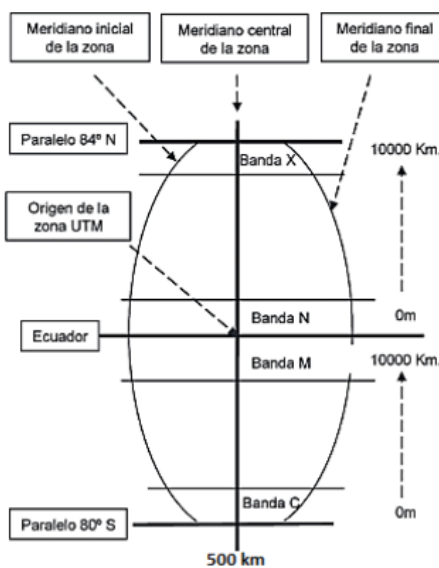


Figura 18. Vista configuración de una zona UTM.

Fuente: (<https://eva.udelar.edu.uy/>).

❖ PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT.

Proyección construida a partir de un cono: los meridianos se juntan en un punto y los paralelos son curvos.

La proyección conforme cónica de Lambert, o, más sencillamente, proyección de Lambert es una de las proyecciones cartográficas presentadas por el matemático, físico, filósofo y astrónomo francés Johann Heinrich Lambert en 1772.

En esencia, la proyección superpone un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Esto minimiza la distorsión proveniente proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos. Como el nombre lo indica, esta proyección es conforme.

El concepto básico de la Proyección Cónica Conforme Lambert consta de un cono tangente al esferoide a lo largo del paralelo de latitud escogido para el origen. Para mejorar las características de escala en la cuadrícula es ventajoso reducir el cono tangente a un cono secante que corta el esferoide en dos paralelos de latitud, los que se llaman los paralelos normales.

Estos se escogen para equilibrar aproximadamente el error de escala en latitud de origen con respecto al error de escala en las latitudes de los límites del norte y del sur de la zona.

Tabla 3. Proyección Cónica Conformal de Lambert.

Proyección	Lambert NAD27 3 Parámetros ES
Coordenadas de entrada	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a NAD27
Elipsoide	Clark 1866
Semieje mayor	a = 6 378 206,4 m
Semieje menor	b = 6 356 583,8 m
Achatamiento	1/f = 294,978 698 21390
Excentricidad	e ² = 0,006 768 657 997 291
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	13° 47' N (valor en NAD27)
Meridiano de origen	89° 00' W (valor en NAD27)
1. paralelo estándar	13° 19' N (valor en NAD27)
2. paralelo estándar	14° 15' N (valor en NAD27)
Factor de escala en el meridiano origen:	0,999 96704
Resultados	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 3 Parámetros ES

Fuente: (Presentación_Sistema_Geodesico_de_Referencia_Sirgas-es2007_CNR)

PARAMETROS DE TRANSFORMACION
Tx=0, Ty=105.5, Tz=197.2

Fuente: (Presentación_Sistema_Geodesico_de_Referencia_Sirgas-es2007_CNR)

1.7.4 Sistema de Referencia Geodésico Lambert SIRGAS-ES2007

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS): Sistema de Referencia Regional, densificación del IITRF, inicialmente establecido para América del Sur y luego extendido del Caribe, Norte y Centro América, en el año 2000. Actualmente tiene un promedio de 200 estaciones de operación continua. Y su Datum (WGS 1984).

SIRGAS como sistema de referencia se define como idéntico al Sistema Internacional de Referencia (ITRS).

SIRGAS como marco de referencia es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRS).



Figura 19. SIRGAS, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.

Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Martinez_et_al_SIRGAS_UNOOSA-Praga_Sept_2010.pdf

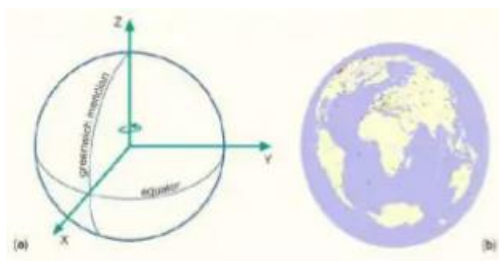


Figura 20. a) The international Terrestrial System (ITRS), b) The international Terrestrial Reference Frame (ITRF) visualized as a distributed set of ground control stations (represented by red points).

Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Martinez_et_al_SIRGAS_UNOOSA-Praga_Sept_2010.pdf

Se muestran en la siguiente figura, las estaciones SIRGAS-CON incluidas en el procesamiento de la RED GEODÉSICA BÁSICA NACIONAL DE EL SALVADOR (RGNB-ES2007).



Figura 21. Integración de la Red Geodésica de El Salvador a la Red Sirgas. Las estaciones GOLD, PIE.

Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf

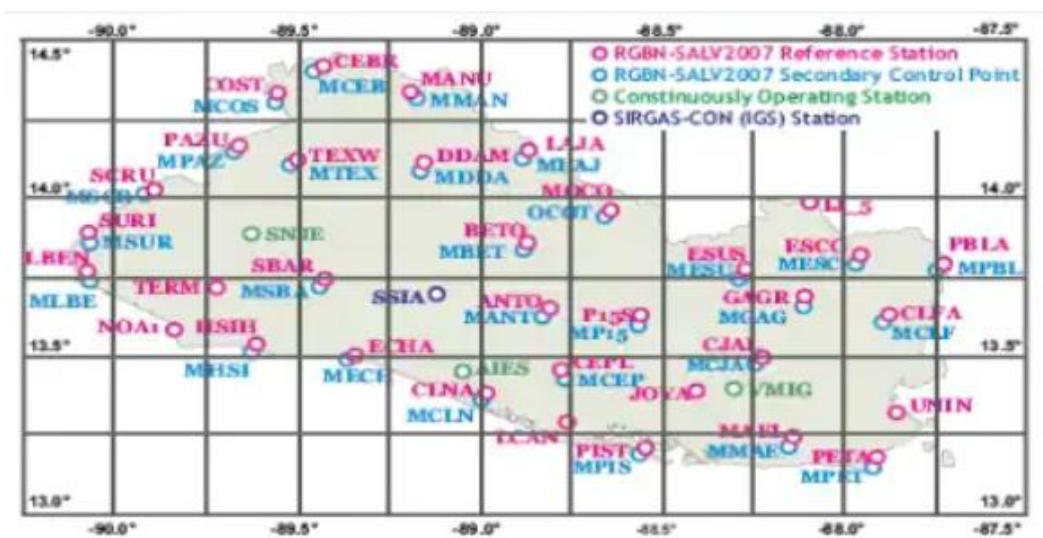


Figura 22. Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador, SIRGAS ES2007.8

Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf

Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud (φ) y longitud (λ) referidas a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a = 6 378 137 m
Semieje menor	b = 6 356 752.31414 m
Achatamiento	1/f = 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500000.00 m
Falso Norte	295809.184 m
Paralelo de origen	<u>13° 47' 03.477624"N (valor en SIRGAS)</u>
Meridiano de origen	<u>88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS)</u>
1. paralelo estándar	<u>13° 19' 03.477624"N (valor en SIRGAS)</u>
2. paralelo estándar	<u>14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Factor de escala en el meridiano origen:	0.999 96704

Figura 23. Parámetros de la Proyección Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007.8.

Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf

1.7.5 Levantamientos Geodésicos con GNSS

Se define por sus siglas GNSS: Global Navigation Satellite Systems o Sistemas de Navegación Global por Satélite.

Sistema que combina la recepción de todas las constelaciones de satélites de navegación disponibles, tanto civiles como militares: GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir, el conjunto de sistemas capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal.

1.7.5.1 Método Real Kinematic Time (RTK)

Después de la década de los 90, el Sistema Global de Navegación por satélite/Sistema de Posicionamiento Global (GNSS/GPS, en inglés), basado en tecnología de Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real (RTK, del inglés Real Time Kinematic) se convirtió en la técnica preferida en el mundo y que todavía se utiliza en varias aplicaciones como el monitoreo, sistemas de alerta temprana y mapeo e ingeniería de aplicativos. Para finales de 2008, los aplicativos de ingeniería utilizan la red de Estaciones de Referencia de Funcionamiento

Continuo (CORS-TR, un proyecto establecido en Turquía) para determinar posiciones en tres dimensiones a lo largo del territorio turco. Por otro lado, las estaciones RTK de una sola base han funcionado en Turquía. La YLDZ es una estación de este tipo que fue establecida en la Universidad Técnica de Yildiz por el departamento de Ingeniería Geomática en 2012. En este trabajo se examina el desempeño de la estación YLDZ a través de la medición de cinco puntos de referencia del Sistema de Triangulación GPS de Estambul (IGNA, en inglés) con cinco mediciones repetitivas a más de 50 km de la estación. Similares medidas RTK se hicieron con la red CORS-TR y se compararon los resultados. Las dos mediciones producidas por las soluciones RTK se compararon con los puntos de coordenadas IGNA. También se determinó la geometría satelital, el tiempo de inicialización y la desviación estándar de la repetibilidad. Las diferencias entre las coordenadas medidas y las coordenadas conocidas se calcularon en un rango de 1-2 centímetros horizontalmente y cerca de 3 centímetros verticalmente para la estación YLDZ con el método RTK.

Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica ($1 \text{ ó } 2 \text{ cm} + 1\text{ppm}$). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o "rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER. Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente.

El procedimiento para efectuar el levantamiento con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para medición estática, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones por radiofrecuencia.

Se estaciona el equipo fijo (base) en la estación de referencia y se introducen las coordenadas de esta. El receptor enviará las correcciones al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción, quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

Las coordenadas de los puntos se obtienen en el sistema de referencia WGS84. La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM o cualquier otro sistema. También podrían obtenerse en sistemas de referencia locales. En El Salvador se debe configurar los equipos GPS introduciéndoles el sistema de proyección cartográfico denominado “Cónico Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007” para obtener directamente las coordenadas proyectadas, es decir, las coordenadas planas (x, y).



Figura 24. Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK.

Fuente: *Manual de Operación de Equipo GPS Carlson*. Ingeniero Wilfredo Amaya.

Algunos criterios a considerar para ejecución de uso de la técnica RTK:

- Distancia entre equipos receptores GPS: La longitud de las líneas bases no debe exceder de 10 km, dependiendo de la potencia o alcance del radio.
- Tiempo de medición: De 1 a 5 segundos cuando la señal de radio frecuencia entre el receptor móvil y el fijo se transmita sin interferencias.
- Precisión: 1 a 2 cm + 2 ppm
- Parámetros por considerar en esta técnica de medición:
 - ✓ Intervalo de Grabación: 1 Seg.
 - ✓ Máscara: 10°
 - ✓ Mínimo de Satélites: 4
 - ✓ Tiempo mínimo de Observación: de 1 a 5 seg.

1.8 Topografía

DEFINICION DE TOPOGRAFIA

La topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los

puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.

La topografía es la técnica que permite medir directa o indirectamente la representación gráfica del terreno. Se trata del punto de partida de proyectos que requieren información sobre la dimensión, posición o forma del terreno sobre el que se va a realizar la obra.

La topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Sin su conocimiento no podría el ingeniero o arquitecto realizar sus proyectos. Sin un buen plano topográfico no es posible proyectar debidamente un edificio o trazar un fraccionamiento, ya que en principio la topografía ayuda a determinar los linderos de propiedad con sus divisiones interiores, la localización de vialidades y servicios municipales; la configuración del relieve del terreno con sus montes, valles, barrancos, bosques, pantanos, etc. y en general del conocimiento de todas aquellas particularidades del terreno necesarias para la implantación de un proyecto en el sitio designado.

OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFIA

Las actividades fundamentales de la topografía son el levantamiento y el trazo. El levantamiento comprende las operaciones necesarias para la obtención de datos de campo útiles para poder representar un terreno por medio de su figura semejante en un plano; el trazo o replanteo es el procedimiento operacional por medio del cual se establecen en el terreno las condiciones establecidas o proyectadas en un plano. En el ejercicio de la topografía, esta se relaciona con distintas disciplinas.

IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFIA

La topografía es una de las disciplinas que mantiene una relación estrecha con campos como la ingeniería civil y la arquitectura. Y es que, para poder llevar a

cabo cualquier tipo de obra, es fundamental que los topógrafos realicen un estudio previo que sirva para determinar todas aquellas características relevantes del terreno donde se va a desempeñar la actividad constructiva.

Todas aquellas mediciones, cálculos y datos recolectados por el topógrafo son de carácter esencial para la generación de planos que representen gráficamente todo lo que existe dentro de un polígono o área de la superficie terrestre. Desde la construcción de una casa, edificio, centro comercial, hasta una carretera, una represa o un puente requieren de la participación de un topógrafo cualificado que monitoree y controle la ejecución del proyecto.

Para un Ingeniero, aun cuando nunca practique la topografía, le puede ayudar a:

- ✓ Pensar de forma lógica, planear un trabajo cuidadoso, preciso y registrarlo de forma limpia y ordenada.
- ✓ Aprender sobre la importancia relativa de las mediciones.
- ✓ Desarrollar un sentido de la proporción (¿qué es importante y qué no?).
- ✓ Adquirir el hábito de revisar los cálculos numéricos y las mediciones.
- ✓ También se puede encontrar el Ingeniero en una posición en la que debe tomar decisiones referentes a la contratación de servicios topográficos. Sin un entendimiento básico del tema no será capaz de manejar la situación.

ETAPAS DEL PROCESO TOPOGRAFICO

1. Trabajo de Campo
2. Trabajo de Gabinete u Oficina (Cálculo y Procesamiento de Datos y Dibujo o Representación a Escala)

El trabajo de campo debe quedar registrado en notas que contienen mediciones, croquis, descripciones, observaciones y otra información variada. Ese registro

puede ser llevado a mano en libretas, mediante recolectores electrónicos o con una Combinación de estos métodos.

Sin importar la manera como se tomen, los datos de campo son los únicos registros permanentes del trabajo y la base para el trabajo de oficina, por lo tanto, deben estar completos, correctos y ser claros; de lo contrario, se perderán todo el tiempo y dinero invertidos.

Las notas manuscritas deben tener las siguientes características:

- ✓ Exactitud
- ✓ Integridad: Que las notas estén completas y no hayan sido alteradas.
- ✓ Legibilidad: Usualmente quien lleva los apuntes no es el mismo que los va a usar en la oficina.
- ✓ Adecuación
- ✓ Claridad: El papel es relativamente barato y no vale la pena amontonar las notas.

DEFINICION DE TERMINOS AZIMUT Y RUMBO

El azimut es el ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj a partir de un meridiano de referencia. Lo más usual es medir el azimut desde el Norte (sea verdadero, magnético o arbitrario). Los azimuts varían desde 0° hasta 360° y no se requiere indicar el cuadrante que ocupa la línea observada.



Figura 25. Azimut.

Fuente: <https://doblevia.wordpress.com/2007/07/25/direccion-de-una-linea-rumbo-y-azimut/>

El rumbo es el ángulo horizontal agudo ($<90^\circ$) que forma con un meridiano de referencia, generalmente se toma como tal una línea Norte-Sur que puede estar definida por el N geográfico o el N magnético.

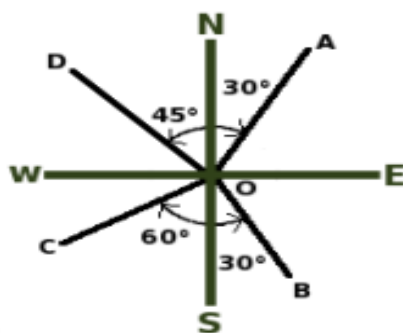


Figura 26. Rumbo

Fuente: <https://doblevia.wordpress.com/2007/07/25/direccion-de-una-linea-rumbo-y-azimut/>

Tipos de instrumentos básicos de la topografía.



Figura 27. brújula, estadía, nivel, estación total, trípode, GPS.

Fuente: <https://ingenieria19civil19confrank.blogspot.com/2018/07/fases-de-un-levantamiento-topografico.html>

1.8.1 Levantamientos Topográficos

El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, los cálculos correspondientes y la representación en un plano (trabajo de campo + trabajo de oficina) es lo que comúnmente se llama “Levantamiento Topográfico”.

La preparación de un levantamiento topográfico también depende de cuál es el objetivo.

- ✓ En primer lugar, se procede a un estudio de reconocimiento preliminar. Se pueden usar métodos rápidos sin preocuparse mucho por lograr una gran precisión.
- ✓ A partir de los resultados del primer levantamiento, se prepara y se llevan a cabo levantamientos más detallados y precisos como aquellos que

tienen como objetivo la localización del proyecto y, como paso final, el levantamiento de las instalaciones y construcciones.

La mayor parte de los levantamientos de la topografía se realizan mediante la topografía plana y tienen por fin el cálculo de la superficie o áreas, volúmenes, distancias, direcciones y la representación de las medidas tomadas en el campo, en los planos topográficos correspondientes.

Estos planos se utilizan como base para la mayoría de los trabajos y proyectos de ingeniería relacionados con la planeación y construcción de obras civiles. Por ejemplo, se requieren levantamientos topográficos antes, durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, sistemas de transporte masivo, edificios, puentes, túneles, canales, obras de irrigación, represas, sistemas de drenaje, fraccionamiento o división de terrenos urbanos y rurales (particiones), sistemas de aprovisionamiento de agua potable (acueductos), eliminación de aguas negras (alcantarillados), oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, control de la aerofotografía, determinación de límites de terrenos de propiedad privada y pública (linderos y medianías) y muchas otras actividades relacionadas con geología, arquitectura del paisaje, arqueología, etc.

Levantamientos geodésicos:

Son aquellos que tienen en cuenta la curvatura de la tierra, y pueden ser realizados tanto en pequeñas como en grandes áreas.

Las medidas que se toman en geodesia pueden utilizar los mismos métodos e instrumentos que en la topografía plana, sin embargo, en los últimos años ha resultado más práctica y económica hacerlas mediante GPS.

Tipos de levantamientos topográficos

En función de sus necesidades particulares, podrá requerir los servicios de nuestro estudio topográfico para obtener:

Levantamientos catastrales:

Consiste en medir ya sea de forma directa o indirecta la cantidad de distancias y ángulos necesarios para describir la forma del predio y determinar ya sea gráfica o analíticamente la superficie de este.

Este tipo de levantamiento se utiliza para conseguir una medición de los límites del terreno para su utilización catastral.

Métodos planimétricos:

En el caso de terrenos planos, suele realizarse el levantamiento planimétrico a partir de un proceso de levantamiento de poligonales, resultando en un plano horizontal.

Métodos altimétricos:

Al igual que existe el levantamiento planimétrico que comentábamos anteriormente, en el levantamiento altimétrico se realizan las mediciones oportunas para poder realizar la comparación de la altura del terreno con el plano horizontal de partida

Métodos planialtimétricos:

Este supone el estudio completo de la morfología del terreno, tanto en plano horizontal como vertical, obteniendo como resultado una completa descripción topográfica del mismo

Los levantamientos planialtimétricos tienen por objetivo determinar las tres coordenadas de puntos en el espacio, en forma simultánea. Integra los métodos planimétricos y altimétricos. El resultado final es un plano acotado o plano topográfico. Las alturas se representan mediante las curvas de nivel.

El método de levantamiento planialtimétrico expeditivo se denomina taquimetría. Constituyen el conjunto de operaciones que permiten obtener las coordenadas de puntos característicos del terreno para la representación del relieve a escala y con la precisión adecuada.

Unidades de medida

✓ Unidades de longitud.

La unidad fundamental es el metro, por lo que todas las dimensiones, coordenadas y niveles se expresan en esa unidad, a menos que por alguna practica en contrario se tenga que recurrir a otras unidades.

✓ Unidades de superficie.

Se emplea como unidad de medida el metro cuadrado (m²); para propósitos de deslinde de terrenos, se emplean también las siguientes unidades agrarias:

Centiárea = 1 m²

Área = 100 m²

Hectárea = 10,000 m²

Miliárea = 1'000,000 m²

Km² = 1'000,000 m²

✓ Unidades angulares.

La unidad de medida es el grado sexagesimal, la relación con otros sistemas de unidades es la siguiente:

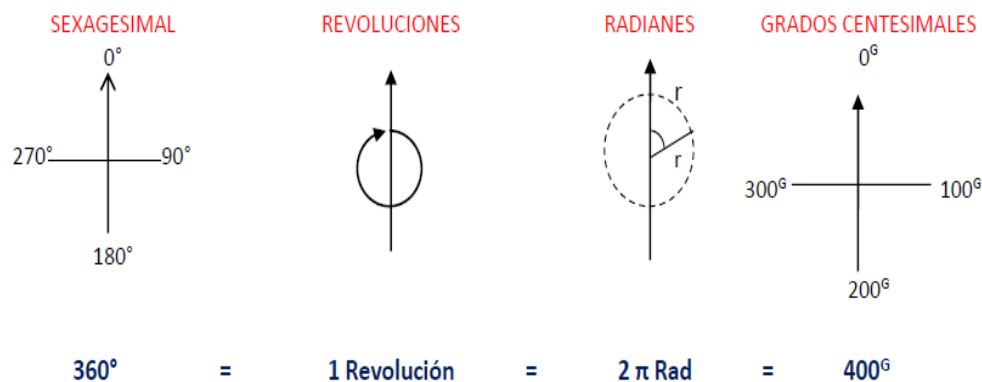


Figura 28. Unidades de medida sexagesimal, revoluciones, radianes, grados centesimales.

Fuente: topografía moderna con estación total y colector tds recon survey pro. Ingeniero Wilfredo Amaya.

1.8.1.1 Método por Radiación

Es el sistema más simple para medir un terreno, se emplea este método cuando el área del terreno es relativamente pequeña, cumple las condiciones de ínter visibilidad y el punto de radiación está ubicado aproximadamente equidistante de los vértices del polígono que determina el área de un terreno.

Consiste en colocar un punto más o menos al centro del terreno, desde el cual se pueda visualizar los mojones o vértices del polígono de lindero y algunos detalles importantes, luego localizarlos por radiación, midiendo los azimutes en base a un punto de coordenadas o eligiendo un punto de salida o el norte magnético.

El levantamiento por radiación es un método topográfico que permite determinar coordenadas desde un punto fijo llamado polo de radiación, con una serie de puntos distribuidos, se estaciona el teodolito en un punto O, desde el cual se divisen las direcciones a cada punto, tomando nota de las lecturas acimutales y de las distancias a los puntos.

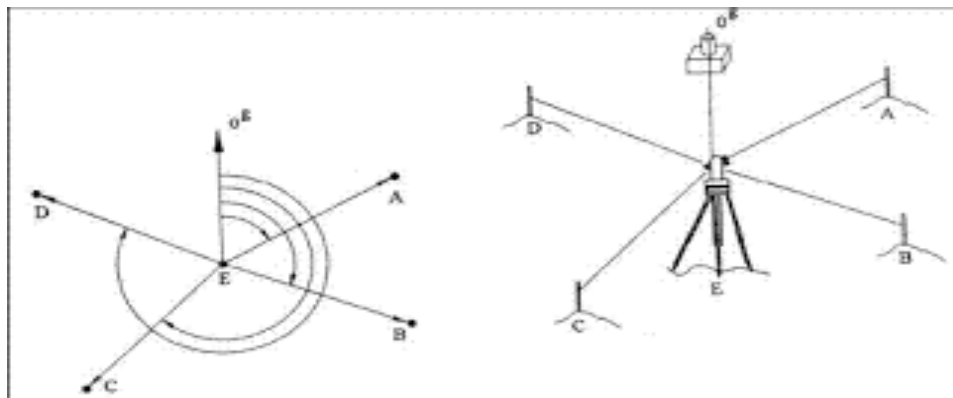


Figura 29. Punto E y oE tienen coordenadas conocidas

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos107/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel>

1.8.1.2 Método por Poligonación

En forma general, las poligonales pueden ser clasificadas en: Poligonales cerradas (figura 30.a), en las cuales el punto de inicio es el mismo punto de cierre, proporcionando por lo tanto control de cierre angular y lineal.

Poligonales abiertas o de enlace con control de cierre (figura 30.b), en las que se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final, y la orientación de las alineaciones inicial y final, siendo también posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.

Poligonales abiertas sin control (figura 30.c), en las cuales no es posible establecer los controles de cierre, ya que no se conocen las coordenadas del punto inicial y/o final, o no se conoce la orientación de la alineación inicial y/o final.

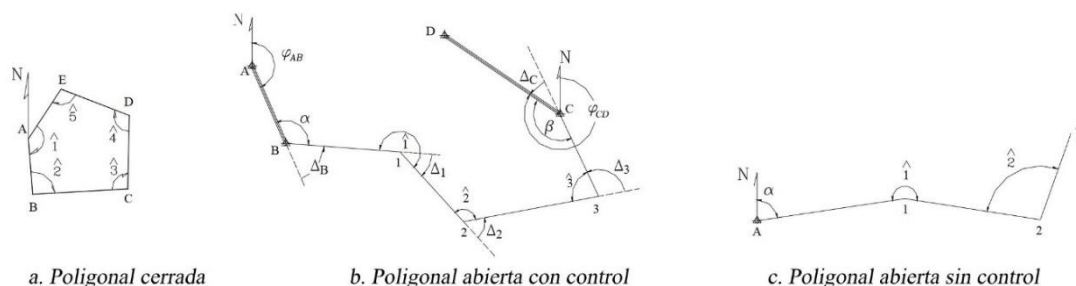


Figura 30. Diferentes tipos de poligonales.

Fuente: capítulo 5 procedimientos topograficos. Leonardo Casanova M.

Levantamiento por poligonación

consiste en el levantamiento de una poligonal. Una poligonal es una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones de la poligonal) y lados que unen dichos vértices. Los vértices adyacentes deben ser Inter visibles. El levantamiento de la poligonal comprende la medición de los ángulos que forman las direcciones de los lados adyacentes (o los rumbos de estos lados) y las distancias entre los vértices. Las líneas regresan al punto de partida, formando así un polígono geométrica y analíticamente cerrado.

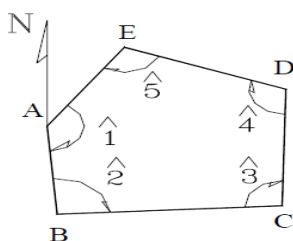


Figura 31. Poligonal cerrada N y A punto de control establecidos con gps.

Fuente: capítulo 5 procedimientos topograficos. Leonardo Casanova M.

Error angular

Es la diferencia entre la sumatoria de los ángulos de deflexión, medidos en el campo y el total correcto deducido geométricamente para el polígono.

Para un polígono medido en el campo, la sumatoria teórica debe cumplir lo siguiente:

La sumatoria de ángulos de deflexión teórica es de 360°

La sumatoria de ángulos exteriores, $(n+2) 180$

La sumatoria de ángulos interiores será igual a $(n-2) 180^\circ$; siendo n el número de lados

Es muy frecuente que al sumar los ángulos no se encuentre exactamente el resultado teórico, sino que existe una pequeña diferencia, debido que el valor de cada ángulo es el más aproximado que es posible determinar.

El error de cierre en ángulo (E_c) debe ser menor que la Error de cierre permisible (tolerancia), según las especificaciones de precisión. Así:

a) Levantamientos de poca precisión $E_p = 0.4' \sqrt{n}$ en minutos

b) Levantamiento de precisión $E_p = 0.1' \sqrt{n}$ en minutos

Si el error de cierre en ángulo nos resulta superior al valor especificado se deben revisar todos los ángulos observados y si el error de cierre se mantiene superior a la tolerancia, entonces habría que realizar nuevamente el levantamiento.

Si el error de cierre es menor que la cantidad especificada procedemos a repartirlo (compensar error) y continuar con los cálculos.

1.9 Fotogrametría con Drones

Fotogrametría: es la técnica (o colección de técnicas) que permiten hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas, consiste en capturar imágenes empleando para ello la luz, proyectándola y fijándola en forma de imágenes, el pixel la unidad mas pequeña de la fotografía es el encargado de

almacenar la información y definir la resolución de la imagen, una resolución alta indica mayor cantidad de píxeles, una baja una menor cantidad de los mismo.

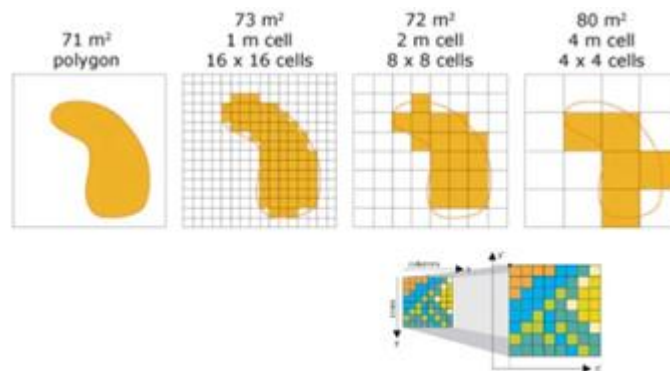


Figura 32. Resoluciones de imagen

Fuente: El blog de fran

1.9.1 Aplicaciones de la fotogrametría:

- ✓ Diseño de vías en la fase de anteproyecto y proyecto definitivo, el método fotogramétrico constituye un auxiliar de invaluable utilidad en los estudios geológicos y topográficos del terreno.
- ✓ Estudio de líneas ferroviarias
- ✓ Estudios hidrológicos para obras de paso
- ✓ Líneas de transmisión y subtransmisión, las pendientes transversales
- ✓ Estudiar y comparar diferentes alternativas para la localización de las obras.
- ✓ Detectar deformaciones estructurales en antenas y ha hecho una contribución importante al desarrollo de la ciencia y la comunicación
- ✓ Recursos mineros
- ✓ Recursos forestales y agrícolas.

1.9.2 Conceptos importantes para la fotogrametría

- ✓ Georreferenciación: es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espaciales diferentes a las que se encuentran, este se hace cuando las imágenes vienen en un sistema de referencia que no deseas usar.
- ✓ Estereoscopia: es el proceso de manera natural cuando un observador mira simultáneamente dos imágenes de un mismo objeto, que han sido capturadas desde dos posiciones diferentes. Este principio se usa en tomar captura de un solo objeto en diferentes ángulos para hacer una percepción de la profundidad.



Figura 33. Dos imágenes en un mismo objeto

Fuente: Video fundamentos básicos

- ✓ Puntos de control (GCP): puntos con coordenadas conocidas que se han obtenido a través de estación total o a través de GPS de precisión (RTK), estos son los puntos de amarre para garantizar la calidad del levantamiento, dado que estos permiten dar escala, orientación y posición absoluta.
- ✓ Puntos de paso o chequeo: son puntos de control fotogramétrico foto identificables en el terreno, es decir, aquellas marcas naturales que son observables desde el espacio a la altura a la que vuela el

drone, lo cual permite la alineación de las fotografías, es decir, todas las fotografías con puntos de paso en común forman un mosaico, que posteriormente deben alinearse. Dichos puntos de paso sirven para chequear coordenadas en diferentes puntos del mismo levantamiento.

- ✓ Resolución Espacial (GSD): Corresponde al tamaño del píxel de la imagen y está relacionado con la altura de vuelo y la cámara. Mayor altura, mayor GSD (menos detalle) más cobertura de área. Menor altura, menor GSD (más detalle) menor cobertura de área. Con una cámara de muy buena resolución es posible cubrir mayores extensiones porque se puede volar más alto y seguir manteniendo un GSD pequeño, los drones pueden producir GSD de 5 cms por píxel.

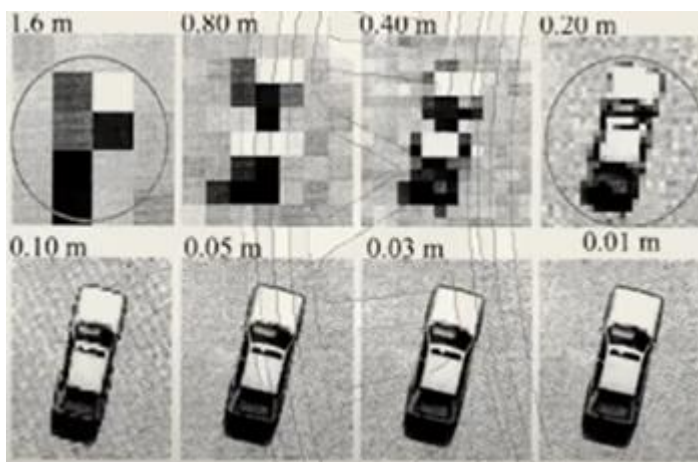


Figura 34. Diferentes GSD

Fuente: Video fundamentos básicos

1.9.3 Ventajas de realizar la fotogrametría con drones

- ✓ Permite obtener amplitud de detalles del levantamiento.
- ✓ Permite alcanzar zonas con difícil acceso que con topografía tradicional es costoso obtener.

- ✓ La resolución espacial GSD puede llegar a ser baja, teniendo mejor resolución del proyecto.

1.9.4 Desventajas

- ✓ Poca visualización en productos de zonas boscosas, debajo de techos, hay sombras o vacíos de información.
- ✓ Para modelar hay que considerar un trabajo extra de calcar el modelo para poder obtener planos y vectorizarlo, lo que hace un proceso adicional para términos de BIM.
- ✓ El tiempo en el campo se reduce, pero el procesamiento y el vectorizado puede tomar varios días.
- ✓ El costo inicial (drone, computadora, GPS o estación) es importante.

1.9.5 Algunas aplicaciones de los drones

- ✓ Fotogrametría con drones: para reconstrucciones de mapas con objetos sea en 2d o 3d, para que un objeto pueda estar fielmente reconstruido, éste, debe de aparecer en un número suficiente de imágenes. Es esta información repetida, la que permite extraer su estructura, definición de la geometría 3D es a partir del movimiento en el cual se toman las fotos.
- ✓ Cinematografía: se refiere a la captura profesional de audio y video para producciones audiovisuales como cine, televisión o conciertos, etc.
- ✓ Agricultura de precisión: Realzar un análisis de suelos, detectar un gran banco de peces en altamar o realizar una aspersión contra plagas.
- ✓ Inspección de infraestructura y construcciones (tanto en etapa de diseño y en reconstrucción): para inspección de las obras, monitoreo de procesos, para caracterización de vías y para seguimientos de control de calidad

- ✓ Mapeo y vigilancia: se usan en temas de seguridad y vigilancia, con mucha efectividad en tramos extensos.
- ✓ Manejo de desastres y salvamento público: Los drones se prestan para llegar a los lugares más recónditos con el propósito de buscar víctimas y reportarlas por medio de programas especializados.

1.9.6 Tipos de drones

Existen dos tipos en la actualidad: drones de ala fija y drones multirotor

- ✓ Drones de ala fija:

Estas aeronaves necesitan de una velocidad de vuelo inicial para que se puedan sustentar en el aire (no son capaces de realizar un despegue por si solos, sino que necesitan de una persona o mecanismo que los lance).

Estéticamente son lo más parecido a un avión normal. La aerodinámica de este tipo de drones les ofrece una gran autonomía de vuelo; son capaces de estar varias horas volando, por lo que son ideales para sobresolar y mapear grandes superficies.

Este tipo de dron es conveniente para terrenos planos o topografías no tan abruptas, de 500-3000 ha. Puede llegar a durar una hora el vuelo con coberturas de entre 150-250ha.



Figura 35. Dron de ala fija

Fuente: Video tipos de drones

- ✓ Drones de ala rotatoria:

Son las aeronaves no tripuladas más conocidas y vendidas en el mercado.

Estos drones consiguen la sustentación gracias a las hélices que llevan incorporadas en los extremos de cada brazo. Cada hélice está impulsada por un motor y permite una gran estabilidad durante el vuelo. A diferencia de los drones de ala fija, los multirrotores pueden permanecer quietos sobrevolando en un mismo sitio.

Este tipo de dron es para cualquier tipo de terreno sea plano o montañoso, los vuelos oscilan en 30 minutos dependiendo de la batería del mismo, muy óptimo con pequeñas extensiones de 0-500 ha.



Figura 36. Dron de ala rotatoria

Fuente: Video tipos de drones

1.10 Tipos de modelo digitales

Los modelos digitales son una representación simplificada de la realidad, constituyen la base para el análisis de cualquier aspecto del paisaje (visibilidad, impacto paisajístico, calidad, fragilidad, etc.), pues nos dan información acerca de una de las variables fundamentales en el análisis paisajístico, el relieve.

Es bastante frecuente que cuando se habla de modelos digitales se refiera a aquellos relacionados con la variable de altitud del terreno o relieve.

Existen diversos modelos digitales relacionados con la variable de altitud del terreno o relieve, tales como: modelos digitales de superficie, modelos digitales de elevación y modelos digitales de terreno.

1.10.1 Modelos digitales de superficie

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la “Tierra desnuda”. En un sistema LiDAR (Light Detection and Ranging), los pulsos de luz viajan al suelo. Cuando el pulso de luz rebota de su objetivo y regresa al sensor, da el rango (una distancia variable) a la Tierra. Por lo tanto, este sistema se ganó su nombre de LIDAR.

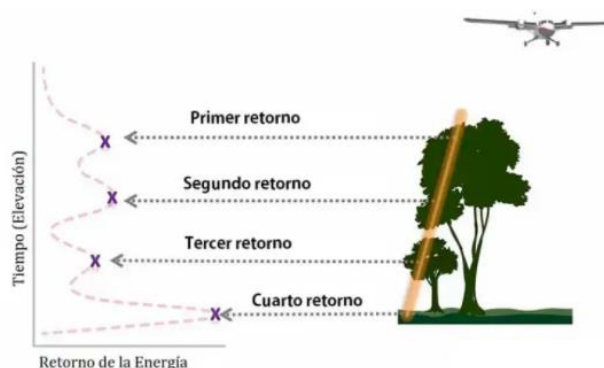


Figura 37. Detección y alcance de luz aérea.

Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

El sistema LiDAR entrega una enorme nube de puntos llena de diferentes valores de elevación. La altura puede venir de la parte superior de los edificios, el dosel arbóreo, las líneas eléctricas y otras características. Un DSM captura y muestra las características naturales y construidas en la superficie de la Tierra.

Uso y aplicación:

Un Modelo Digital de Superficie se utiliza en modelado 3D para telecomunicaciones, planificación urbana y aviación. Los objetos presentes en la Tierra se extruyen de ésta, a continuación, algunos ejemplos:

- Zona de aproximación a pista de aterrizaje invadida. En la aviación, los DSM pueden determinar las obstrucciones de la pista en la zona de aproximación.

- Manejo de la vegetación. A lo largo de una línea de transmisión, los DSM pueden ver dónde y cuánta vegetación está invadiendo.
- Obstrucción de la vista. Los planificadores urbanos usan el DSM para verificar cómo un edificio propuesto afectaría el punto de vista de los residentes y negocios

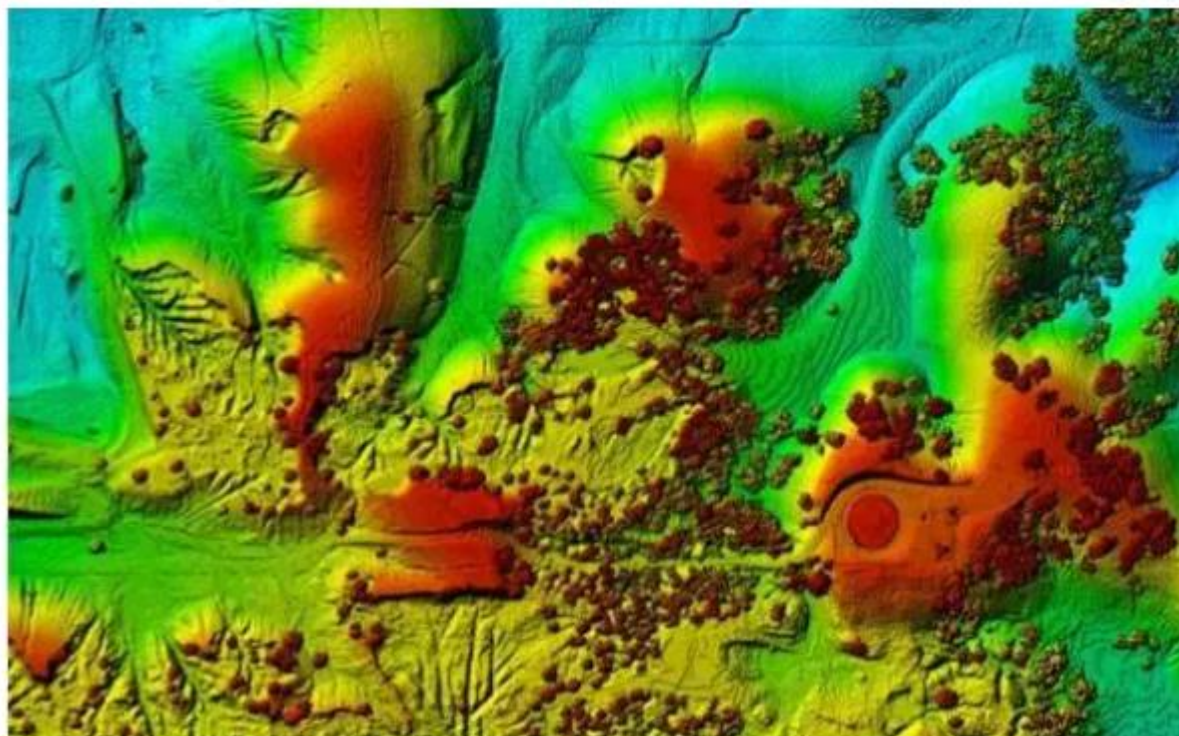


Figura 38. Modelo Digital de Superficie, incluye la vegetación presente en el suelo.

Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

1.10.2 Modelos digitales de elevación

Un modelo digital de elevación es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a un dato vertical. Cuando se filtra puntos no terrestres como puentes y carreteras, se obtiene un modelo de elevación digital suave. Los edificios construidos (líneas eléctricas, edificios y torres) y naturales (árboles y otros tipos de vegetación) no están incluidos en un DEM.

Al anularse la vegetación y las características creadas por el hombre a partir de los datos de elevación, se genera un DEM.

Uso y aplicación:

Un modelo digital de elevación de la tierra desnuda es particularmente útil en hidrología, suelos y planificación territorial, a continuación, algunos ejemplos:

- Modelización hidrológica: En hidrología se utiliza para delinear cuencas hidrográficas, calcular la acumulación de flujo y la dirección del flujo.
- Estabilidad del terreno: Si se tiene áreas propensas a las avalanchas, en las cuales se tiene altas pendientes con escasa vegetación. Un DEM es útil si se planea una autopista o una subdivisión residencial.
- Mapeo de suelos. Los DEMs ayudan a mapear los suelos que son una función de elevación (así como geología, tiempo y clima).

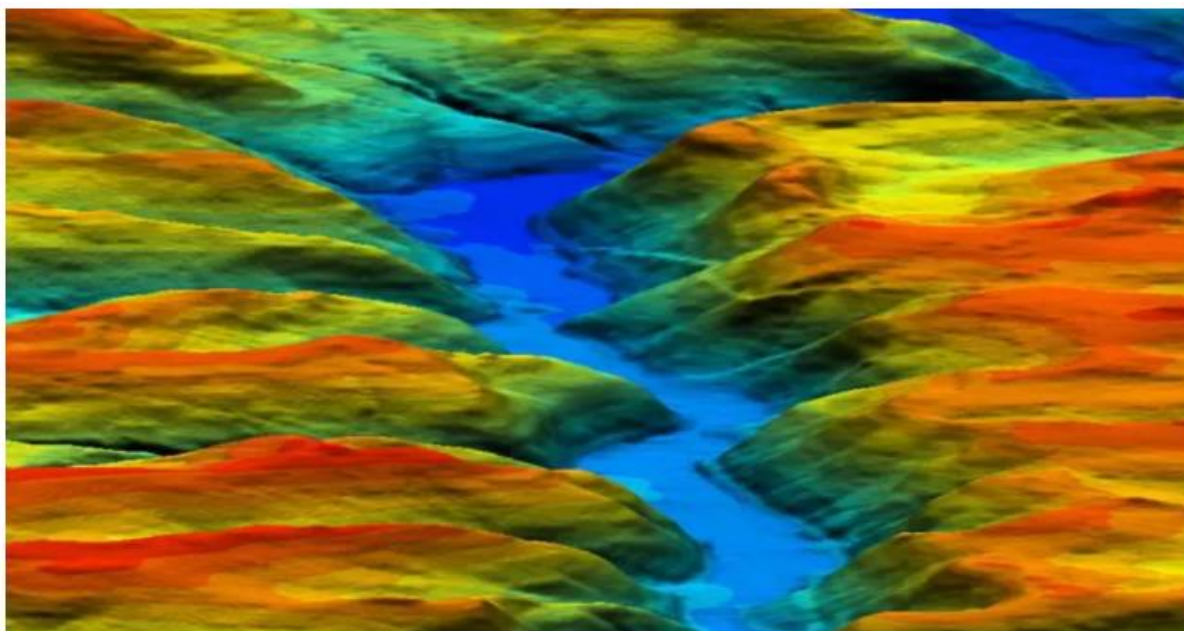


Figura 39. Modelo de Elevación Digital.

Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

1.10.3 Modelos digitales de terreno

Es la modelización del terreno o suelo desnudo (altimetría y/o batimetría) de una zona terrestre. Incluye alturas, elevaciones, elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc. Es una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z que se almacenan en forma digital.

Un DTM es efectivamente un DEM que se ha incrementado con elementos tales como líneas de ruptura y observaciones que no son los datos originales para corregir los artefactos producidos utilizando solo los datos originales.

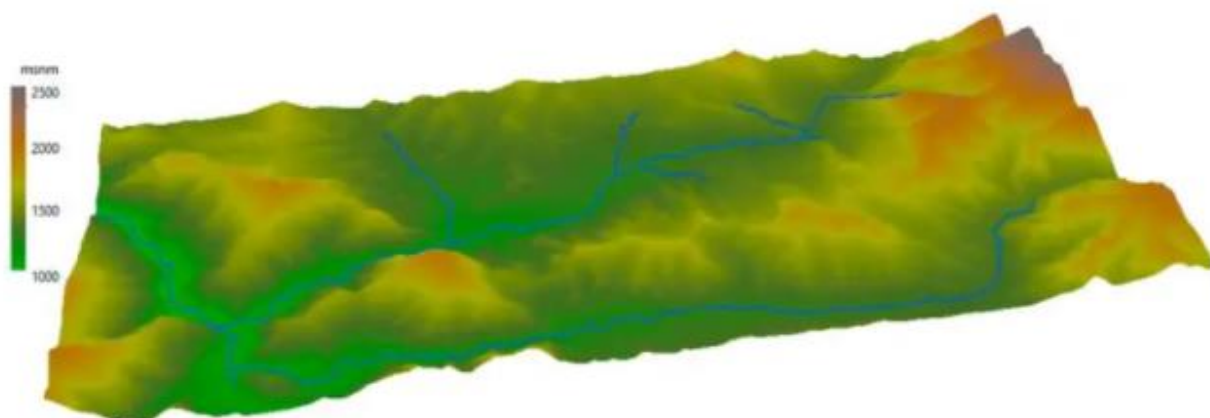


Figura 40. Modelo Digital de Terreno.

Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

CAPITULO III: “OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO”

1.11 Obtención de datos con técnicas GNSS.

El procedimiento para efectuar el levantamiento con equipos GPS con el método RTK se requiere de sistemas de transmisión de telecomunicaciones por radiofrecuencia.

Se estaciona el equipo fijo (base) en la estación de referencia y se introducen las coordenadas de esta para nuestro proyecto son coordenadas conocidas del punto FIA1. El receptor enviará las correcciones al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción, quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

Las coordenadas de los puntos se obtienen en el sistema de referencia WGS84. La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los

puntos directamente en la proyección UTM o cualquier otro sistema. También podrían obtenerse en sistemas de referencia locales. En El Salvador se debe configurar los equipos GPS introduciéndoles el sistema de proyección cartográfico denominado “Cónico Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007” para obtener directamente las coordenadas proyectadas, es decir, las coordenadas planas (x, y).

Tabla 4: configuración de equipo GPS

Distancia entre equipos receptores GPS	La longitud de las líneas base no debe exceder de 10 km, dependiendo de la potencia o alcance del radio para nuestro caso el equipo de la UES a 2 km la señal es buena.
Tiempo de medición	De 1 a 5 segundos cuando la señal de radio frecuencia entre el receptor móvil y el fijo se transmita sin interferencias.
Precisión	1 a 2 cm + 2 ppm
Parámetros por considerar en esta técnica de medición	Intervalo de Grabación: 1 Segundo. Máscara: 10°-15° Mínimo de Satélites: 4 Tiempo mínimo de Observación: de 1 a 5 segundo.

Equipos e instrumentos usados en el Método RTK.

Elementos indispensables que se necesitan para la medición con equipo GPS.



Figura 41. Equipo GPS con sus respectivos accesorios y colectores usados en el levantamiento RTK.

Fuente: Manual de Operación de Equipo GPS Carlson. Ingeniero Wilfredo Amaya.



Figura 42. Trípode donde se instalará el GPS base.

Fuente: Manual de Operación de Equipo GPS Carlson. Ingeniero Wilfredo Amaya.



Figura 43. Bastón con burbuja nivelante para instalar GPS Rover.

Fuente: Manual de Operación de Equipo GPS Carlson. Ingeniero Wilfredo Amaya.

Pasos a seguir para dar inicio al levantamiento con GPS Método RTK.

1. Instalación del equipo.

Ubicar el trípode con base nivelante, sobre el punto con coordenadas conocidas donde se desea partir para realizar la medición, centrar y nivelar.



Figura 44. Trípode Donde se instalará base nivelante.

Fuente: <https://www.soluciontopografia.com/tripode-de-madera-robusto>



Figura 45. Base nivelante

Fuente: <https://www.lhgeo.com.br/base-nivelante->

2. Instalar el receptor GPS a la base nivelante del trípode y medir altura de antena se recomienda el uso del equipo BASE sea con batería propia más una batería externa y su conexión al colector que sea con cable VGA.



Figura 46. Base nivelante trípode y GPS

Fuente: Manual de Operación de Equipo GPS Carlson. Ingeniero Wilfredo Amaya.

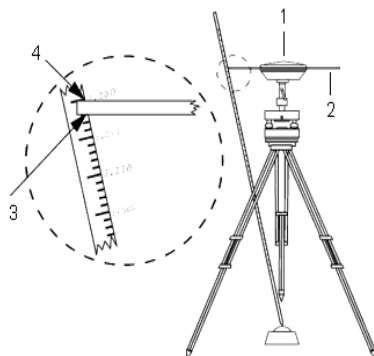


Figura 47. Medición de altura de antena.

Fuente: <https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2019.01/es/Images/Antenna.gif>

3. Instalar GPS Rover al bastón



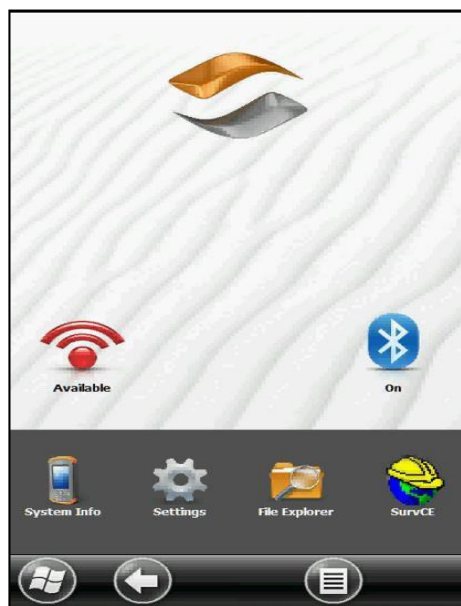
Figura 48. GPS Rover.

Fuente: *Manual de Operación de Equipo GPS Carlson. Ingeniero Wilfredo Amaya.*

Pasos para la configuración del GPS en el colector para la toma de datos base y rover.

Se configura el equipo considerando que el sistema de referencia local ya ha sido configurado por eso se omiten esos pasos.

1. Encender el bluetooth en el colector e ingresar a la aplicación SurvCE.

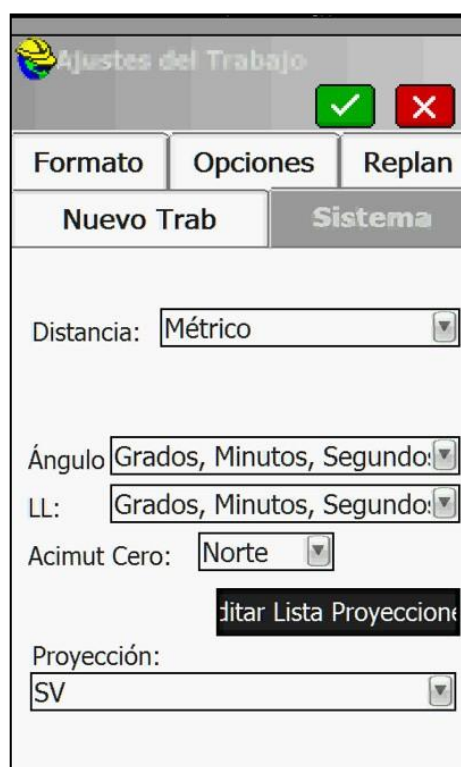
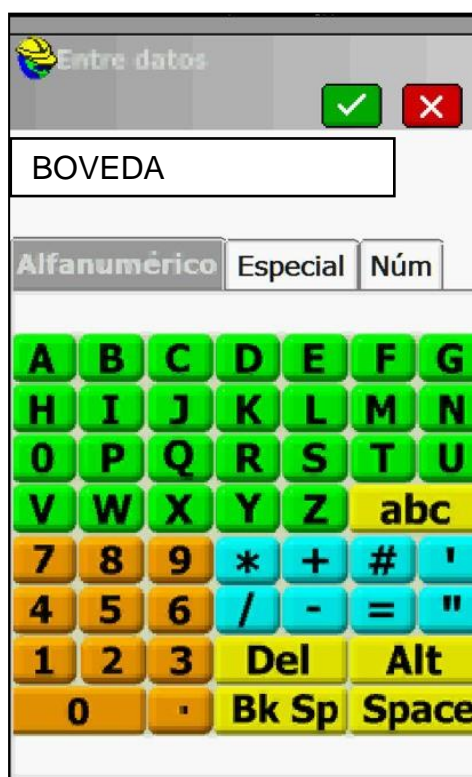


2. Al ingresar a la aplicación SurvCE aparecerá el siguiente cuadro de dialogo y seleccionar la opción "Trabajo Nuevo/Existente".



3. Ingresar el nombre del trabajo y dar clic en Aceptar. ✓

4. En la siguiente pantalla, en la pestaña Sistema, verificar las unidades de medida de distancias y ángulos, finalmente clic en Aceptar.




5. Seleccionar el menú

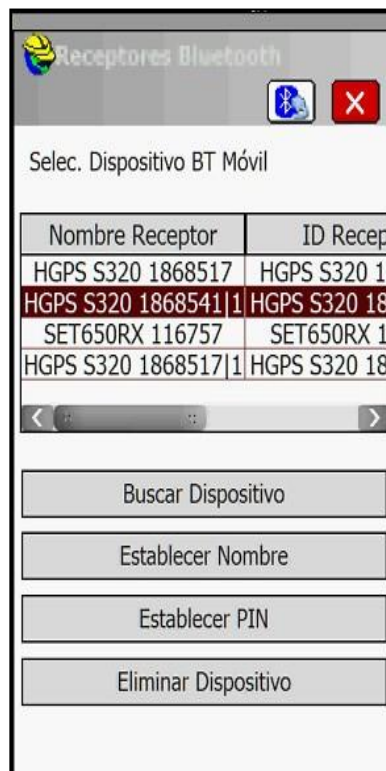
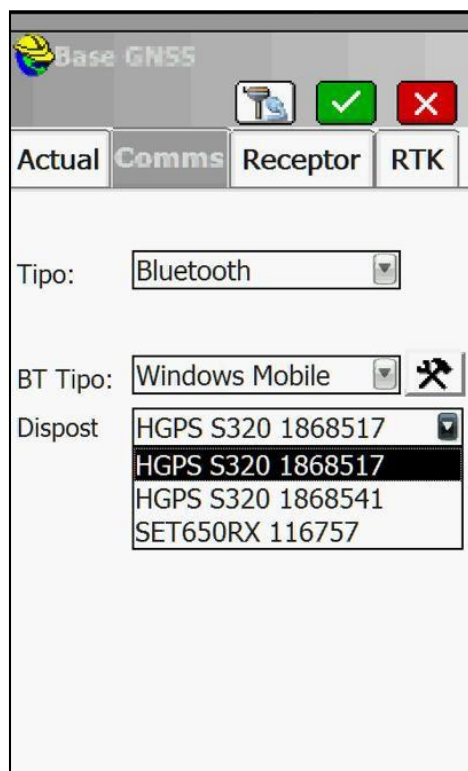
Configuración e ingresar en la opción Base GNSS para configurar el receptor con los parámetros necesarios para la medición.

6. En la pestaña Actual se muestran los equipos que han sido enlazados con el colector anteriormente.



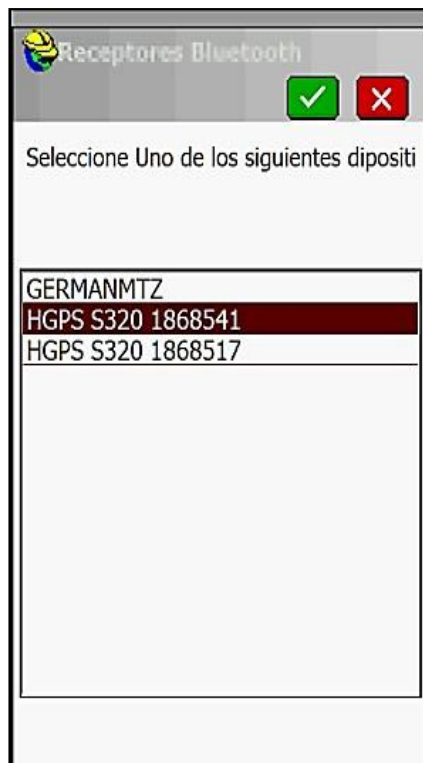
7. Ingresar a la pestaña “Comms” y elegir en la opción “Tipo”, la vía de comunicación; bluetooth o cable, entre el receptor y colector.

7.1 A Si la comunicación se decide realizar por bluetooth, hacemos clic en el icono  de la pantalla anterior, después hacer clic en “Buscar Dispositivo”.

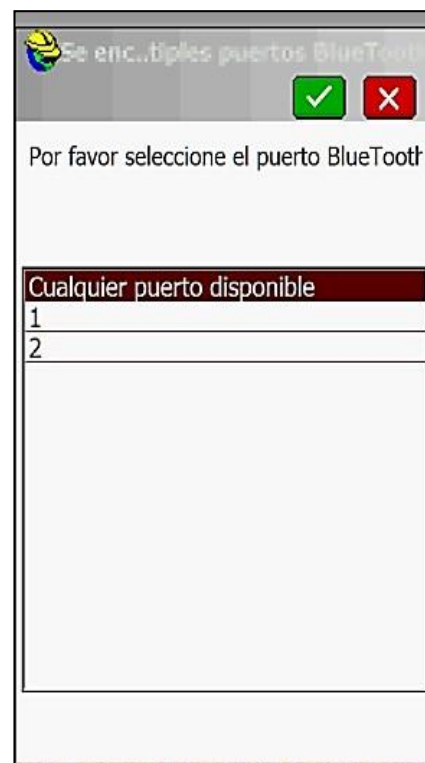


7.1-B

En la pantalla se muestran los dispositivos disponibles, seleccionar el nombre o serie del receptor que se está configurando como base. Hacer clic en Aceptar.

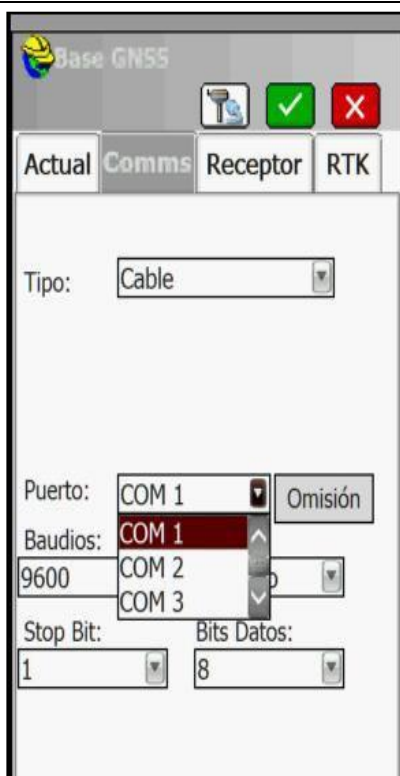
**7.1-C**

Seleccionar la opción "Cualquier puerto disponible". Clic en Aceptar. Esta acción nos retorna a la pantalla del paso 7.1-A, en ella hacer clic en Cerrar para comenzar el enlace vía bluetooth.

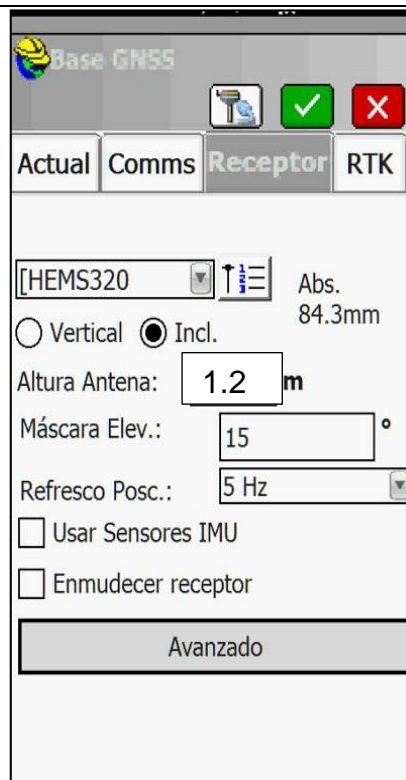


7.2

Si en la opción “Tipo” del paso 7, se selecciona “Cable”, se muestra la pantalla siguiente. En la opción “Puerto” seleccionar “COM 1”. Hacer clic en Aceptar. Para que la comunicación receptor-colector sea por cableado.

**8)**

En la pestaña Receptor, dependiendo de la forma en que se midió la altura del receptor (Antena) se puede seleccionar “Vertical” o “Inclinada”, en este caso se marca “Incl.”, ingresar Altura de Antena y máscara de Elevación. Dar clic en Aceptar.

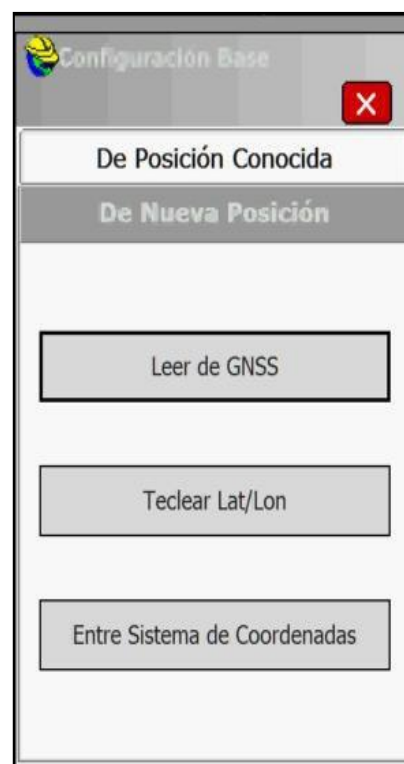


9)

En la pestaña “RTK”, se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y dar clic en aceptar.

**10)**

En este cuadro de dialogo seleccionar la opción “Teclear Lat/Lon”, para introducir las coordenadas geográficas y elevación elipsoidal de la estación de referencia.



11)

Introducir las coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos (gg.mm.ss) y la elevación elipsoidal en metros. Finalmente, clic en Aceptar.

Introd. Lat/Lon

Use formato gg.mm.ss

Latitud: N 13°43'18.38465"

Norte Sur

Longitud: W 89°12'03.44664"

Oeste Este

Alt.: 700.726 m

Elipsoide Ortométrica

12)

En este cuadro de dialogo se ingresa el nombre de la estación de referencia y su descripción, y al dar clic en Aceptar se guarda este punto en el fichero del proyecto. Finalmente seleccionar la opción "Si" para arranque de Base.

Configuración Base

RTK ID Emisora: 0

Latitud: N 13°43'18.38465"

Grabar Punto

ID. Punto: FIA 1

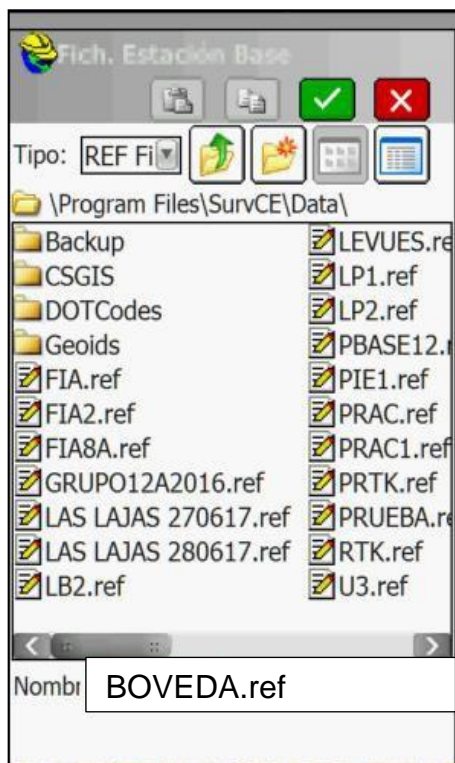
Descripción: VG

¿Continuar con Arranque de Base?

Si No

13)

Finalmente se debe ingresar el nombre del fichero del proyecto y dar clic en Aceptar.

**14)**

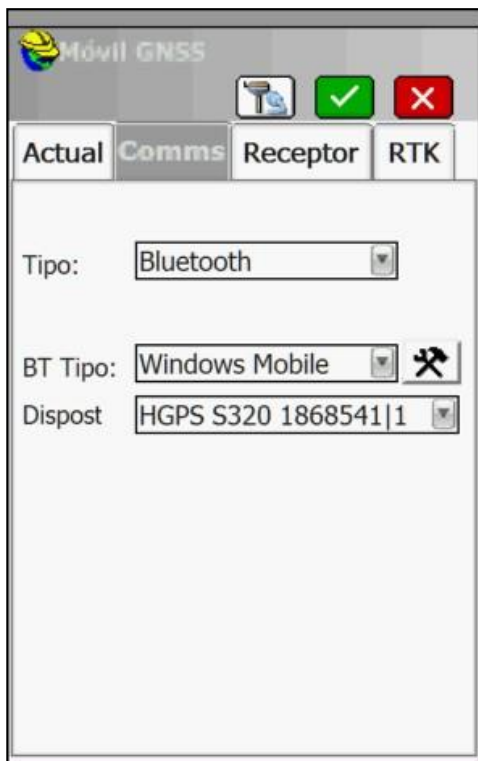
Seleccionar la opción “Movil GNSS” para configurar los parámetros del equipo que funcionara como Rover (Movil).



15)

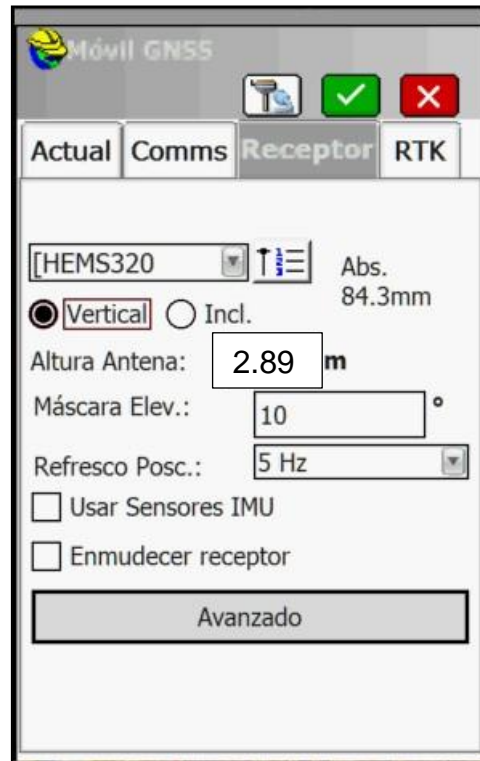
En la pestaña “Comms”, seleccionar el tipo de comunicación entre el receptor y colector, para la técnica RTK se recomienda que sea mediante bluetooth. Seleccionar el equipo correspondiente al Rover.

Nota: El colector y el Rover deben permanecer a una distancia no mayor a tres metros entre sí.

**16)**

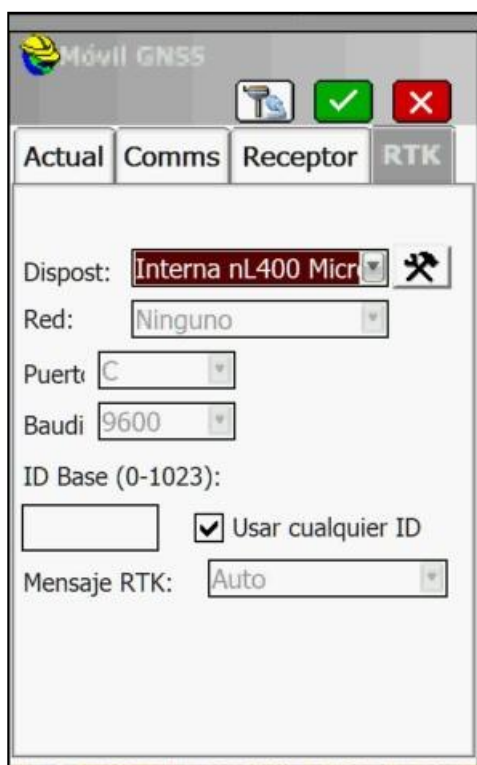
La altura del equipo y la forma de medición de esta se configura en la pestaña “Receptor”.

Nota: La altura del Rover debe medirse de manera vertical y seleccionar la opción “Vertical”



17)

Al igual que la Base, para el Rover en la pestaña "RTK", se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y dar clic en Aceptar.



18)

Una vez configurada la Base y el Rover, seleccionar en el menú Medición, la opción 1 "Levantamiento".



19)

En la pantalla se observa la estación de referencia, las coordenadas planas del punto donde se encuentra el Rover y parámetros de precisión vertical y horizontal (Vemc y Hemc respectivamente)

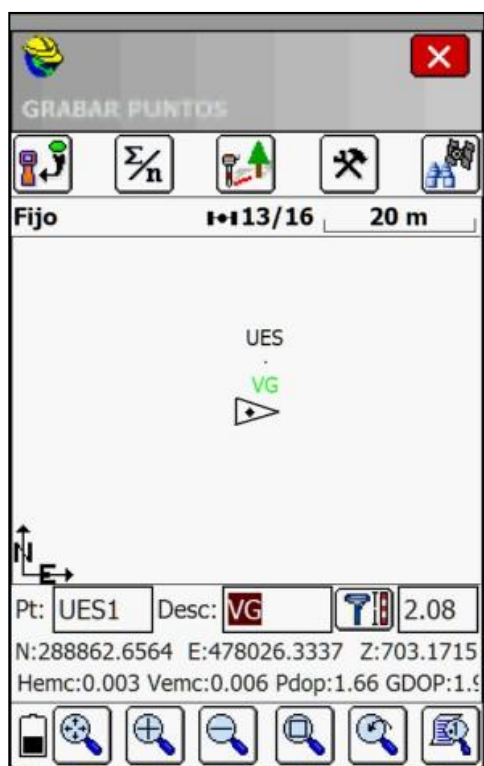



Figura guía para un

20)

Para guardar un punto en particular, basta con dar clic en la opción

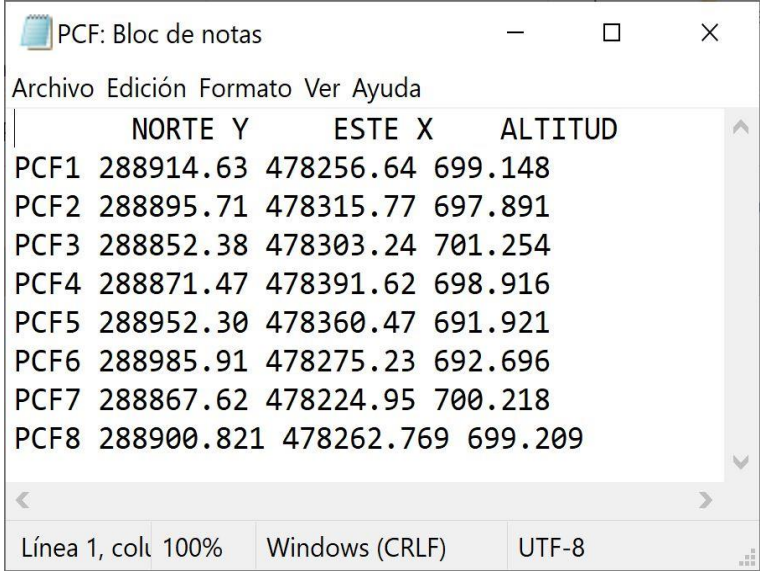
 cuando aparezca la palabra “fijo” bajo esta opción.

Se deberá ingresar el nombre y descripción del punto y finalmente clic en Aceptar, retornará a la pantalla del paso 18 y finalmente clic en Salir.



Importación de datos

Los datos se obtuvieron de tal forma que se le hizo una toma de fotografía a la pantalla del colector y luego se digitaron de forma manual al archivo .txt así como se desean en el programa PIX4D.



A screenshot of a Notepad window titled "PCF: Bloc de notas". The window contains a table of field data with columns for station ID, North (NORTE Y), East (ESTE X), and Elevation (ALTITUD). The data is as follows:

	NORTE Y	ESTE X	ALTITUD
PCF1	288914.63	478256.64	699.148
PCF2	288895.71	478315.77	697.891
PCF3	288852.38	478303.24	701.254
PCF4	288871.47	478391.62	698.916
PCF5	288952.30	478360.47	691.921
PCF6	288985.91	478275.23	692.696
PCF7	288867.62	478224.95	700.218
PCF8	288900.821	478262.769	699.209

The status bar at the bottom of the window shows "Línea 1, col 100%", "Windows (CRLF)", and "UTF-8".

Figura 49. Datos de campo.

Fuente: datos propios del levantamiento con el método RTK.

1.12 Plan de Vuelo

El plan de vuelo aéreo con drones es un momento crítico para planificar técnicamente los trabajos en campo. Parametrizar alturas, número de pasadas, orientación de la cámara, o solapamiento entre fotografías son algunos de los pasos a dar para programar un plan de vuelo o proyecto de vuelo.

Aspectos clave del plan de vuelo:

- Fotografiar terreno desde diferentes ángulos (solapamiento)

Un mismo punto debe visualizarse desde diferentes fotografías, en caso que no exista solapamiento se tendría una serie de fotos de las cuales no se podría extraer información.

Existen dos tipos de solapamiento: frontal y lateral, ambos son muy importantes para la calidad de la reconstrucción. Los solapes mínimos son entre 75% (frontal) y al menos el 60% (lateral).

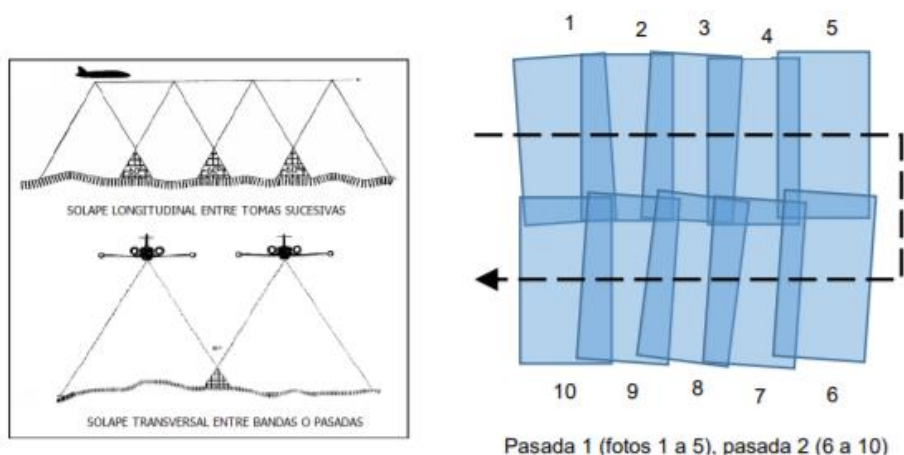


Figura 50. Solapamiento longitudinal y transversal

Fuente: Módulo 1 "PRINCIPIOS DE LA FOTOGRAMETRIA". Curso Online "Aprende A Realizar Topografía Con Drones".

- Distancia de muestreo

Se mide en cm/pixel y define cuanto mide un pixel en la fotografía final proyectado sobre el suelo, es decir, determinar la resolución del modelo creado.

Los parámetros a considerar para obtener una distancia de muestreo adecuada:

- Altura de vuelo:

La altura de vuelo determinará la escala de trabajo sobre la que se desee trabajar. Una relación entre la distancia focal del sensor y la altura de vuelo será proporcional a la escala de trabajo.

$$1/E_t = f/H$$

Donde:

- E_t : escala a la que se desea trabajar
- f : distancia focal de la cámara
- H : altitud a la que se realiza el vuelo

Aumentar la altura tiene como ventaja el incrementar la huella de la fotografía, al incrementar la huella de la fotografía se incrementa el solapamiento, por lo tanto, si se vuela más alto se consigue mantener un solapamiento suficiente utilizando el menor número de pasadas

- Tiempo de vuelo

Elegir un tiempo de vuelo que se adapte a la aeronave y considerar un margen de seguridad por cualquier imprevisto.

- Multirrotores (15 – 20 minutos)
- Ala fija (60 – 90 minutos)
- Varía según la meteorología y el estado de las baterías

- Punto de despegue

Elegir un punto de despegue que permita no perder de vista a la aeronave y monitorearla. Dicho punto se selecciona cerca de la zona que se desea medir, de tal manera que el dron no pierda tiempo yendo y viniendo, pero además debe ser un punto desde donde se mantenga contacto visual con el dron.

Es imprescindible despegar con línea visual con el dron en todo momento (muy recomendable).

Parámetros de vuelo que la aplicación DJi calcula, pero para conocimiento se presenta a continuación:

Valores a calcular:

- Huella de la fotografía
- Separación entre tracks
- Frecuencia de toma de fotografías

Variables que influyen:

- Tamaño del sensor
- Resolución del sensor
- Distancia focal
- Altura de vuelo
- Distancia de muestreo
- Solapamiento

Cálculos para obtener los parámetros de vuelo:

- Altura:

$$H = GSD \times R \times \frac{F}{S_w}$$

Donde:

H = Altura de vuelo

GSD =Ground Sampling Distance

Sw = Anchura del sensor

F = Distancia focal

R = Resolución sensor (horizontal)

- Huella de la fotografía:

$$\frac{L}{H} = \frac{Sw}{F}$$

$$L = \frac{Sw}{F} \times H$$

- Distancia entre pasadas o tracks:

Distancia = Huella imagen horizontal x (1 – Solapamiento lateral)

- Tiempo entre fotografías:

$$\text{Tiempo} = \text{Huella imagen} \times \frac{1 - \text{Solapamiento frontal}}{\text{Velocidad de vuelo}}$$

1.13 Levantamiento de vuelo fotogramétrico con Drone

En primer lugar, se realiza una evaluación de la zona: Se debe tener el polígono de la zona a volar. El polígono puede importarse desde Google Earth o un gis en formato KML o KMZ, también puede dibujarse directamente en la aplicación.

- Se llega al lugar y se instalan los equipos, se conecta el control de dron con el celular para que reciba la señal de telemetría luego de ser encendido el dron, verificar la batería, colocando antenas en posición, verificar conexión y distancia, posteriormente se abren las hélices del dron y se coloca en la pista de aterrizaje.
- Se registran en la app pix4d capture.
- Seleccionar equipo

- Se elige un Tipos de plan de vuelo: En general se puede clasificar en 3 tipos:
 - Longitudinal: utilizados para orto mosaicos
 - Cuadriculas: utilizados para canteras y áreas construidas
 - Circular: utilizado para reconstrucción 3D edificios y estructuras verticales
- Se indica la altura de vuelo planteada en el plan de vuelo.
- Se configura el solapamiento(traslape) de 75%
- Elegimos velocidad de vuelo y ángulo de la cámara de 90° para que sea ortofoto.
- Configurar el modo de vuelo
 - ◆ P (posicionamiento): en este caso usa su visión frontal para detectar obstáculos
 - ◆ S (sport): en este caso se maneja manual para cuidar de que no choque con obstáculos.
- Se procede a la calibración del dron, se gira la aeronave tal cual nos indica.
- Luego nos lleva a la misión configurada que le hemos elegido, se puede modificar o girar el polígono de la misión, luego de clicar el STAR nos da un mensaje del área y la altura a volar, luego next.
- Presionamos hold por 3 segundos y la aeronave despegar hasta llegar a la altura, inicia el recorrido que se monitorea desde el control.
- La aeronave regresa al finalizar su misión y los datos pasan a la aplicación, se apaga el control

En principio se definirá etimología de la palabra “Fotogrametría”. Que proviene del vocablo griego:

- Photos: Luz.
- Gramma: Dibujo, trazado o representación.

- Metrón: Medir.

Pudiendo definirlo como “Medir objetos por medio de la luz”, sin embargo, muchas sociedades fotogramétricas le dan también el significado de “Medir sobre Fotos”.

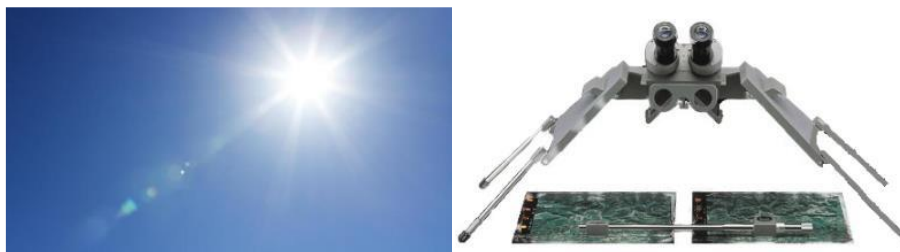


Figura 51. Definición de Fotogrametría: a) “Medir objetos por medio de la luz, b)” “Medir sobre fotos”.

Fuente: Artículo: Fotogrametría con Drones. isprs “Information from imagery”

Desde su invención han existido muchas definiciones para la fotogrametría, pero las definiciones más comunes y más conocidas son las dos siguientes:

- Propuesta por la **Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS)** que nos dice que “La fotogrametría es una ciencia que se encarga de interpretar las características métricas y geométricas de un objeto por medio de la fotografía”.
- La **Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS)** por su parte ofrece una definición más amplia. Esta sociedad, además de ciencia, define a la fotogrametría como “un arte y/o tecnología que se encarga de la medición e interpretación de los objetos en una imagen y de los patrones de energía electromagnética”.



Figura 52. Referencia de Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS).

Fuente: Artículo: Fotogrametría con Drones. isprs "Information from imagery"

Según estas dos últimas definiciones podemos resumir el concepto de la fotogrametría como *“La ciencia, arte y tecnología cuyo objetivo principal es el conocimiento de las dimensiones y posiciones de los objetos a partir de dos o más fotografías sucesivas”*. Estas dimensiones (3D) y posiciones (3D) se obtienen gracias al principio de **Estereoscopia**.

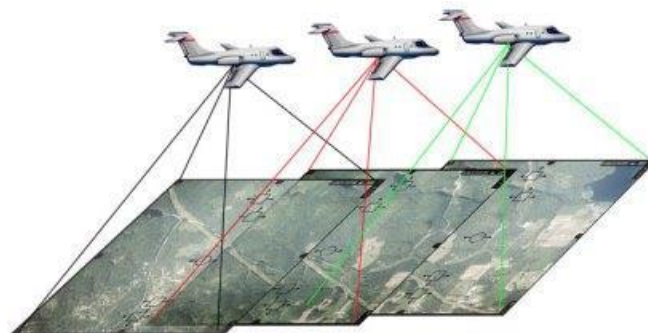


Figura 53. Fotogrametría con drones.

Fuente: Artículo: Fotogrametría con Drones. isprs "Information from imagery"



Figura 54. Fotogrametría con drones.

Fuente: Artículo: Fotogrametría con Drones. isprs "Information from imagery".

CAPÍTULO IV: "PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO"

1.14 Paso 1: Procesamiento inicial

- Creación de proyecto nuevo

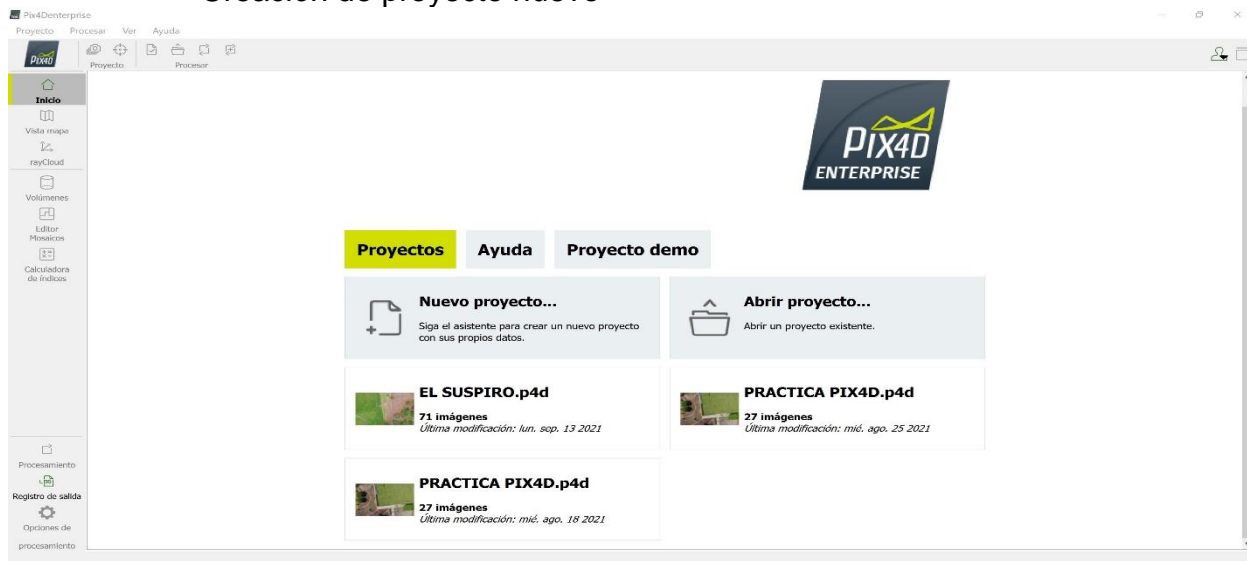


Figura 55. Nuevo proyecto en software Pix4D

Fuente: Propia

Nuevo proyecto: Este asistente crea un nuevo proyecto. Se selecciona un nombre, una carpeta y un tipo para el nuevo proyecto, este se guarda en el disco C.

Nuevo Proyecto

Este asistente crea un nuevo proyecto.
Seleccione un nombre, una carpeta de destino y un tipo para su nuevo proyecto.

Nombre:

Crear En: Navegar...

Usar como Ubicación del Proyecto por Defecto

Tipo de Proyecto

Nuevo Proyecto

Proyecto Fusionado a partir de Proyectos Existentes

Nuevo Proyecto con Cámara Rigs

Proyecto Fusionado a partir de Proyectos Existentes para la Calibración de Cámara Rig

Ayuda < Atrás Siguiete > Cancelar

Figura 56. Configuración y almacenamiento de nuevo proyecto.

Fuente: Propia

Además, se debe elegir un almacenamiento de insumos para la creación del proyecto nuevo:

- Fotografías
- Sistema de referencia geodésico: Lambert SIRGAS ES2007.8
- Puntos de control fotogramétrico

Nota: se recomienda almacenarlo en la misma carpeta de destino donde se generó el proyecto y sus insumos.

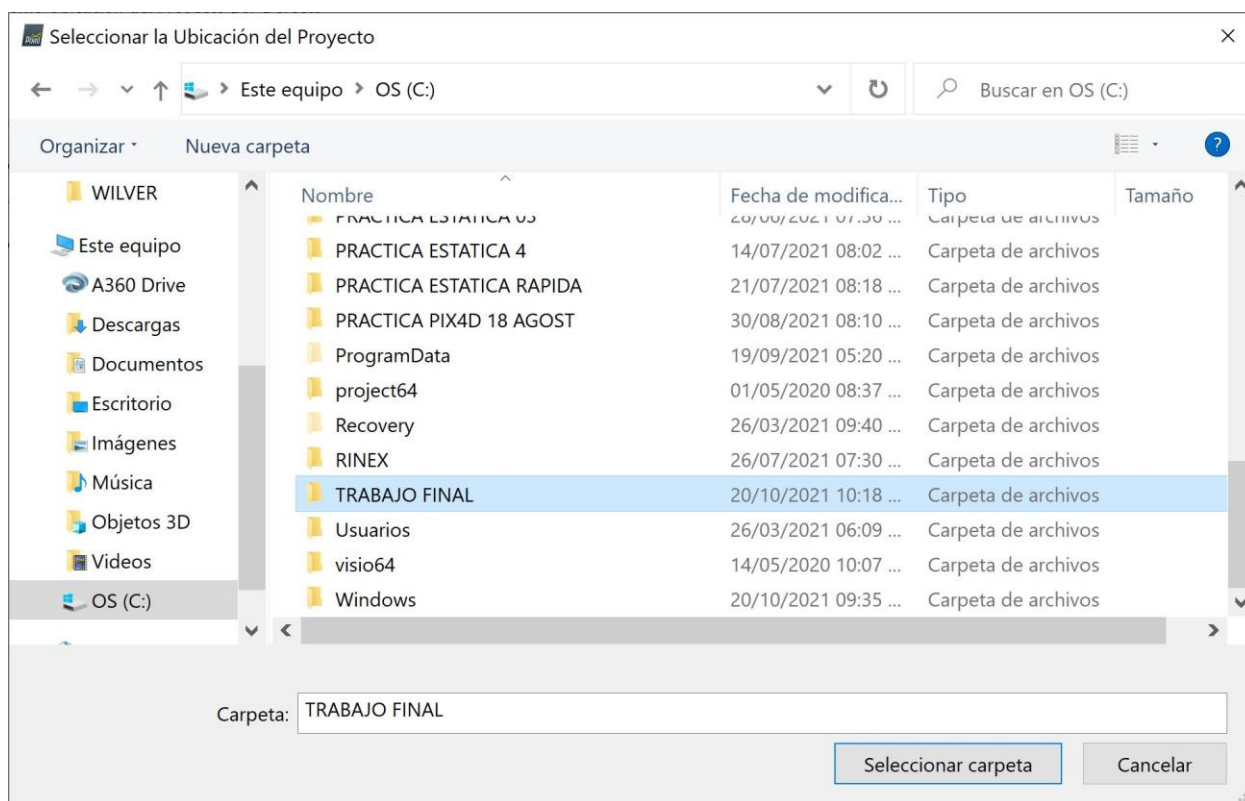


Figura 57. Ubicación del proyecto.

Fuente: Propia

- Importación de datos

Existen dos opciones para la importación de datos:

Opción 1: Seleccionar *añadir imágenes* para importar imágenes de forma manual.

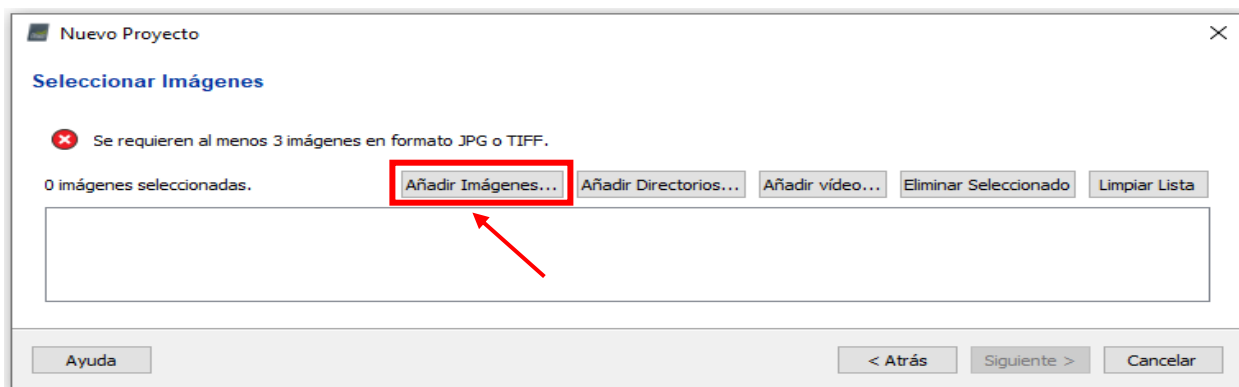


Figura 58. Añadir las fotografías de forma manual.

Fuente: Propia

Opción 2: seleccionar *añadir directorios*, el cual permite añadir la carpeta donde se encuentran las fotografías correspondientes al proyecto.



Figura 59. Añadir la carpeta que almacena las fotografías.

Fuente: Propia

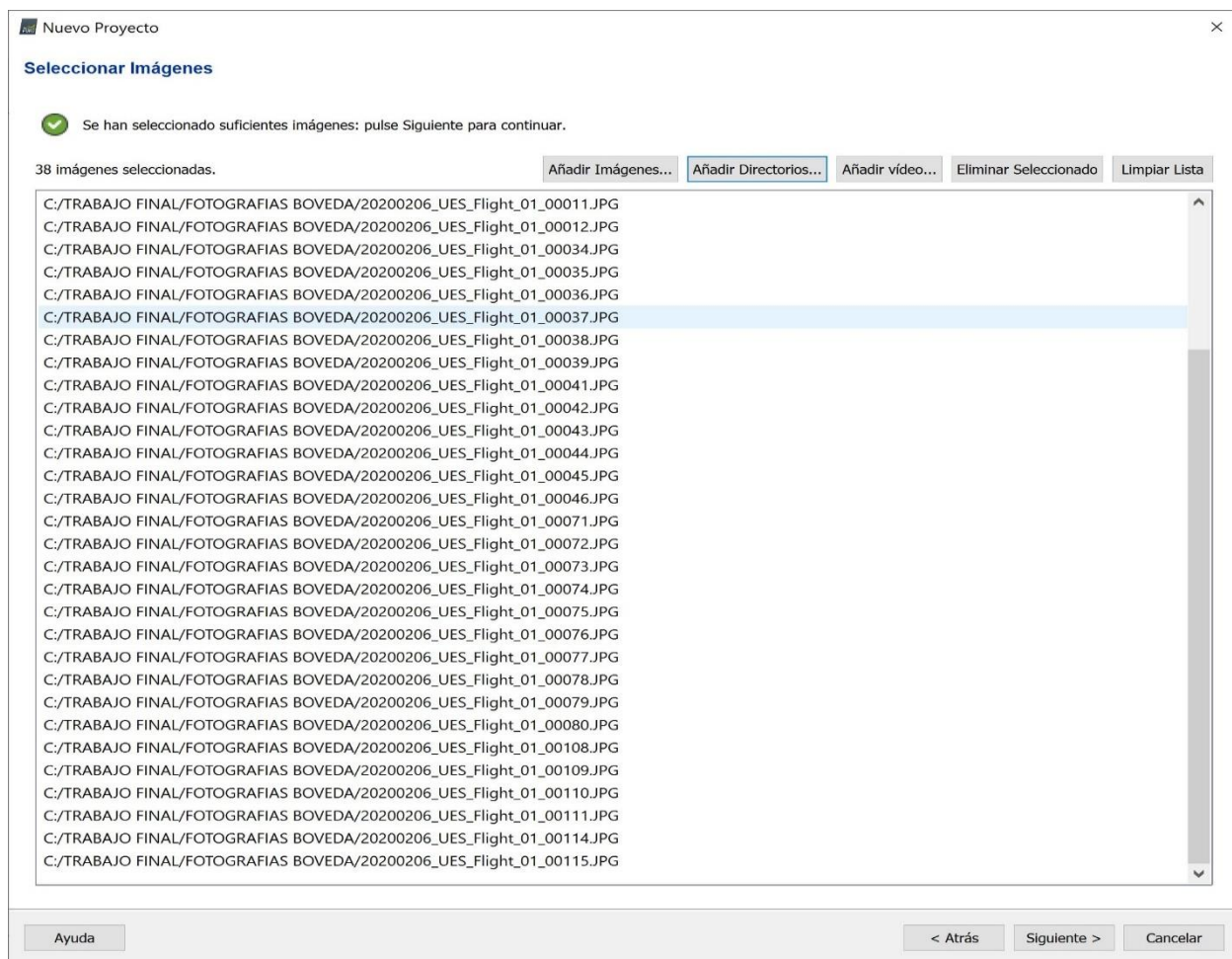


Figura 60. Directorio de fotografías.


Fuente: Propia

Nuevo Proyecto

Propiedades de Imagen

Geolocalización de Imágenes

Sistema de Coordenadas


 Datum: World Geodetic System 1984; Sistema de Coordenadas: WGS 84 (EGM 96 Geoid) Editar...

Geolocalización y Orientación

Imágenes Geolocalizadas: 38 de 38 Limpiar De EXIF De Fichero... A fichero...

Precisión de geolocalización: Estándar Baja Personalizado

Modelo de Cámara Seleccionado

 DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB) Editar...

Activada	Imagen	Grupo	Latitud [grado]	Longitud [grado]	Altitud [m]	Precisión Horz [m]	Precisión Vert [m]	Omega [grado]
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72355714	-89.20224461	967.900	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72363305	-89.20295582	954.917	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72316982	-89.20295730	954.715	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72270796	-89.20296071	955.465	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72224624	-89.20295720	955.478	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72178484	-89.20295239	955.255	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72216002	-89.20366662	960.350	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72262383	-89.20366940	958.422	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72308496	-89.20367026	958.292	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72354659	-89.20366714	957.087	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72277912	-89.20438021	964.877	5.000	10.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	20200206_UES_...	group1	13.72231709	-89.20437739	964.427	5.000	10.000	

Ayuda < Atrás Siguiente > Cancelar

Figura 61. Propiedades de fotografía.

Fuente: Propia

En propiedades de imagen se muestra:

- Coordenadas geográficas
- Elevación elipsoidal

- Giros: omega, phi y kappa, que son los giros que realiza el dron al tomar las fotografías en su plan de vuelo
- Sistema de referencia: WGS 84

Sistema de referencia geodésico

Nuevo Proyecto

Seleccionar Sistema de Coordenadas de Salida

Sistema de coordenadas seleccionado

Datum: World Geodetic System 1984
Sistema de Coordenadas: WGS 84 / UTM zone 16N (EGM 96 Geoid)

Sistema de Coordenadas de Salida/Puntos de Apoyo

Unidad: m

Sistema de coordenadas arbitrario [m]

Auto detectado: WGS 84 / UTM zone 16N

Sistema de coordenadas conocido [m]

Busca sistema de coordenadas

Sistema de coordenadas vertical

MSL EGM 96 Geoid Expresado en metre sobre WGS 84

Altura del geoido WGS 84 sobre el elipsoide [m]

Arbitrario

Opciones avanzadas de coordenadas

Ayuda < Atrás **Siguiente >** Cancelar

Figura 62. Sistema de coordenadas.

Fuente: Propia

Sistema de coordenadas de entrada: WGS-84

Sistema de coordenadas de salida:

Para El Salvador, se selecciona como sistema de coordenadas de salida el sistema de referencia geodésico moderno: Proyección Cónica Conformal de Lambert SIRGAS ES2007.8

Modelo de geoide: EGM 2008

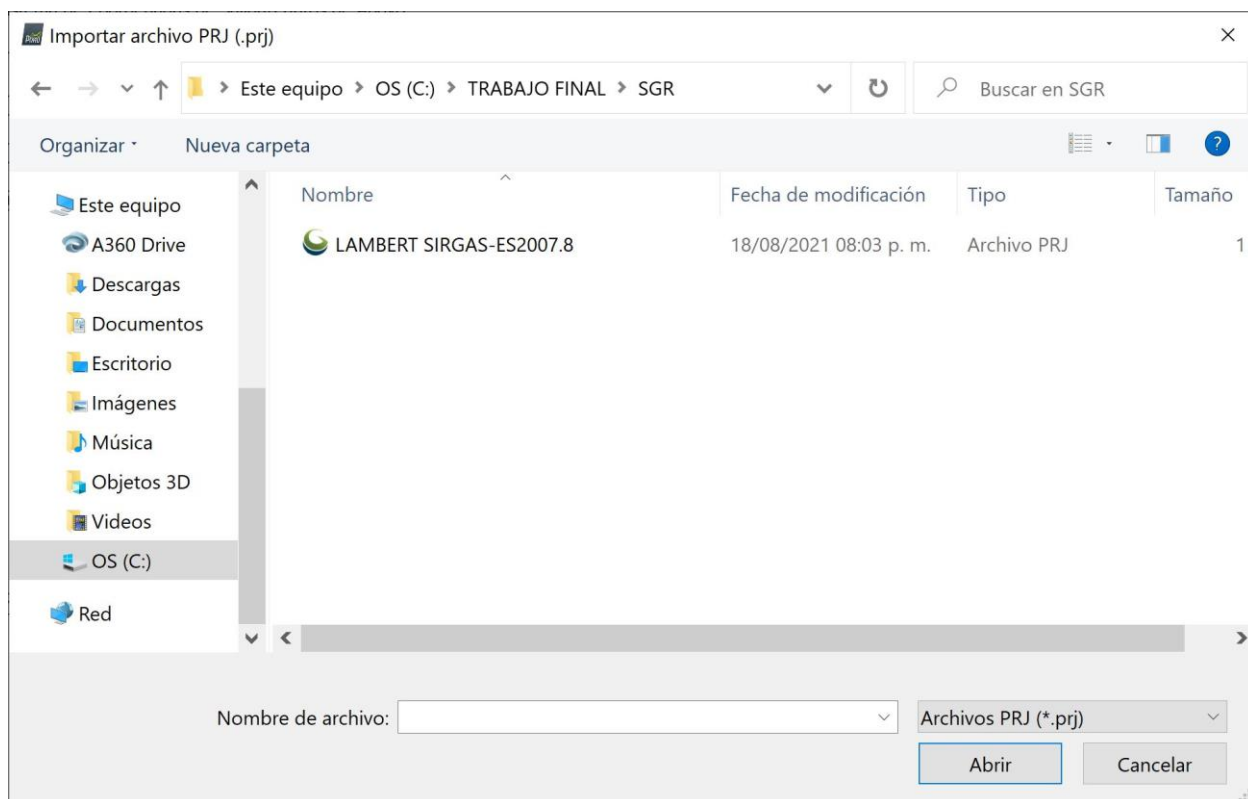


Figura 63. Selección de archivo Lambert SIRGAS-ES2007.8.

Fuente: Propia

Nuevo Proyecto

Selección de Sistema de Coordenadas de Salida

Sistema de coordenadas seleccionado

Datum: SIRGAS-ES2007.8
Sistema de Coordenadas: Lambert_Conformal_Conic (EGM 2008 Geoid)

Sistema de Coordenadas de Salida/Puntos de Apoyo

Unidad: m

Sistema de coordenadas arbitrario [m]

Auto detectado: WGS 84 / UTM zone 16N

Sistema de coordenadas conocido [m]

Lambert_Conformal_Conic

Desde PRJ... Desde la Lista... Desde EPSG...

Más sistemas de proyección disponibles en <http://spatialreference.org/>

Sistema de coordenadas vertical

MSL EGM 2008 Geoid Expresado en metre sobre WGS 84

Altura del geoide GRS_1980 sobre el elipsoide [m]

Arbitrario

Opciones avanzadas de coordenadas

Ayuda < Atrás Siguiete > Cancelar

Figura 64. Sistema de coordenadas de salida.

Fuente: Propia

En plantilla de opciones de procesamiento se selecciona: 3D Maps

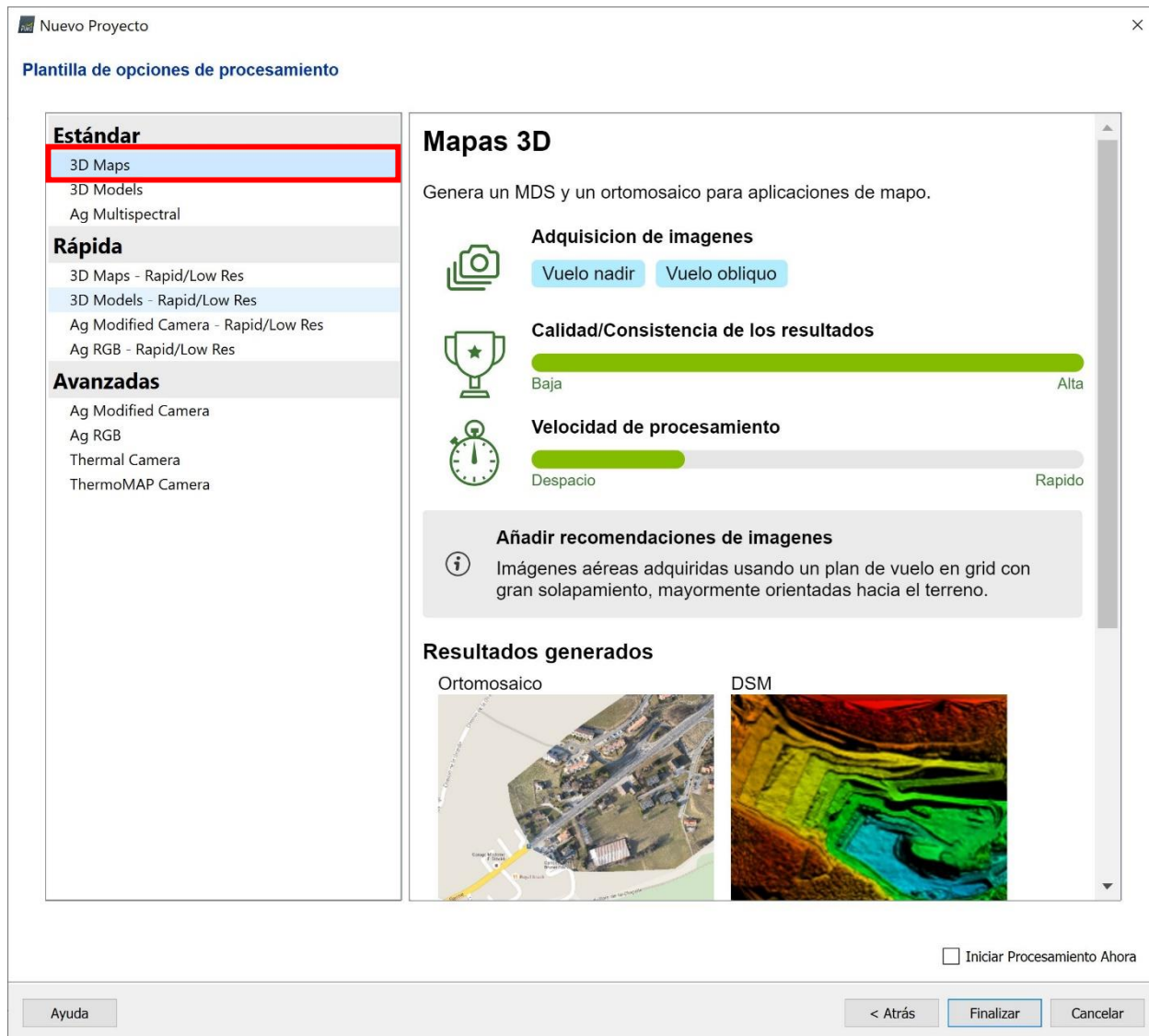


Figura 65. Plantilla de opciones de procesamiento.

Fuente: Propia

Procesamiento Inicial

Se presenta el plan de vuelo con las correspondientes fotografías capturadas por el dron.

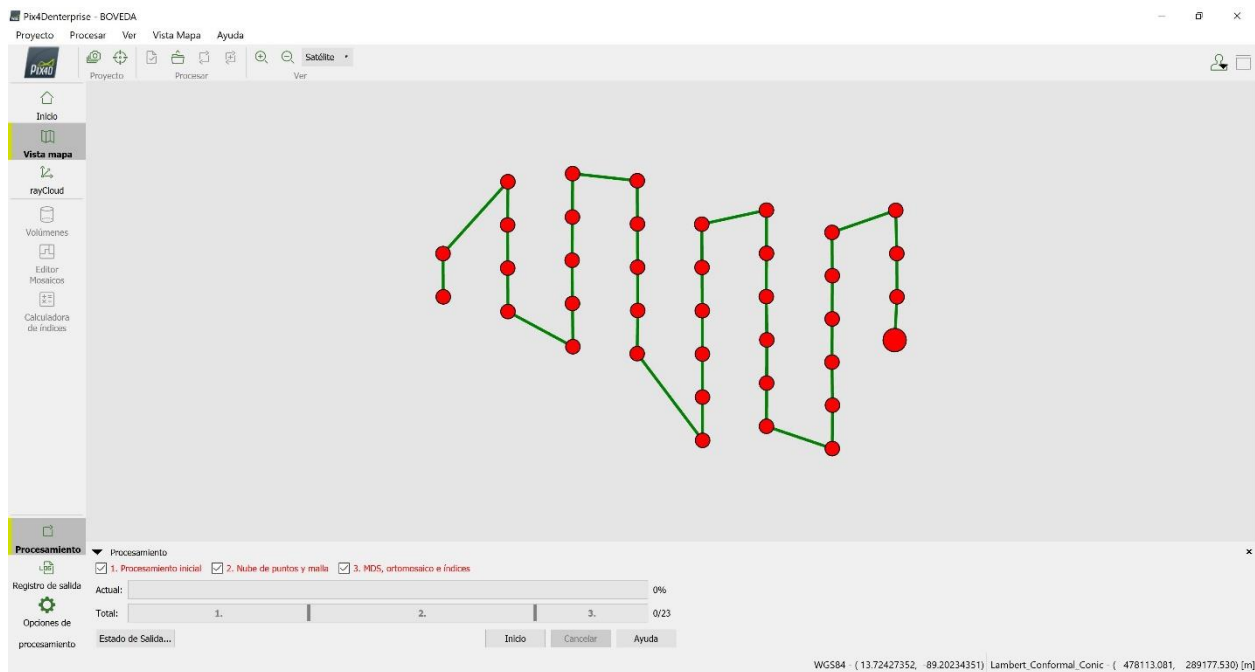


Figura 66. Plan de vuelo.

Fuente: Propia

- Marcar la casilla:
 1. Procesamiento inicial
- Desmarcar las casillas:
 2. Nube de puntos y malla
 3. MDS, ortomosaico e índices
- Ir a opciones de procesamiento:

Marcar la casilla: 1. Procesamiento inicial
- Ir a general:

Selecciona opción: Completa
- Marcar la casilla: General pre visualización del ortomosaico en el Informe de Calidad

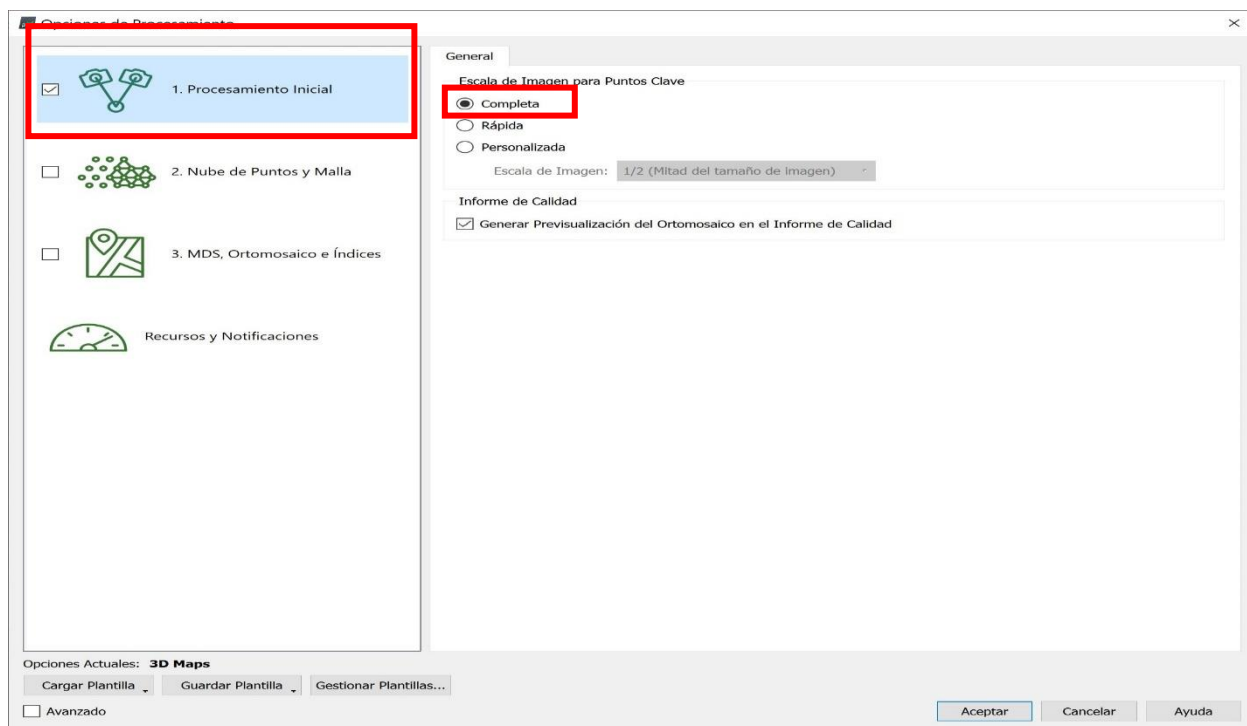


Figura 67. Opciones de procesamiento.

Fuente: Propia

- Se genera el informe de calidad

Quality Report - BOVEDA

Soporte en línea

Quality Report

Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	BOVEDA
Processed	2021-10-21 19:28:11
Camera Model Name(s)	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.74 cm / 1.47 in
Area Covered	0.268 km ² / 26.7800 ha / 0.10 sq. mi. / 66.2091 acres
Time for Initial Processing (without report)	06m:31s

Mostrar Automáticamente después del Procesamiento Cerrar

Figura 68. Informe de calidad

Fuente: Propia

- Dar clic en Inicio para realizar procesamiento de fotografías

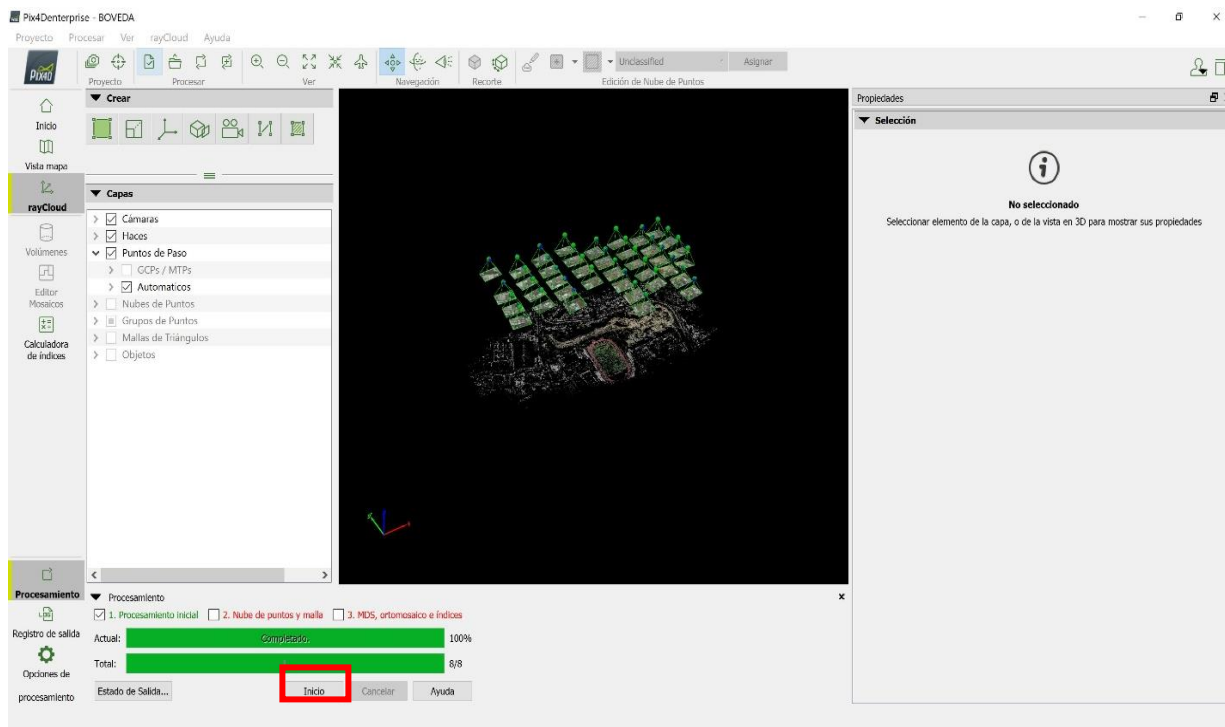


Figura 69. Inicio de procesamiento inicial.

Fuente: Propia

1.15 Paso 2: Nube de puntos y malla

Para el procesamiento del paso 2 en PIX4D se realizan una serie de configuraciones que lo completan como la colocación de puntos de paso que tenemos como un mínimo de 5 puntos por cada punto cardinal y otros 5 extras al centro teniendo un total de 25 puntos para que estos se vinculen a la mayor cantidad de fotos posibles y puedan tener un buen traslape para un mejor resultado al procesamiento de este paso, así como la colocación de puntos de control que servirán para georeferenciar la imagen.

La georeferenciación de las imágenes en el software consiste en cargar las coordenadas conocidas de los puntos de control que obtuvo en campo con el GPS diferencial, y posteriormente ubicarlos en las fotografías (por esta razón es de gran importancia materializar o marcar bien los puntos en el terreno para que

se visualicen con facilidad en las fotografías). la georreferenciación se realiza con el fin de que las fotografías no queden desconfiguradas ni en posición (X, Y) ni en altura (z).

El primer paso para la georreferenciación es definir el sistema de coordenadas con el que se trabaja, dicho sistema de coordenadas debe ser el mismo con el que se realizó el postproceso de los puntos de control y sobre el cual se tienen definidas las coordenadas. Este sistema de proyección puede ser local o proyectado según el proyecto que se esté realizando.

PUNTOS DE PASO

Luego de haber finalizado el paso 1 procedemos a insertar los puntos de paso como mínimo 25 se establecerá el procedimiento para uno y el resto se hace de igual manera

Se selecciona la pestaña rayCloud y luego se desactiva la casilla de cámaras

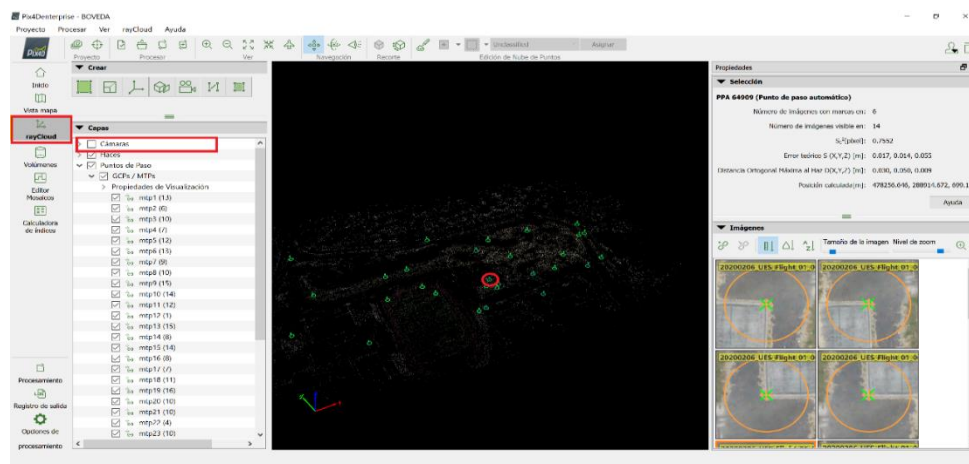


Figura 70. Puntos de paso

Fuente: propia

- ✓ Se selecciona un punto que se considere que tiene una mayor visibilidad para luego proceder a marcar ese punto en las fotografías que nos aparecen en el costado derecho

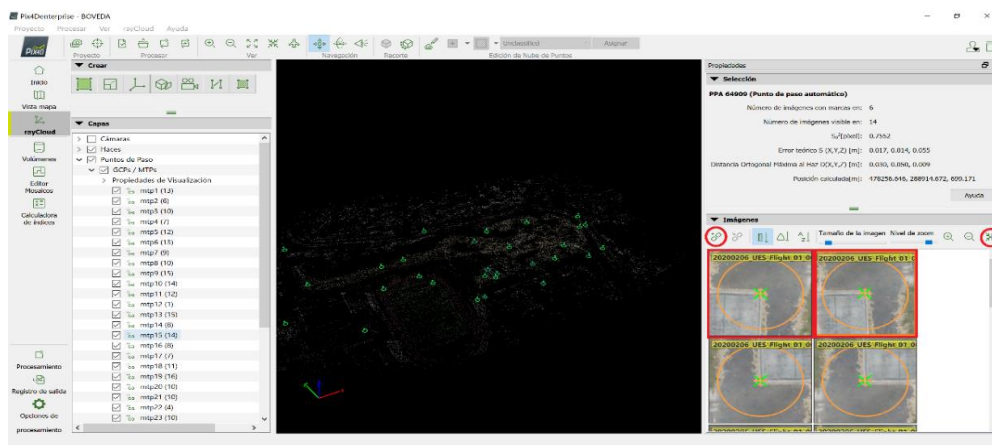


Figura 71. Puntos de paso.

Fuente: propia

- ✓ Seleccionamos punto de paso nuevo marcado con un círculo en la ventana de propiedades
- ✓ Seleccionamos la fotografía en el lugar que se defina con mejor calidad y se hace el mismo procedimiento para la imagen siguiente y darle foco en la selección y que esta opción nos marque cada fotografía y evitar ir marcando fotografía por fotografía por último le damos aplicar.
- ✓ Nos dirigimos a la barra de menú, seleccionamos procesar, luego le damos clic en reemparejar y optimizar. Este paso nos sirve para un acomodamiento y mejor traslape de imágenes.

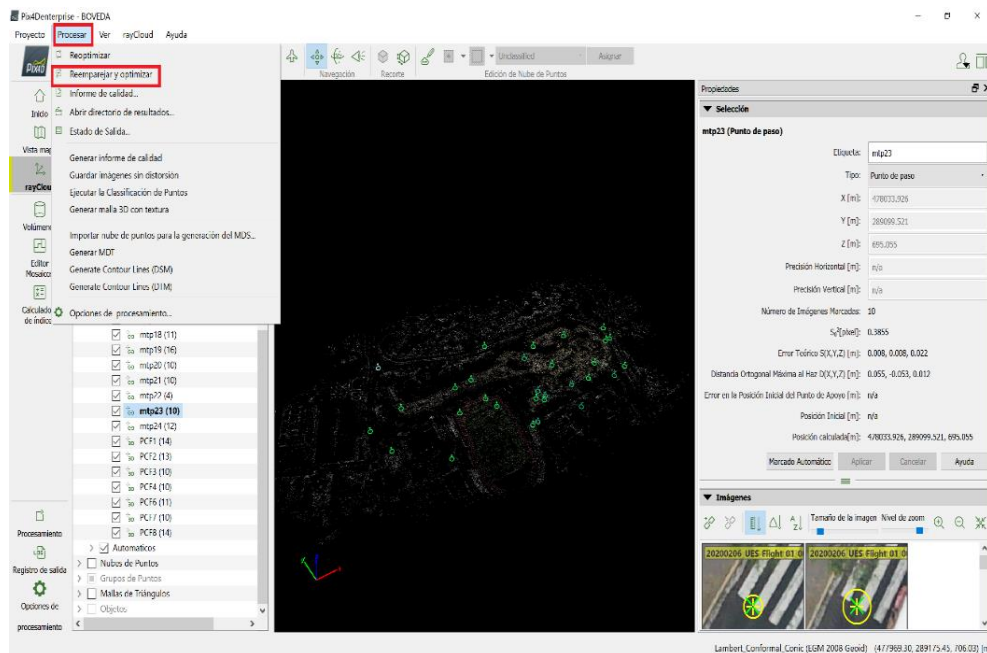


Figura 72. Puntos de paso.

Fuente: Propia

- ✓ Seleccionamos si y procedemos a incorporar los puntos de control

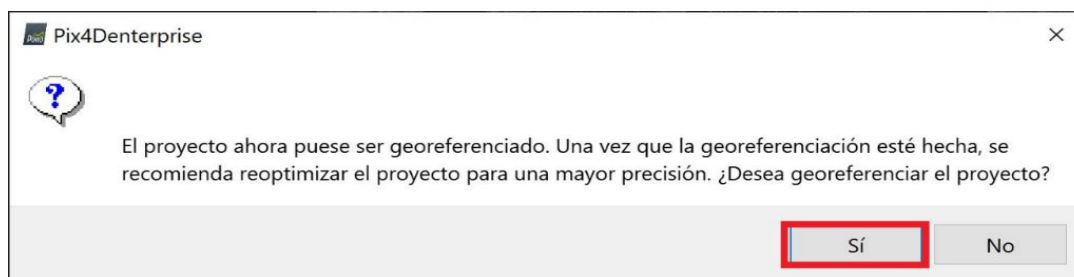


Figura 73. Puntos de paso.

Fuente: Propia

PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAMÉTRICOS (PCF)

Se establecerán punto de control luego de haber revisado cada fotografía del vuelo fotogramétrico y ver que hay puntos con vértices que son identificables que

estos serán los sustitutos de las lonas que se colocan previo al vuelo para luego darles sus coordenadas ya sea con GPS o con estación total.

- ✓ En la barra de menú seleccionamos proyecto, Gestor GCP/MTP...

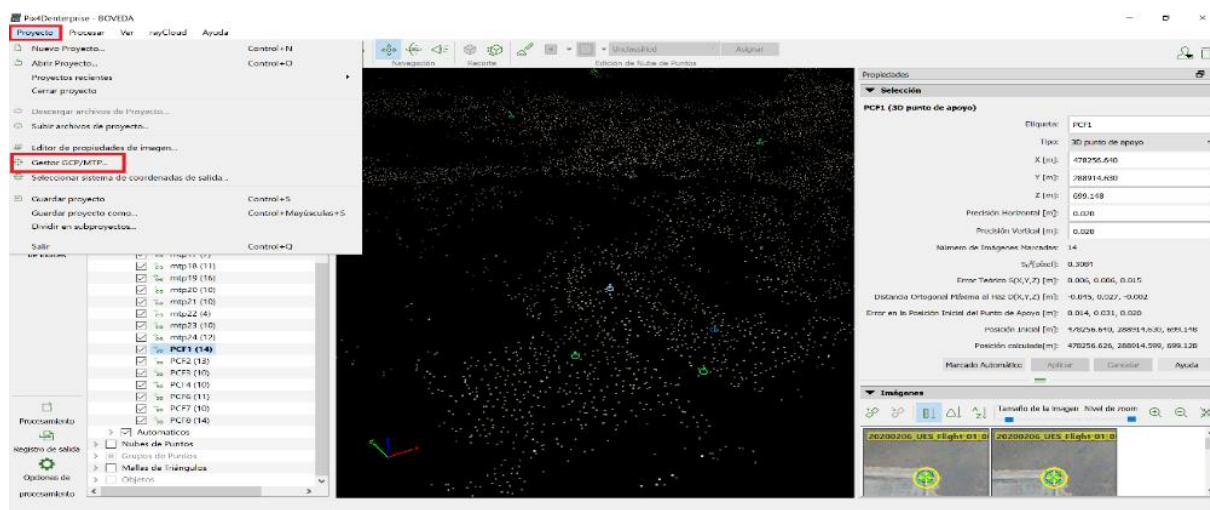


Figura 74. Puntos de control fotogramétricos.

Fuente: Propia

- ✓ En la ventana Gestor GCP/MTP seleccionamos la pestaña importar puntos de apoyo.

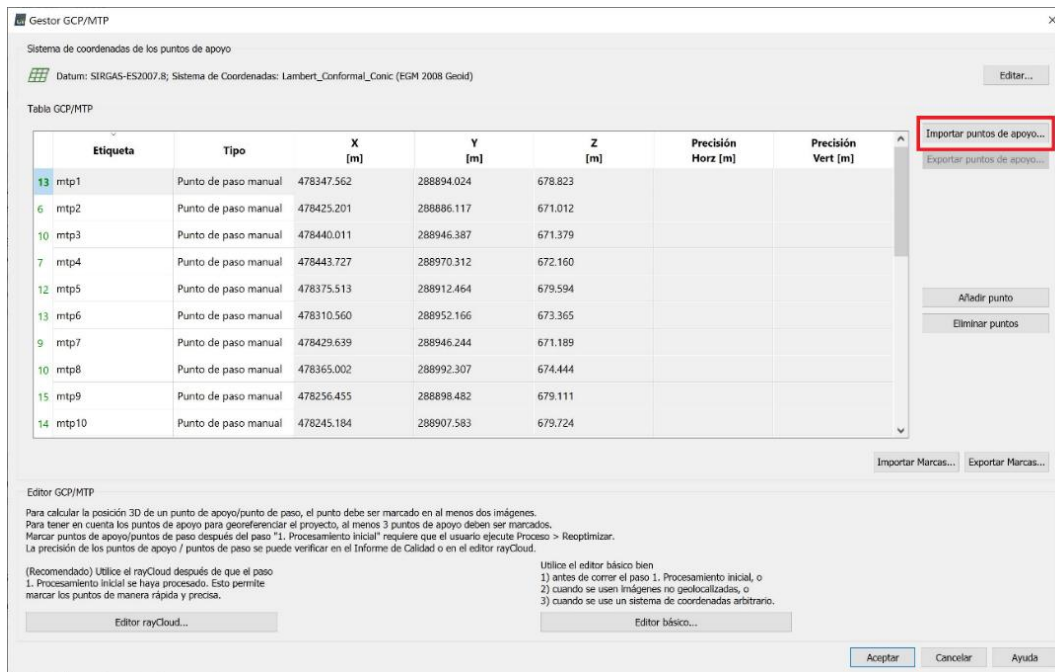


Figura 75. Puntos de control fotogramétricos.

Fuente: Propia

- ✓ Dentro del cuadro de importar puntos de apoyo seleccionamos el orden de las coordenadas en nuestro caso fue de Y, X, Z luego seleccionamos la pestaña de explorar en fichero.

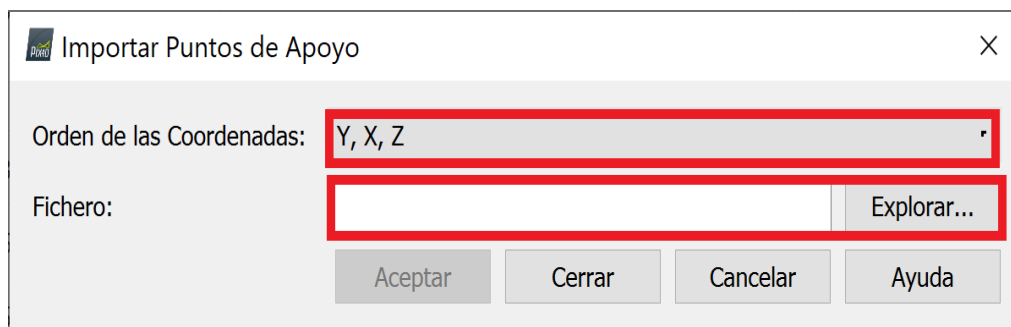


Figura 76. Puntos de control fotogramétricos.

Fuente: Propia

- ✓ En explorar fichero buscamos la carpeta donde estamos realizando el proyecto y donde tenemos guardado el archivo PCF.txt y le damos abrir y luego en aceptar.

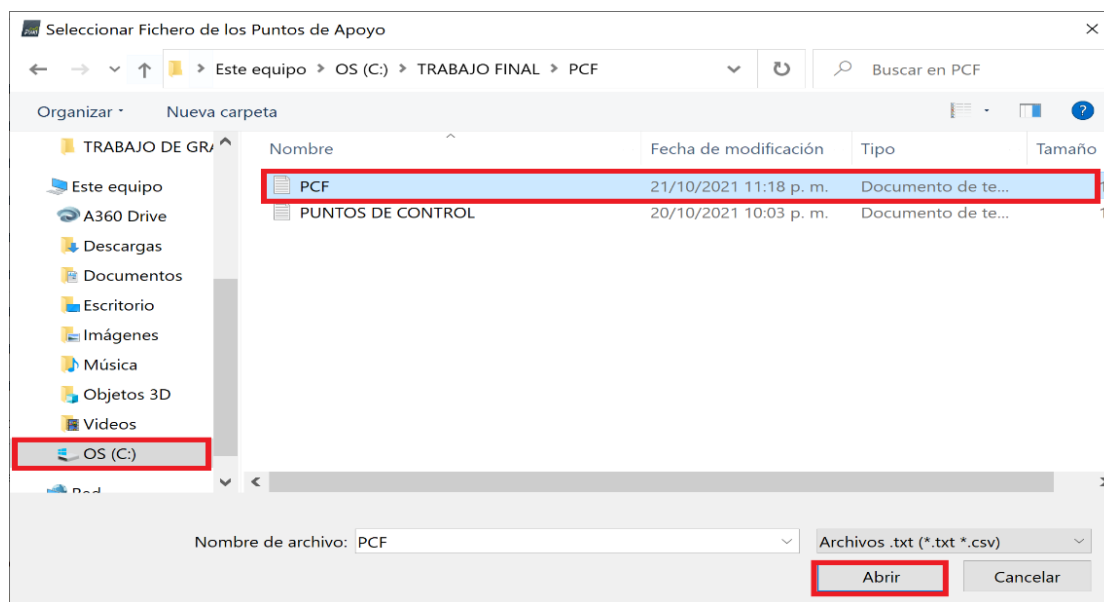


Figura 77. Puntos de control fotogramétricos.

Fuente: Propia.

- ✓ Como se observa los puntos ya han sido insertados con éxito y concuerdan con las coordenadas X, Y, Z de los puntos de paso que ya se habían generado seleccionamos aceptar y procedemos a seleccionar cada punto en la ubicación de coordenadas que le corresponde.

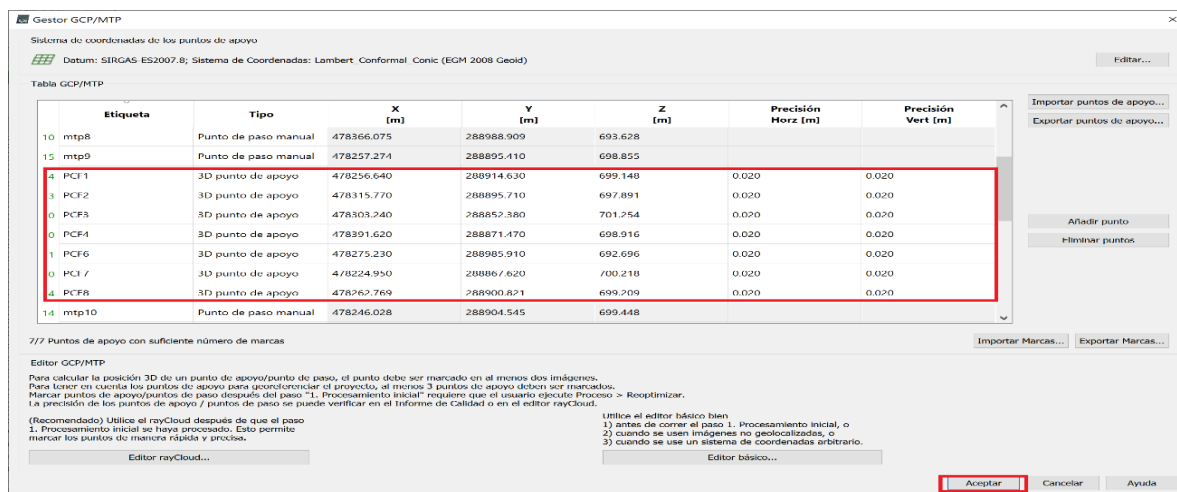


Figura 78. Puntos de control fotogramétricos.

Fuente: Propia.

- ✓ Para darle coordenadas a los puntos de control nos ubicamos en rayCloud y desplegamos la pestaña puntos de paso, GCP/MTPs, propiedades de visualización, en donde seleccionamos el primer punto de control PCF1, y en la parte derecha en la ventana propiedades nos da la referencia del punto seleccionado y lo reconoce como punto de control o punto de apoyo, seleccionamos el punto donde se encuentra en las fotografías desplegadas en propiedades lo hacemos para dos fotografías luego seleccionamos foco en la selección para que nos oriente este punto en todas las imágenes verificamos que concuerde y le damos aplicar.

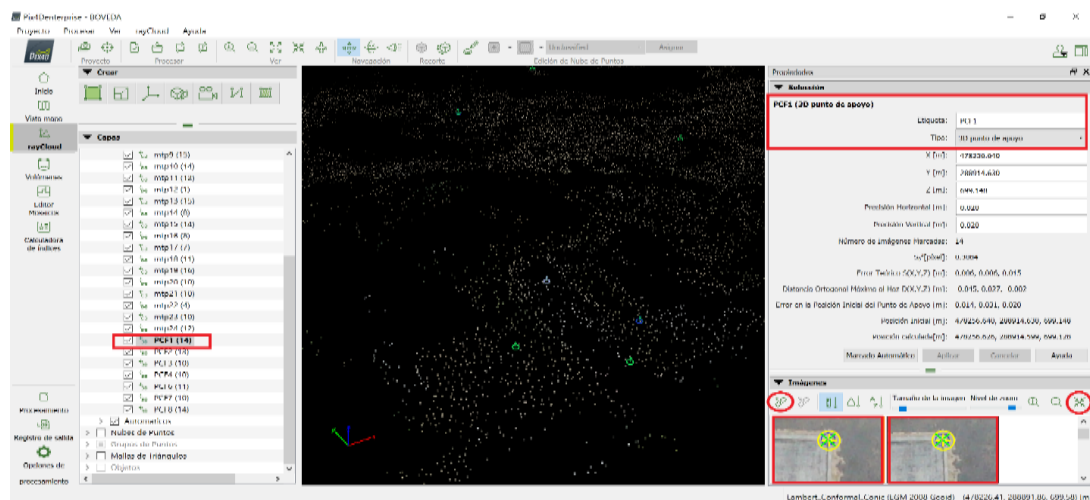


Figura 79. Procesamiento.

Fuente: Propia.

- ✓ Seleccionamos paso 2 y en opciones de procesamiento configuramos los parámetros.

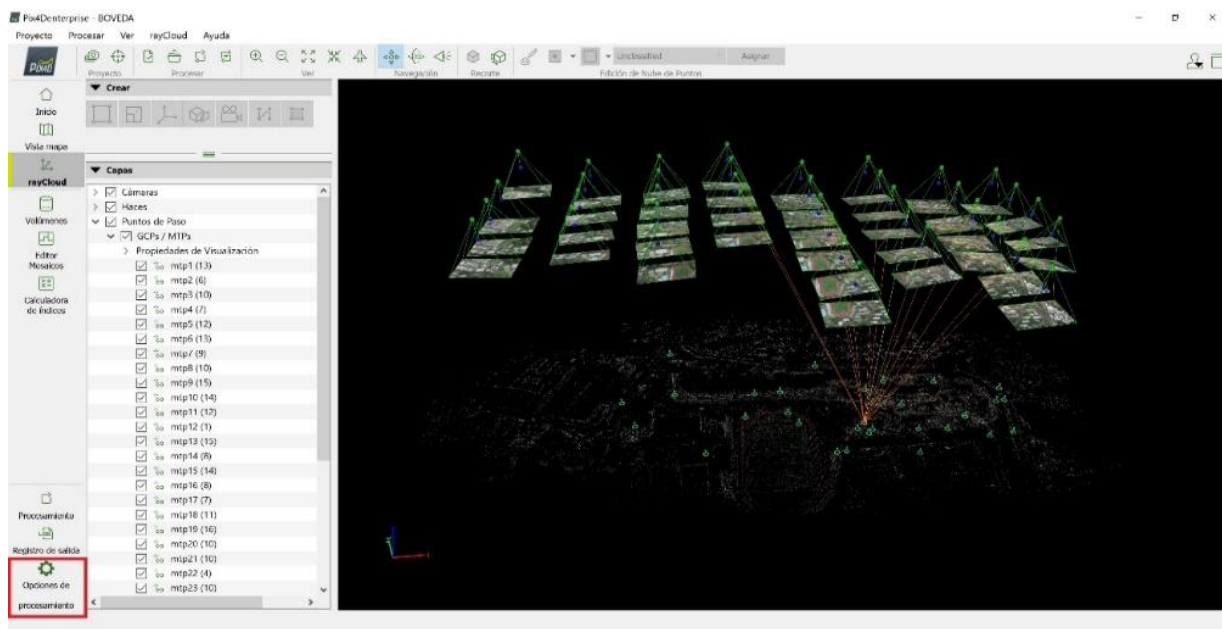


Figura 80. Procesamiento.

Fuente: Propia.

- ✓ Marcamos la casilla de nube de puntos y malla en la pestaña nube de puntos configuramos todos los parámetros tal y como se ve en la imagen.
- ✓ En la pestaña Malla 3D con textura configuramos todos los parámetros tal y como se muestran en la imagen luego le damos en aceptar.

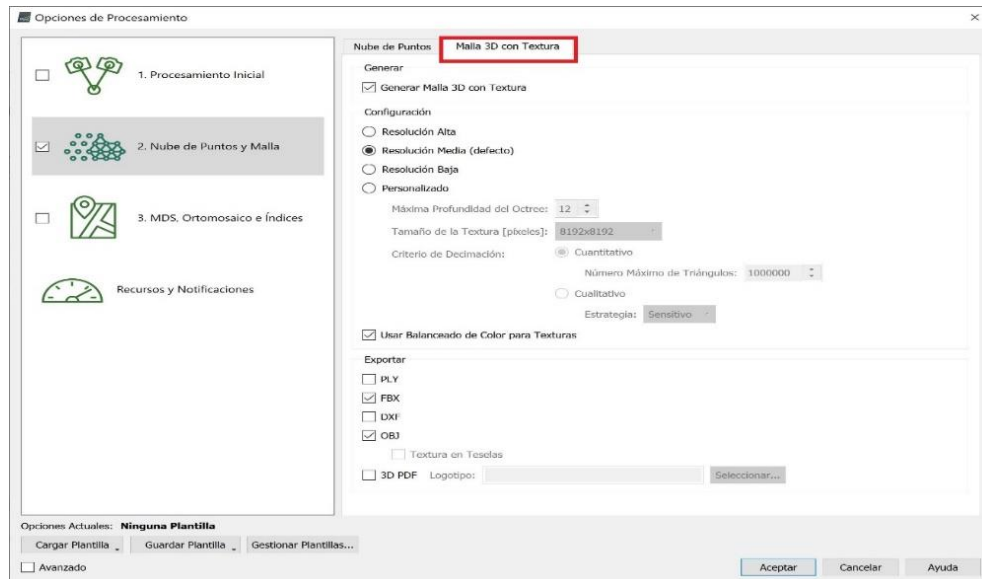


Figura 81. Procesamiento.

Fuente: Propia.

- ✓ Ya configurado y que todo esté listo procedemos a seleccionar inicio para el procesamiento del paso 2.

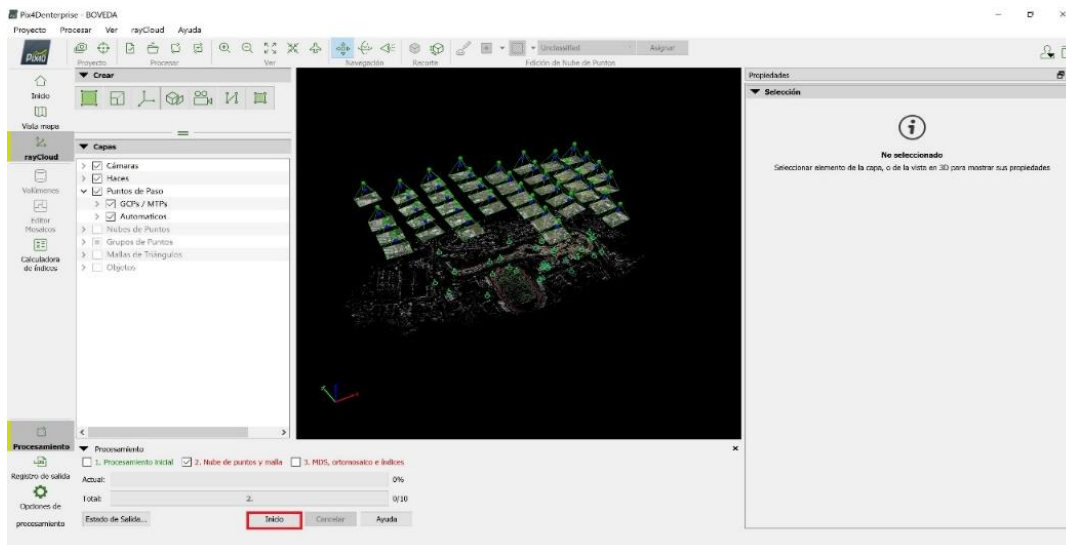


Figura 82. Procesamiento.

Fuente: Propia.

- ✓ Al terminar el procesamiento del paso 2 se nos habilitan más opciones en la pestaña capas como nubes de puntos, y malla de triángulos también se observa que el procesamiento 1 y 2 ya han cambiado de color hoy se presentan en verde un indicativo de que su proceso ya se llevó a cabo.

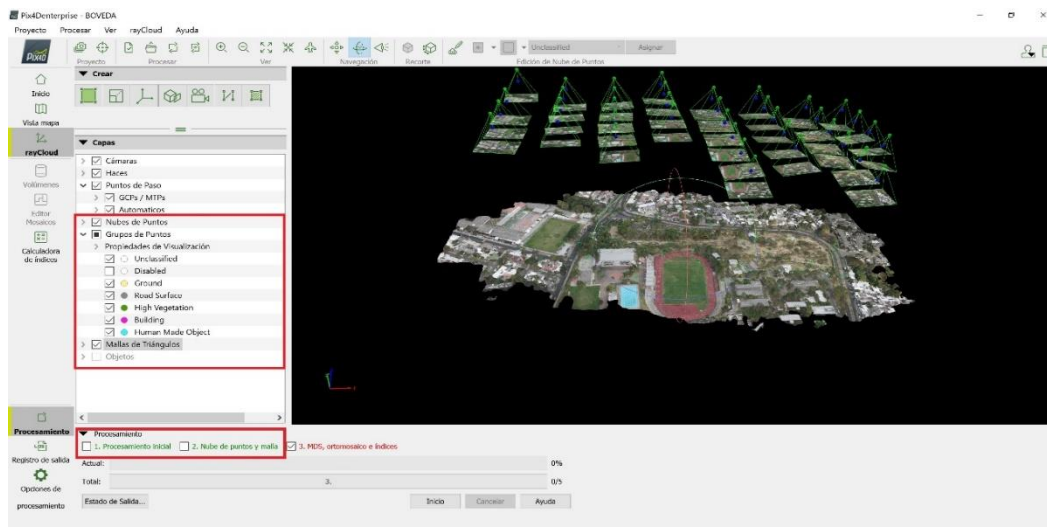


Figura 83. Procesamiento.

Fuente: Propia.

1.16 Paso 3: MDS, ortomosaico e índices

En este paso se genera el archivo MDS (MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE), el orto mosaico, permite definir la resolución espacial de los mismo y definir parámetros para filtrar y suavizar los puntos de la nube.

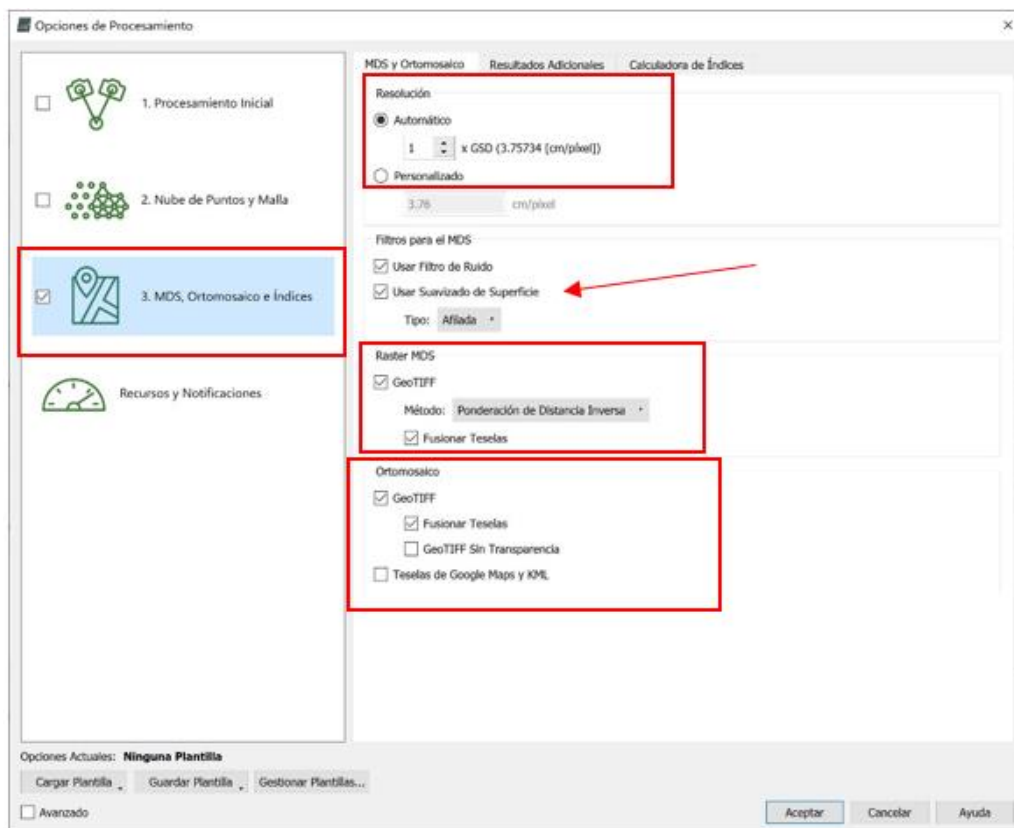


Figura 84. Paso 3, DSM y ortomosaico.

Fuente: Propia.

En la pestaña de resultados adicionales seleccionar el formato de archivo de salida para Grid DSM.

Permite al usuario generar las curvas de nivel utilizando el Raster MDT(modelo digital de terreno) y seleccionar las opciones de procesamiento para las curvas de nivel.

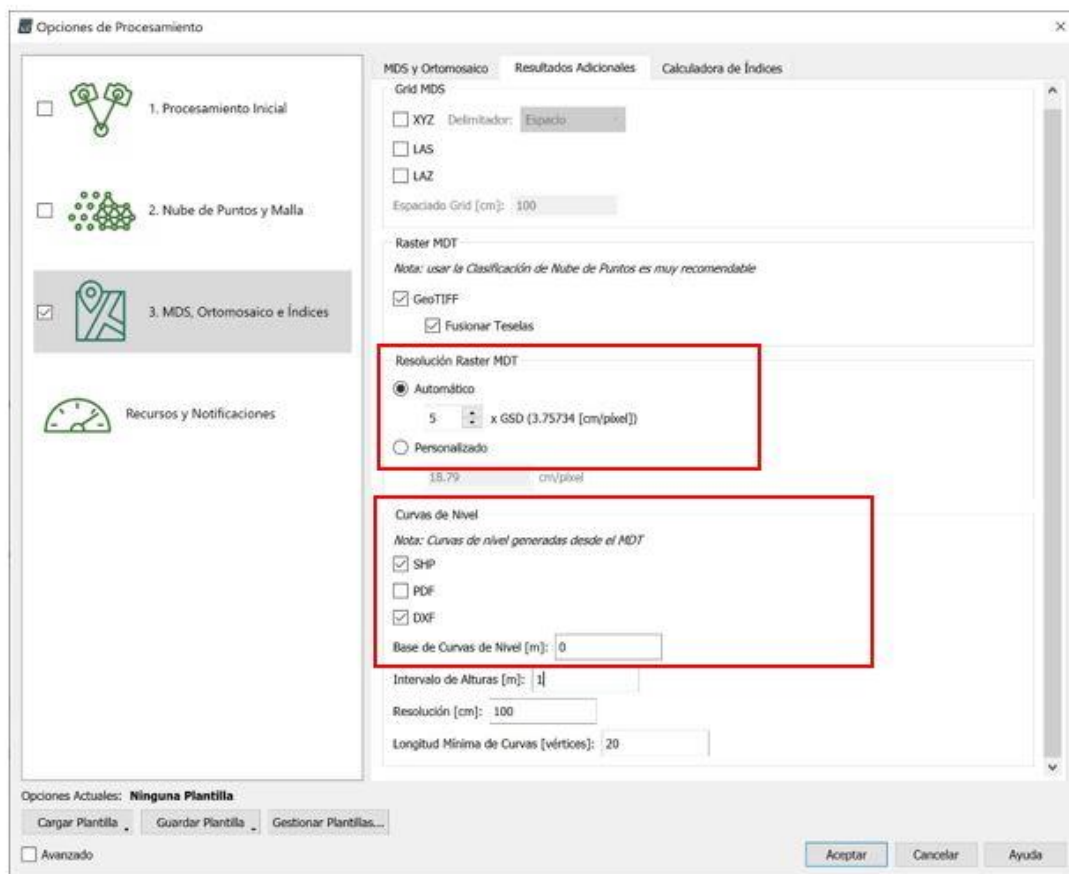


Figura 85. Paso 3, resultados adicionales.

Fuente: Propia.

Dar clic en aceptar, inicia el proceso como lo muestra la siguiente imagen

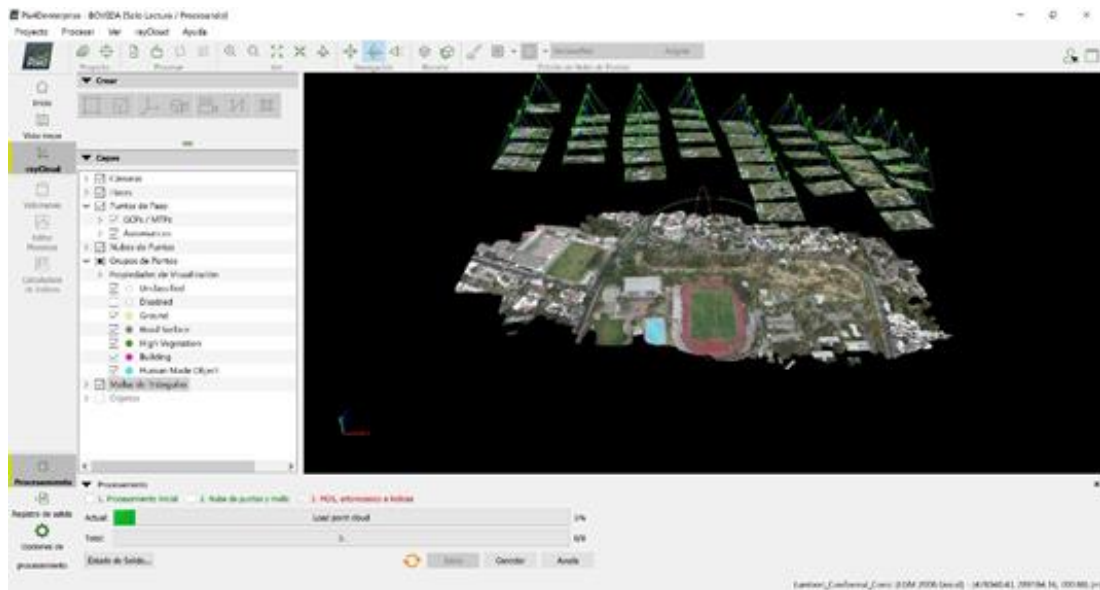


Figura 86. Procesamiento paso 3.

Fuente: Propia.

En esta pestaña se puede cambiar mosaico-DSM-MDT:

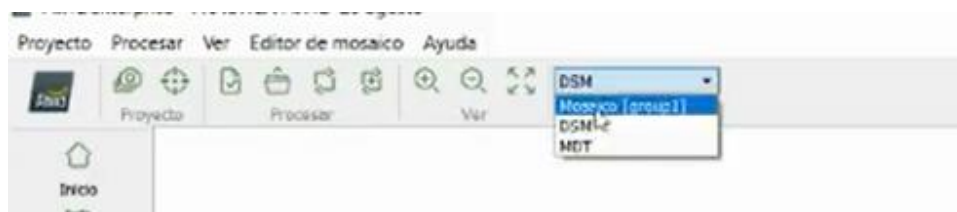


Figura 87. Pestaña donde cambiar mosaico-DSM-MDT.

Fuente: Propia.

Tenemos como resultado el orto mosaico:

Modelo Digital de Superficie (MDS):

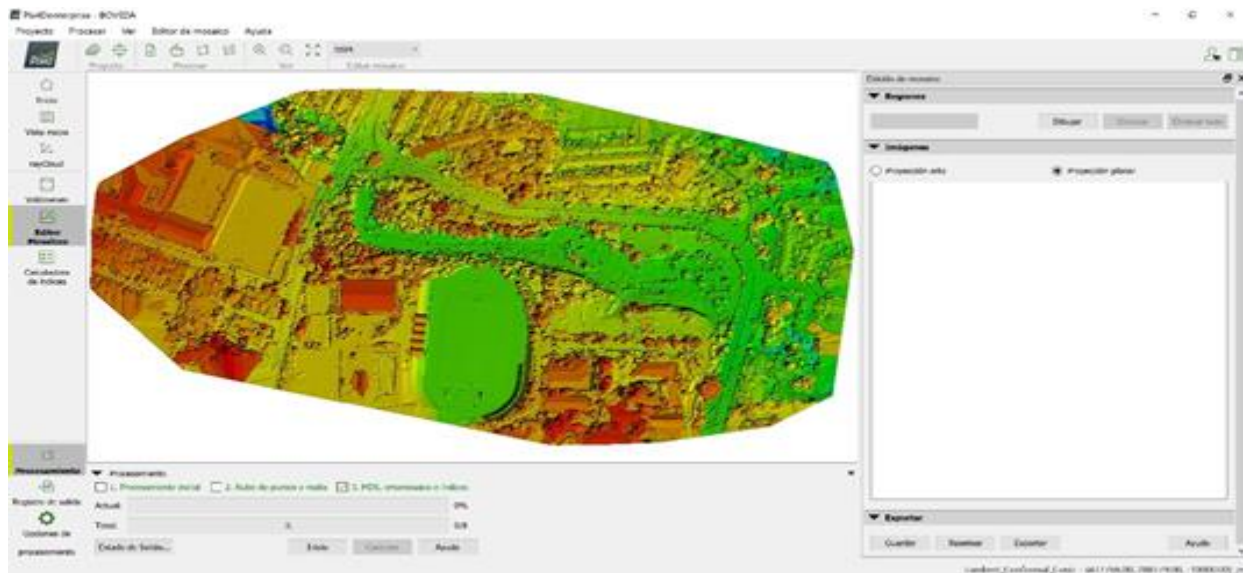


Figura 88. Modelo Digital de Superficie (MDS).

Fuente: Propia

Modelo Digital del Terreno (MDT):

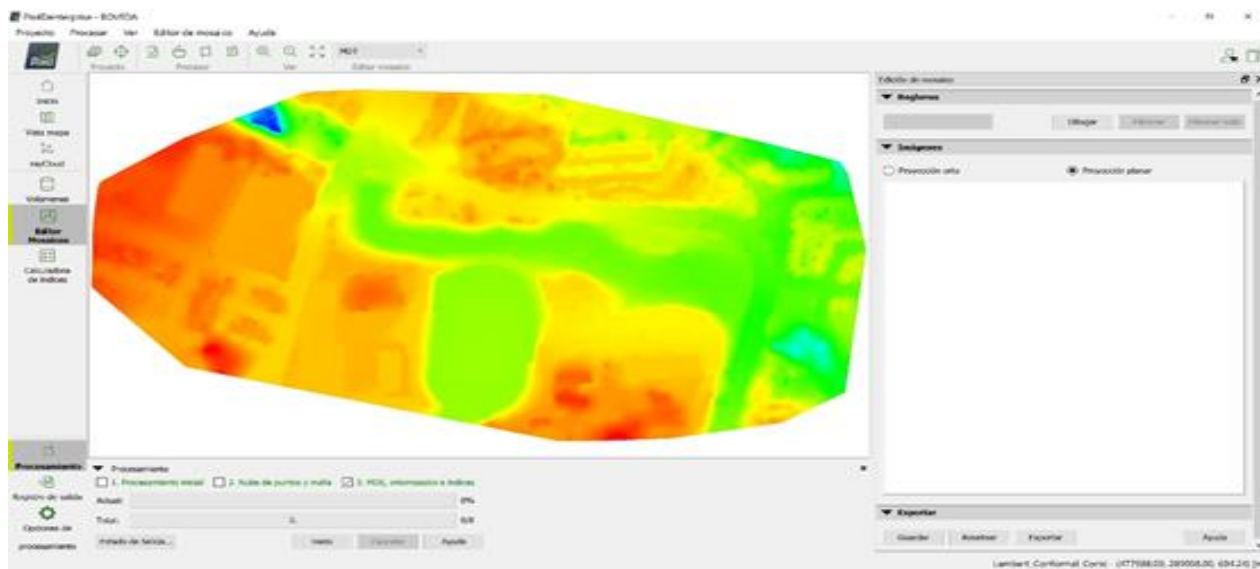


Figura 89. Modelo Digital del Terreno (MDT).

Fuente: Propia.

CAPÍTULO V: “ANÁLISIS DE RESULTADOS”

Posteriormente a haber obtenido la “ORTOFOTO” con el procesamiento y apoyo del software Pix4D, se ha procedido a realizar un “Plano georreferenciado en AutoCAD”, del tramo asignado como grupo 1 – Bóveda.

En primer lugar, con ayuda del software GLOBAL MAPPER, se ha exportado la ORTOFOTO del formato .TIF a JPG:

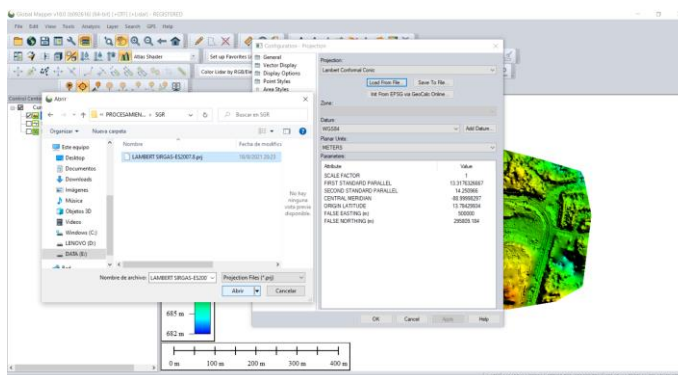


Figura 90. Georreferenciando el software Global Mapper con el Sistema de Referencia Lambert Sirgas ES2007.8.

Fuente: Propia.

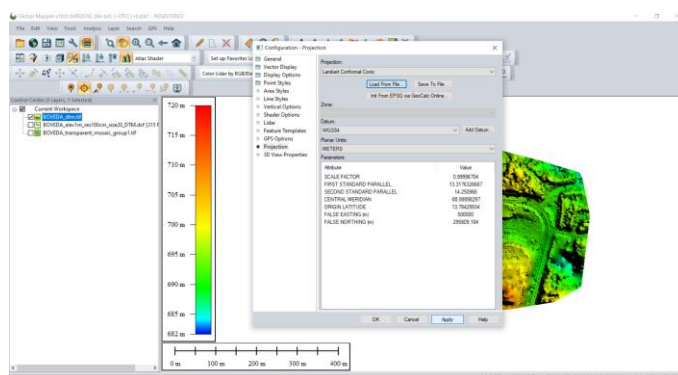


Figura 91. Se verifican los parámetros del archivo y se aceptan. De esta manera ya se encuentra en coordenadas consistentes para proceder a la exportación.

Fuente: Propia.

Se procede a cargar la ORTOFOTO en Global Mapper y a exportar <<Export Raster/Image Format>>:

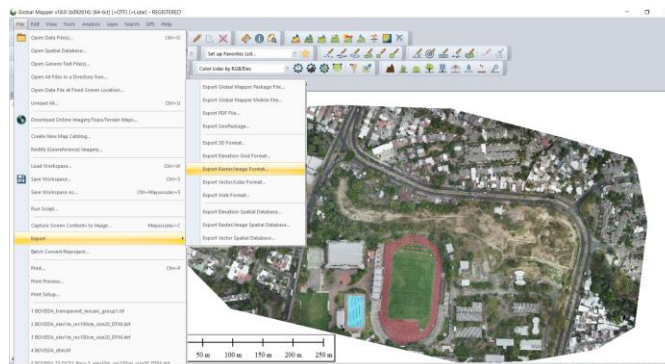


Figura 92. Se selecciona la opción para exportación en Global Mapper.
Fuente: Propia.

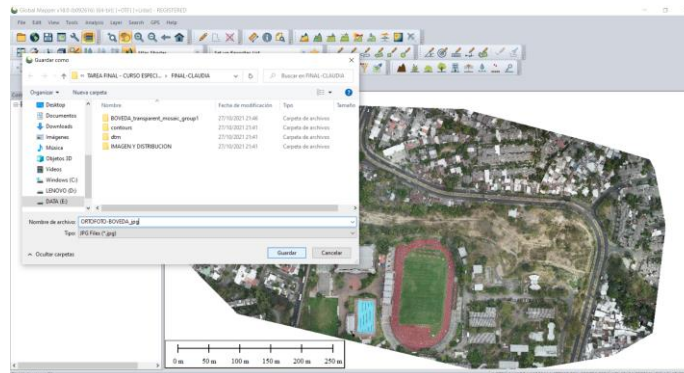


Figura 93. Se guarda en un destino especificado, en formato JPG.
Fuente: Propia.

Ya teniendo generada la ORTOFOTO, en formato JPG, se procede a abrir el Software AutoCAD CIVIL 3D 2021, se selecciona <<Planning and Analysis>> y posteriormente se inserta la imagen:

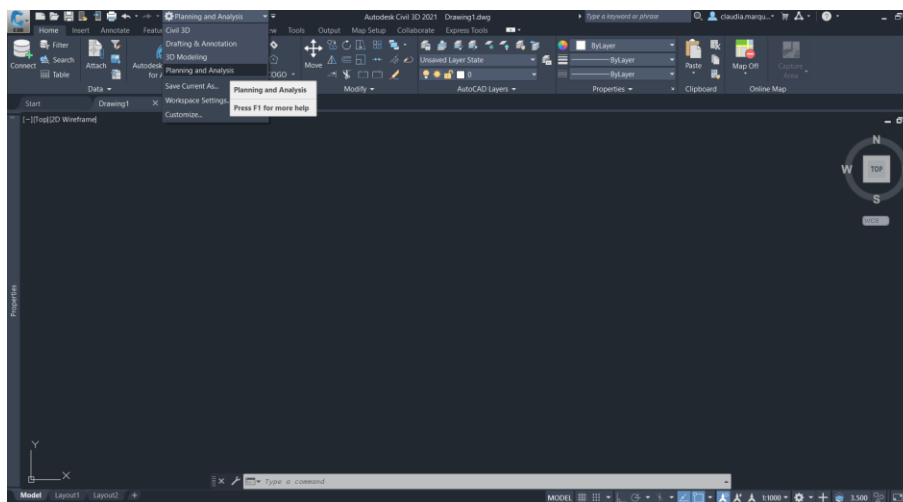


Figura 94. Abriendo el entorno de AutoCAD Civil 3D 2021 y seleccionando <<Planning and Analysis >>.
Fuente: Propia.

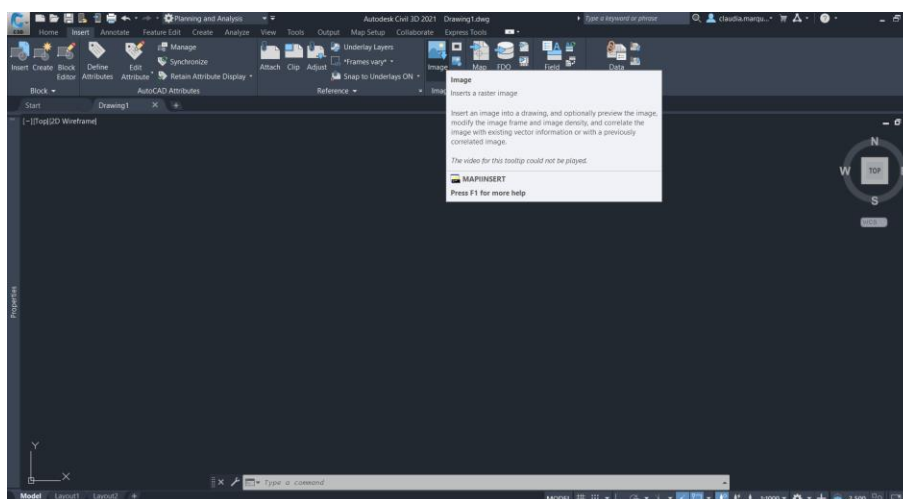


Figura 95. Se procede a insertar la imagen en la pestaña <<Insert >>.
Fuente: Propia.

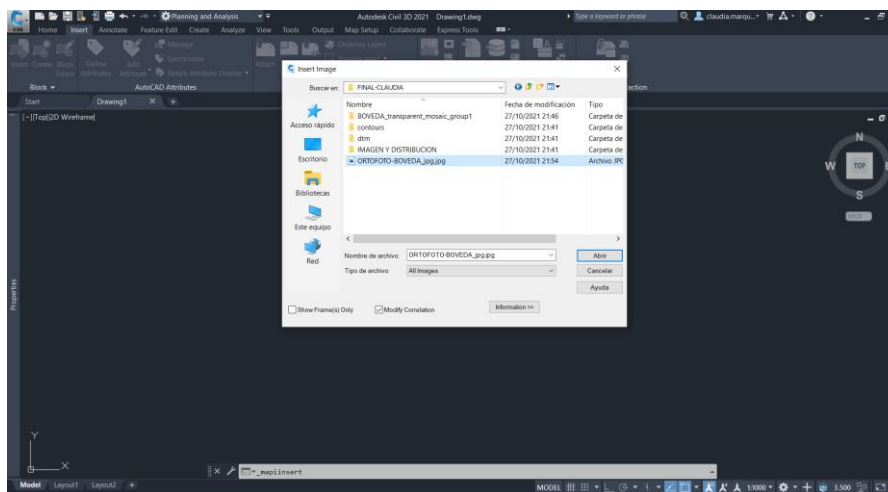


Figura 96. Se selecciona la imagen exportada anteriormente por Global Mapper.
Fuente: Propia.

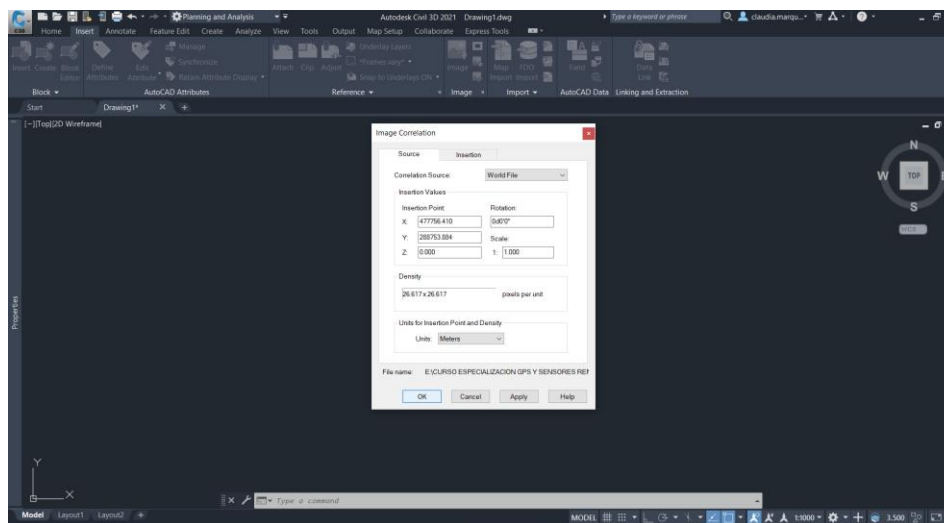


Figura 97. Se aplican las coordenadas por defecto de la ORTOFOTO.
Fuente: Propia.

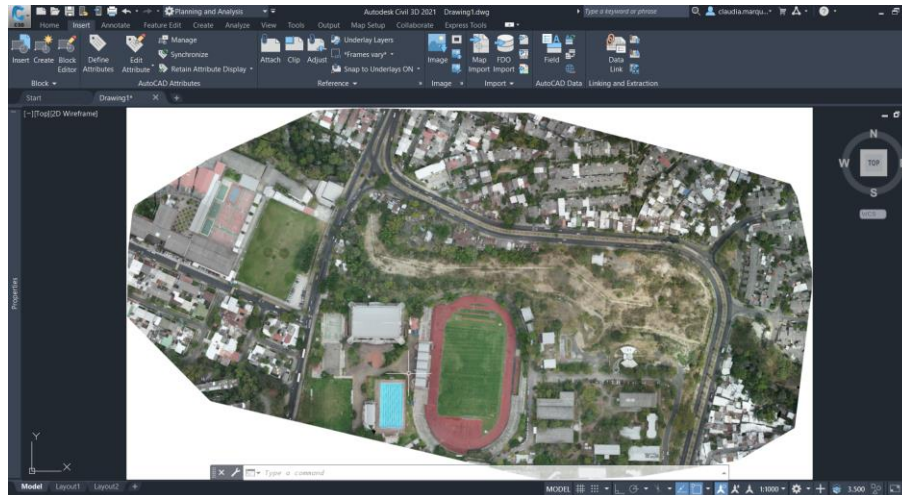


Figura 98. Se visualiza posteriormente la imagen georreferenciada.

Fuente: Propia.

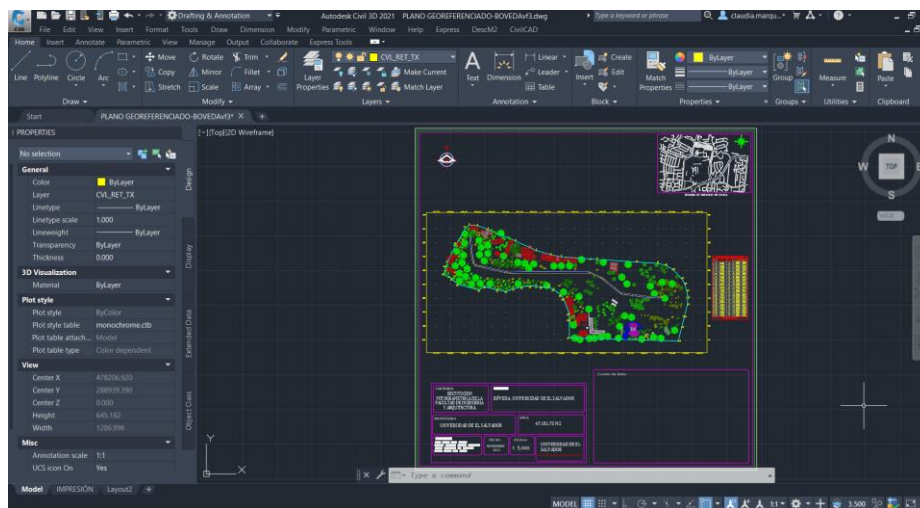


Figura 99. Por último, se comienza a dibujar las poligonales, detalles, arboles, etc, sobre la ORTOFOTO. Se inserta un membrete y su respectivo cuadro de rumbos, distancias y coordenadas con el uso del Software Civil CAD 2021.

Fuente: Propia.

- En el reporte de calidad debemos verificar que:
- Los checks estén en verde
- Que se haya completado el paso 1, con las 38 fotografías y que aparezcan el 100% calibradas.

- La optimización de la cámara, el valor de diferencia relativa sea menor a 5%.
- En georreferenciación, el error de GCP sea inferior a 3 x GSD (resolución espacial).

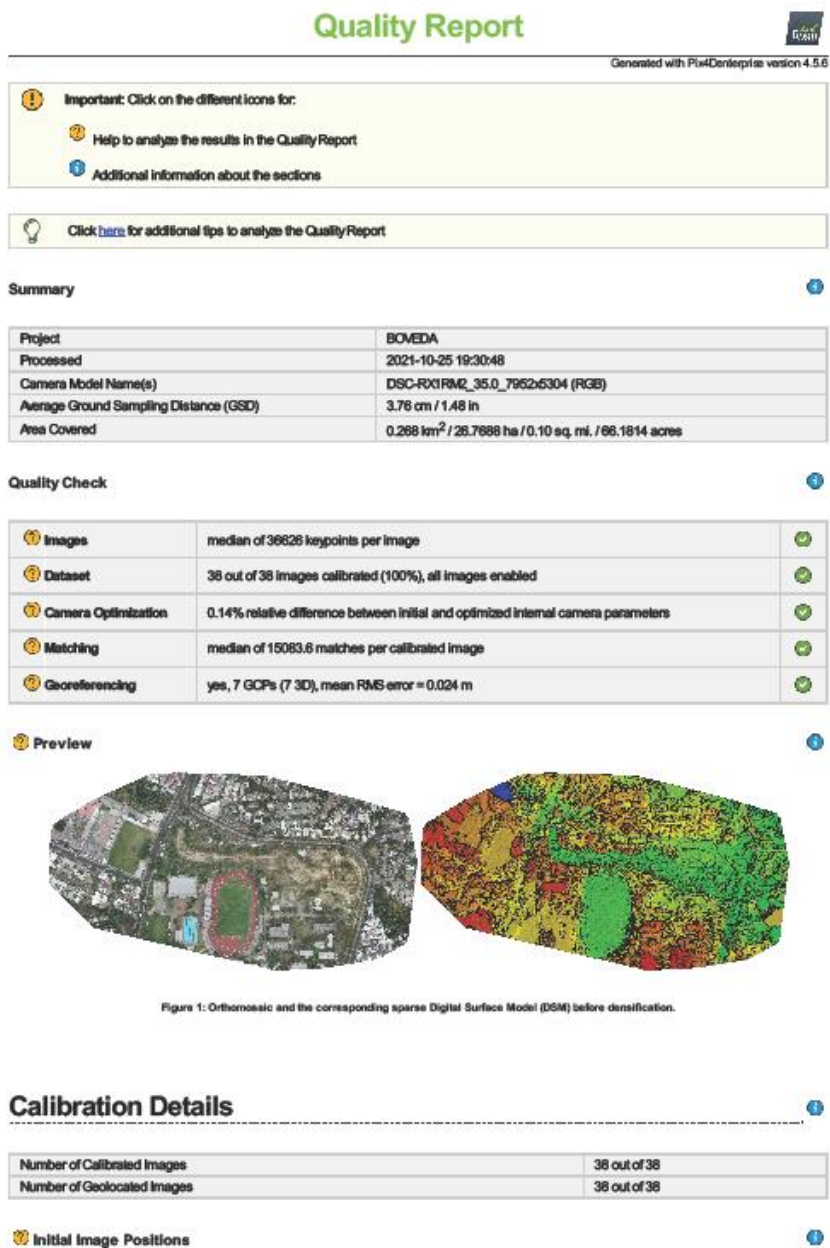


Figura 100. Reporte de calidad
Fuente: Propia.

CAPÍTULO VI: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

1.17 CONCLUSIONES

- Un Modelo Digital de Superficie crea un relieve de la tierra incluyendo la vegetación, edificaciones y objetos presentes. Un Modelo Digital de Elevación muestra el relieve del suelo. Un Modelo Digital del Terreno es un Modelo Digital de Elevación que incorpora otros elementos geográficos como crestas, líneas de ruptura, ríos, etc.
- La resolución espacial del trabajo depende del de la cámara y de la altura de vuelo.
- La planificación técnica de un plan de vuelo debe considerar:
 - Cumplir con los solapamientos de 60 % lateral y 75 % frontal
 - Elegir la distancia de muestreo adecuada, donde no pueda
 - Controlar el tiempo de vuelo, se debe considerar unos minutos adicionales de los que aparen en plan de vuelo como factor de seguridad por cualquier imprevisto.
 - Elegir el punto de despegue correcto, donde no haya obstrucciones cercanas.
- Las fotografías aéreas verticales permiten determinar una gran cantidad de información referente a grandes extensiones de terrenos, distancias horizontales y verticales en los mismos, pendientes entre otros, de ahí deriva la gran importancia de la fotogrametría como ciencia desarrollada para obtener medidas reales a partir de fotografías, tanto terrestres como aéreas, para realizar mapas topográficos, mediciones y otras aplicaciones geográficas. Muchos mapas topográficos se realizan gracias a la fotogrametría aérea, por lo tanto, se requieren cámaras adecuadas.

1.18 RECOMENDACIONES:

- No exceder el rango de la telemetría, si este se pierde el dron seguirá hasta completar su misión, aunque en el control remoto no lo refleje, por eso lo recomendable es ubicarse cerca del área a levantar.
- Volar con un cielo despejado.
- Para el vuelo las baterías deben estar cargadas en un 100%.
- En el momento de ir a campo a realizar el levantamiento se debe realizar una inspección previa para considerar puntos de mayor elevación, con menos obstrucciones dado que el dron considera la altura de vuelo a partir de su inicio o punto de partida.
- Para definir el tiempo de vuelo es aconsejable que se considere minutos extras como factor de seguridad debido a posibles inconvenientes.
- Cuidar que, en el procesamiento, la secuencia lógica de pasos será la siguiente: paso 1>>>>puntos de paso>>> Re emparejar y optimizar>>>>puntos de control>>>>paso 2>>>paso 3>>>>exportación en global mapper>> vectorización en un programa de dibujo.
- Al realizar el dibujo de un plano en AutoCAD Civil 3D con ayuda de una ORTOFOTO georreferenciada, se recomienda utilizar distintas capas para cada detalle y así evitar confusiones al momento de la realización del dibujo en el software.

BIBLIOGRAFIA

- Fran, Z., (9 de enero de 2018). Diferencias entre un DSM, DEM & DTM. ArcGeek.

Página web: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>.
- Video conferencia con Alfa geomatics el 25 de abril 2020:
<https://www.youtube.com/watch?v=V1nxNMe-RIs>

- TOPOGRAFIA MODERNA CON ESTACION TOTAL Y COLECTOR TDS RECON SURVEY PRO (Ing. Wilfredo Amaya Zelaya)

- MANUAL DE OPERACION EQUIPO GPS CARLSON

- MÓDULO 4 “**SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO**”. *Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil*. Ingeniero Wilfredo Amaya. 2021.

- MODULO 1 “**PRINCIPIOS DE LA FOTOGRAMETRIA**”. Curso Online “*Aprende A Realizar Topografía Con Drones*”.

- “**MANUAL DE OPERACION EQUIPO GPS CARLSON**”. *Curso de especialización en tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de Ingeniería Civil*. Ingeniero Wilfredo Amaya. 2021.

- https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_ct.html.
“Conceptos de geodesia”. 2006-02-13.

- http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-61902015000200007. **“Desempeño de un Método de Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real (RTK) de una Sola Base en Comparación de un Sistema RTK”**. Universidad Nacional de Colombia. 28/07/2015

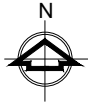
ANEXOS

ANEXO 1. ORTHOFOTO GENERADA CON EL SOFTWARE PIX4D

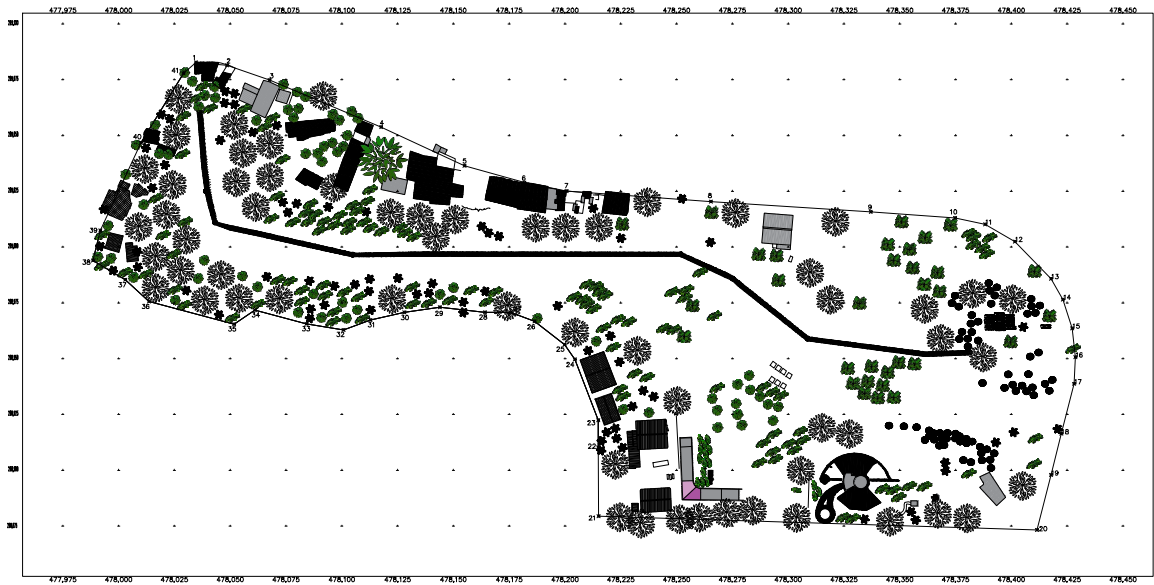


*Figura 101. Orthofoto generada con el software PIX4D
Fuente: Propia.*

ANEXO 2. PLANO GEOREFERENCIADO- BOVEDA



ESQUEMA DE UBICACION SIN ESCALA



CUADRO DE RUMBOS, DISTANCIAS Y COORDENADAS						
LADO EST	P.V.	RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
					Y	X
1	2	S 84°13'01" E	18	2	289,052,84	478,034,85
2	3	S 70°06'58" E	20	3	289,074,89	478,067,60
3	4	S 67°07'31" E	54	4	289,053,79	478,117,62
4	5	S 60°10'21" E	41	5	289,036,48	478,155,03
5	6	S 74°04'1" E	28	6	289,028,94	478,181,78
6	7	S 78°34'38" E	19	7	289,025,13	478,200,68
7	8	S 88°06'53" E	65	8	289,020,36	478,266,33
8	9	S 86°20'57" E	72	9	289,018,79	478,336,99
9	10	S 80°09'07" E	38	10	289,013,14	478,374,75
10	11	S 77°36'57" E	14	11	289,010,17	478,388,20
11	12	S 58°34'04" E	15	12	289,002,45	478,401,57
12	13	S 44°13'30" E	23	13	289,065,81	478,417,77
13	14	S 20°02'1" E	11	14	289,076,54	478,423,14
14	15	S 17°46'38" E	14	15	289,063,64	478,427,27
15	16	S 06°10'58" E	13	16	289,050,75	478,428,67
16	17	S 07°49'02" W	12	17	289,038,75	478,428,08
17	18	S 14°24'08" W	23	18	289,016,38	478,422,23
18	19	S 13°50'01" W	19	19	289,007,87	478,417,77
19	20	S 14°24'02" W	28	20	289,013,28	478,414,43
20	21	N 86°10'58" W	196	21	289,079,51	478,215,08
21	22	N 00°16'07" W	31	22	289,092,27	478,214,89
22	23	N 00°10'00" E	12	23	289,092,49	478,214,91
23	24	N 20°56'53" W	29	24	289,049,78	478,204,47
24	25	N 20°16'02" W	8	25	289,046,38	478,198,83
25	26	N 50°25'48" W	17	26	289,065,73	478,186,32
26	27	N 68°13'15" W	11	27	289,070,79	478,175,63
27	28	N 90°00'00" W	11	28	289,070,79	478,164,14
28	29	N 40°30'00" W	20	29	289,073,05	478,143,80
29	30	S 81°30'20" W	16	30	289,070,79	478,128,03
30	31	S 77°10'53" W	16	31	289,067,31	478,112,77
31	32	S 69°15'17" W	13	32	289,062,83	478,100,83
32	33	N 84°04'01" W	17	33	289,065,65	478,084,21
33	34	N 70°13'03" W	24	34	289,071,76	478,061,10
34	35	S 68°47'23" W	11	35	289,065,43	478,051,78
35	36	N 70°10'00" W	40	36	289,075,65	478,033,58
36	37	N 47°05'04" W	14	37	289,068,47	478,022,88
37	38	N 59°16'02" W	17	38	289,064,07	477,988,52
38	39	N 13°46'1" E	14	39	289,007,44	477,991,80
39	40	N 24°54'00" E	43	40	289,046,78	478,010,05
40	41	N 24°15'1" E	37	41	289,077,84	478,028,05
41	1	N 48°46'48" E	7	1	289,062,84	478,034,85

SUPERFICIE = 47,181.75 m2

CONTENIDO: RESTITUCIÓN FOTOGRAMETRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		UBICACION: BÓVEDA, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		AREA: 47,181.75 M2	
PRESENTAN: MEJIA AYALA, ERICA YESENIA MÁRQUEZ GUEVARA, CLAUDIA ELIZABETH PEÑATE GUARDADO, ENA GABRIELA RIVERA TOVAR, YONY LEONEL		FECHA : NOVIEMBRE 2021	ESCALA : 1: 1,000
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			

Cuadro de Sellos :

ANEXO 3. REPORTE DE CALIDAD (PASO 2: NUBE DE PUNTOS Y MALLA)

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

! **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary **i**

Project	BOVEDA
Processed	2021-11-02 12:05:34
Camera Model Name(s)	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.75 cm / 1.48 in
Area Covered	0.268 km ² / 26.8263 ha / 0.10 sq. mi. / 66.3234 acres

Quality Check **i**

? Images	median of 36626 keypoints per image	✓
? Dataset	38 out of 38 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	0.05% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 13324.4 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

? Preview **i**

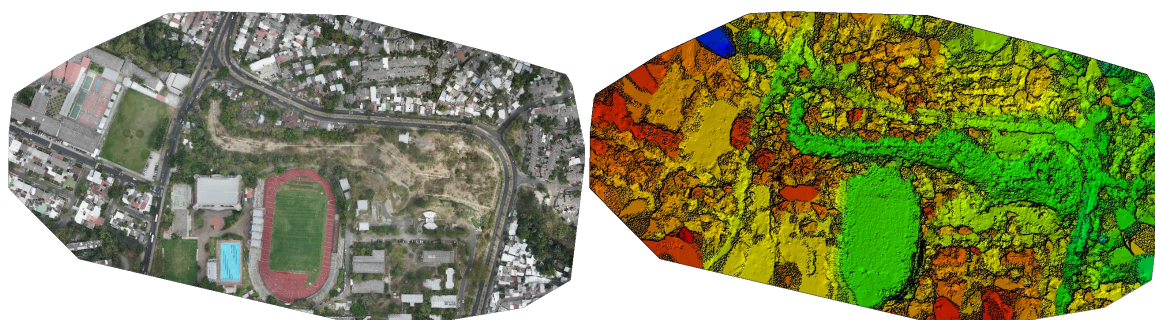


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details **i**

Number of Calibrated Images	38 out of 38
Number of Geolocated Images	38 out of 38

? Initial Image Positions **i**

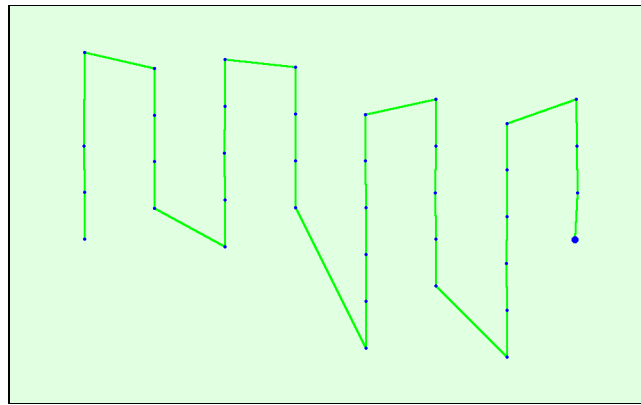
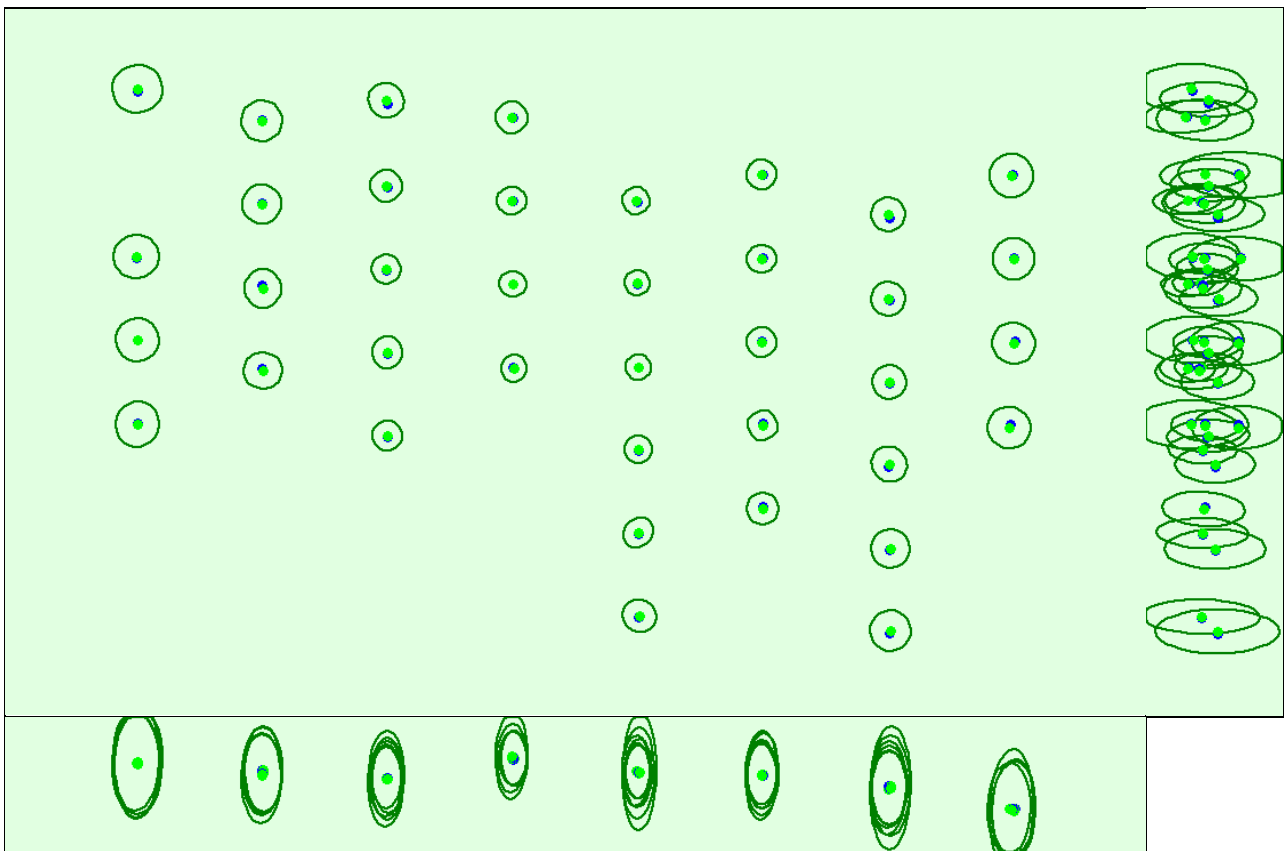


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.108	0.109	0.259	0.106	0.058	0.025
Sigma	0.020	0.020	0.060	0.003	0.005	0.002

Overlap

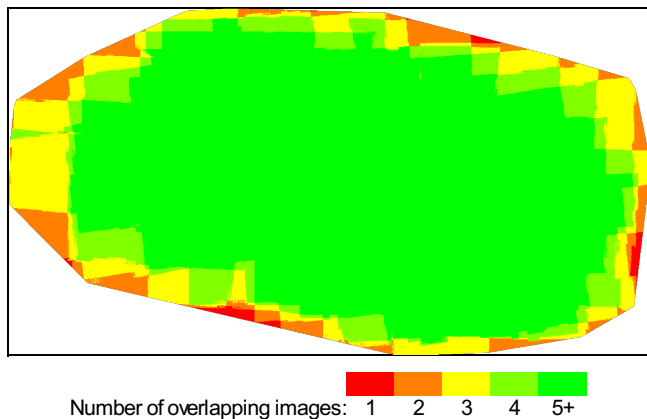


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	530657
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	170341
Mean Reprojection Error [pixels]	0.113

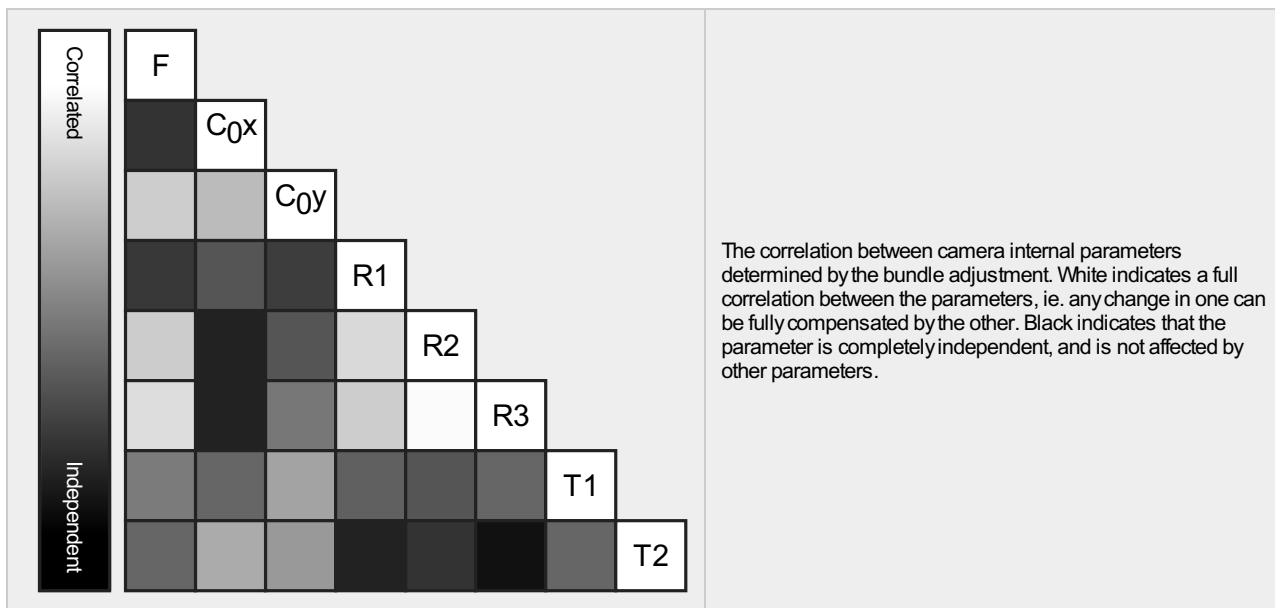
Internal Camera Parameters

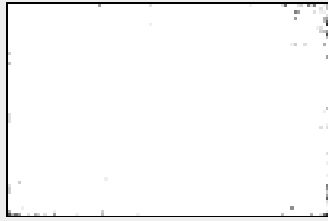
DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB). Sensor Dimensions: 35.000 [mm] x 23.345 [mm]



EXIF ID: DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7451.230 [pixel] 32.796 [mm]	3949.280 [pixel] 17.382 [mm]	2642.930 [pixel] 11.633 [mm]	-0.011	0.043	-0.069	0.001	-0.000
Optimized Values	7455.664 [pixel] 32.815 [mm]	3986.307 [pixel] 17.545 [mm]	2639.605 [pixel] 11.618 [mm]	-0.007	0.016	-0.032	0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	1.484 [pixel] 0.007 [mm]	0.224 [pixel] 0.001 [mm]	0.287 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000





The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	36626	13324
Mn	28271	4805
Max	40990	19042
Mean	35840	13965

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	106657
In 3 Images	26191
In 4 Images	12108
In 5 Images	7417
In 6 Images	4851
In 7 Images	3438
In 8 Images	2485
In 9 Images	1797
In 10 Images	1440
In 11 Images	1262
In 12 Images	973
In 13 Images	723
In 14 Images	503
In 15 Images	319
In 16 Images	166
In 17 Images	10
In 18 Images	1

? 2D Keypoint Matches



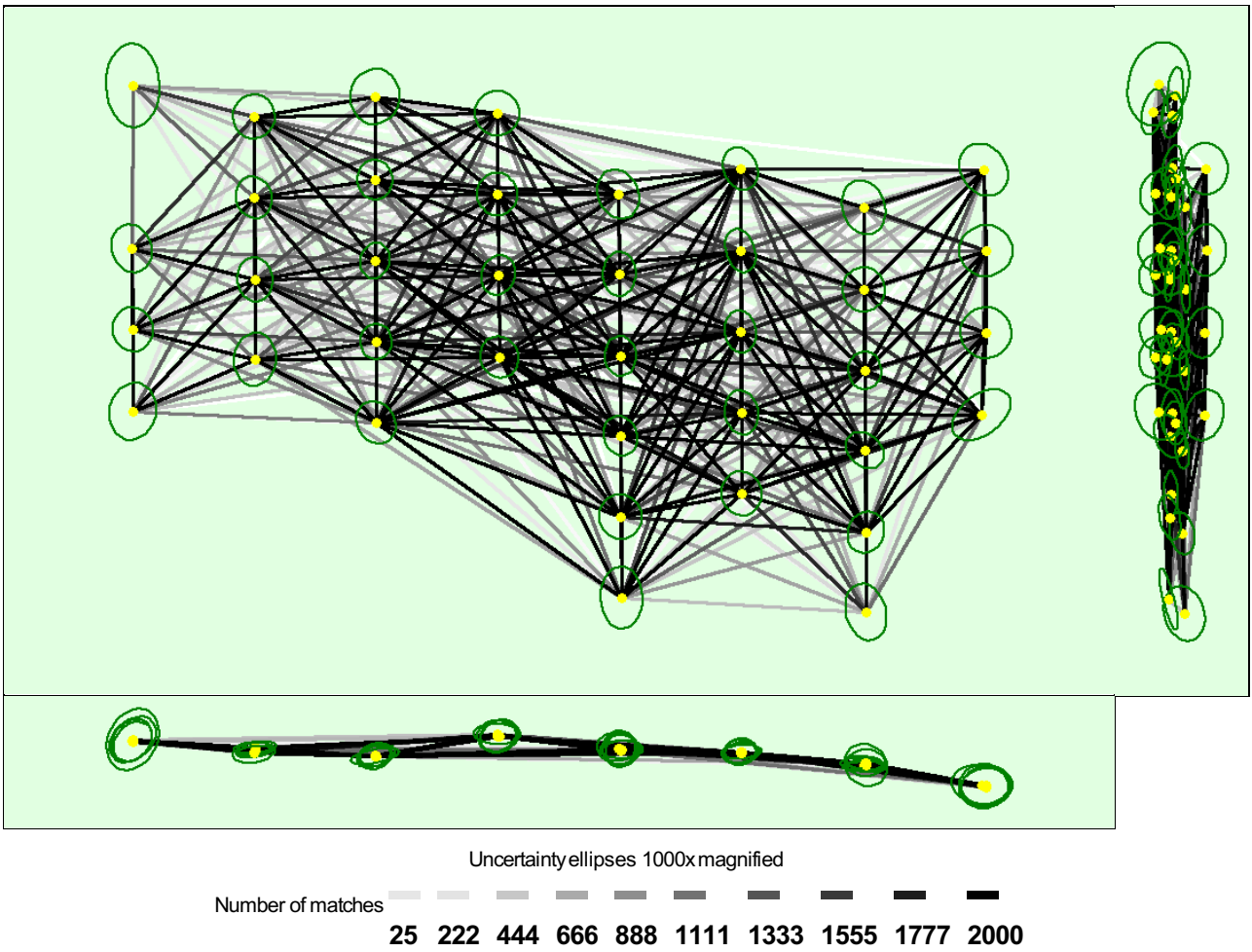


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.015	0.009	0.005	0.006	0.002
Sigma	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	0.000

Geolocation Details

Absolute Geolocation Variance

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	47.37	55.26	50.00
0.00	3.00	52.63	44.74	50.00
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00

15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000020	-0.000006	0.000271
Sigma [m]		0.311832	0.934232	0.327387
RMS Error [m]		0.311832	0.934232	0.327387

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details


System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8565U CPU @ 1.80GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 620 (Driver: 26.20.100.8141)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	Lambert_Conformal_Conic (EGM2008 Geoid)

Processing Options

Detected Template	 3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

ANEXO 4. REPORTE DE CALIDAD (PASO 3: MDS, ORTOMOSAICO E ÍNDICES)

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

! **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary **i**

Project	BOVEDA
Processed	2021-11-02 13:43:51
Camera Model Name(s)	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.75 cm / 1.48 in
Area Covered	0.268 km ² / 26.7860 ha / 0.10 sq. mi. / 66.2240 acres

Quality Check **i**

? Images	median of 36626 keypoints per image	✓
? Dataset	38 out of 38 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	0.15% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 15072.8 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.024 m	✓

? Preview **i**

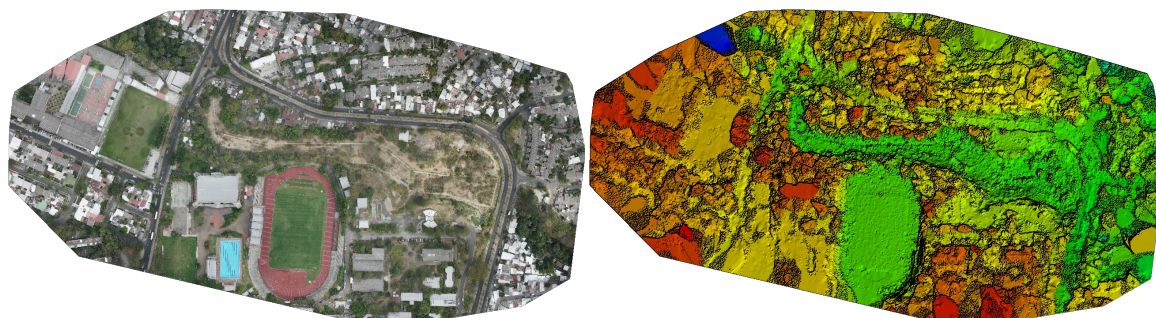


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details **i**

Number of Calibrated Images	38 out of 38
Number of Geolocated Images	38 out of 38

? Initial Image Positions **i**

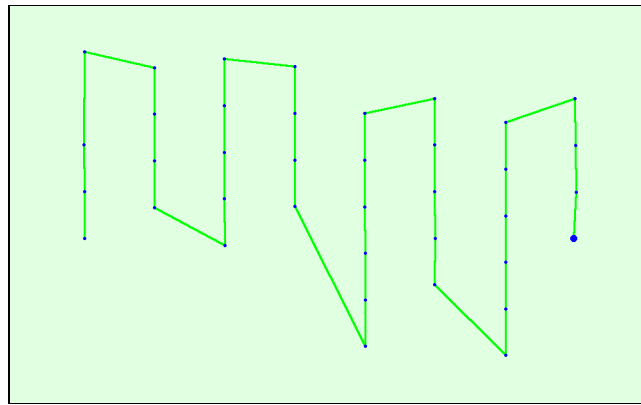
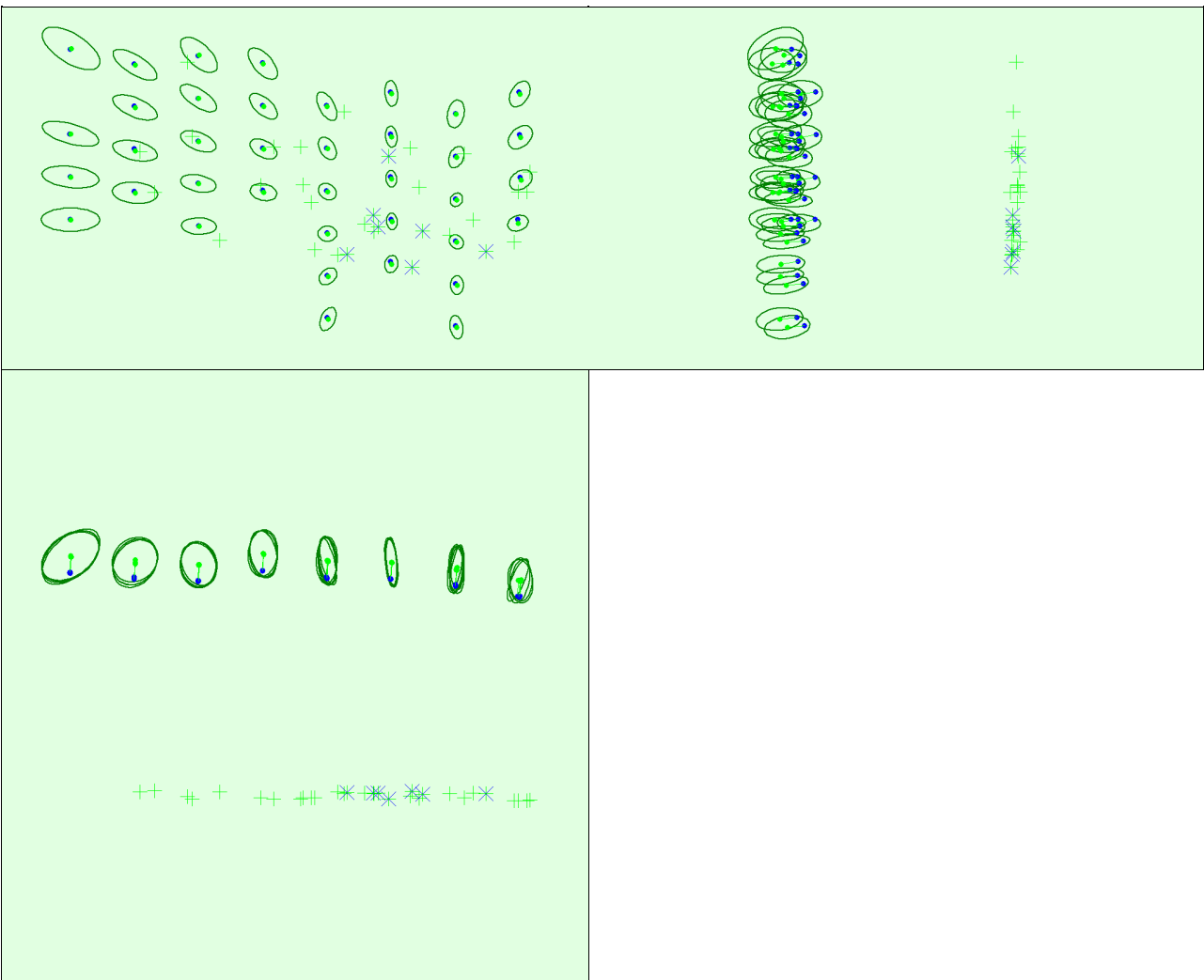


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.033	0.027	0.057	0.006	0.006	0.001
Sigma	0.018	0.007	0.003	0.002	0.003	0.000

Overlap

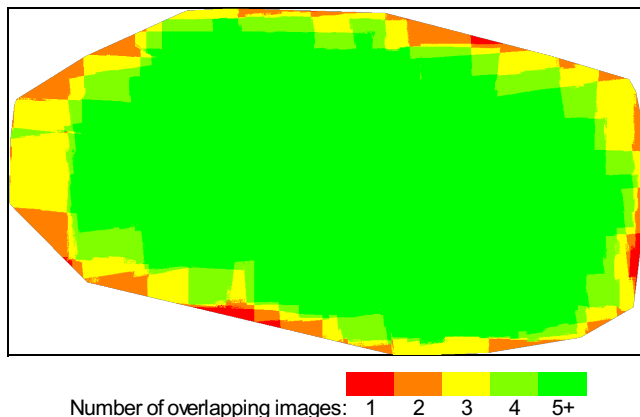


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	571409
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	187555
Mean Reprojection Error [pixels]	0.118

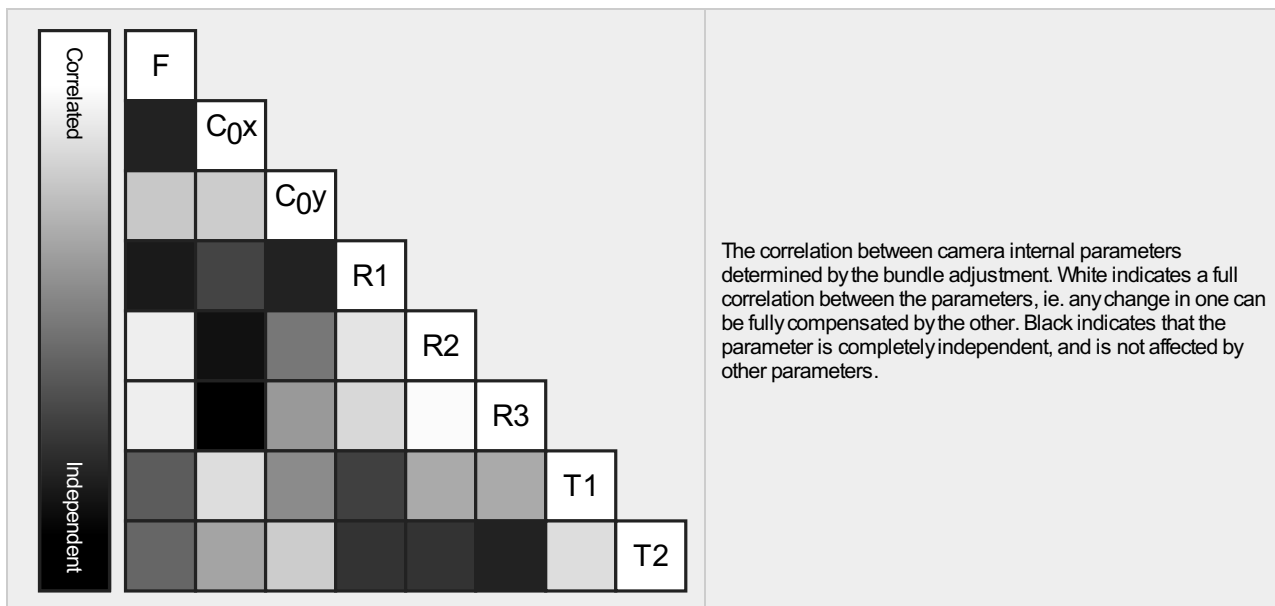
Internal Camera Parameters

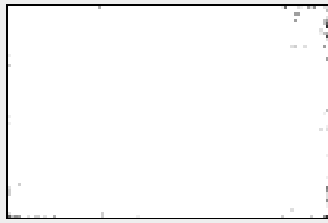
DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB). Sensor Dimensions: 35.000 [mm] x 23.345 [mm]



EXIF ID: DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7451.230 [pixel] 32.796 [mm]	3949.280 [pixel] 17.382 [mm]	2642.930 [pixel] 11.633 [mm]	-0.011	0.043	-0.069	0.001	-0.000
Optimized Values	7462.679 [pixel] 32.846 [mm]	3986.992 [pixel] 17.548 [mm]	2641.577 [pixel] 11.627 [mm]	-0.006	0.019	-0.038	0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	1.544 [pixel] 0.007 [mm]	0.249 [pixel] 0.001 [mm]	0.306 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000





The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

? 2D Keypoints Table



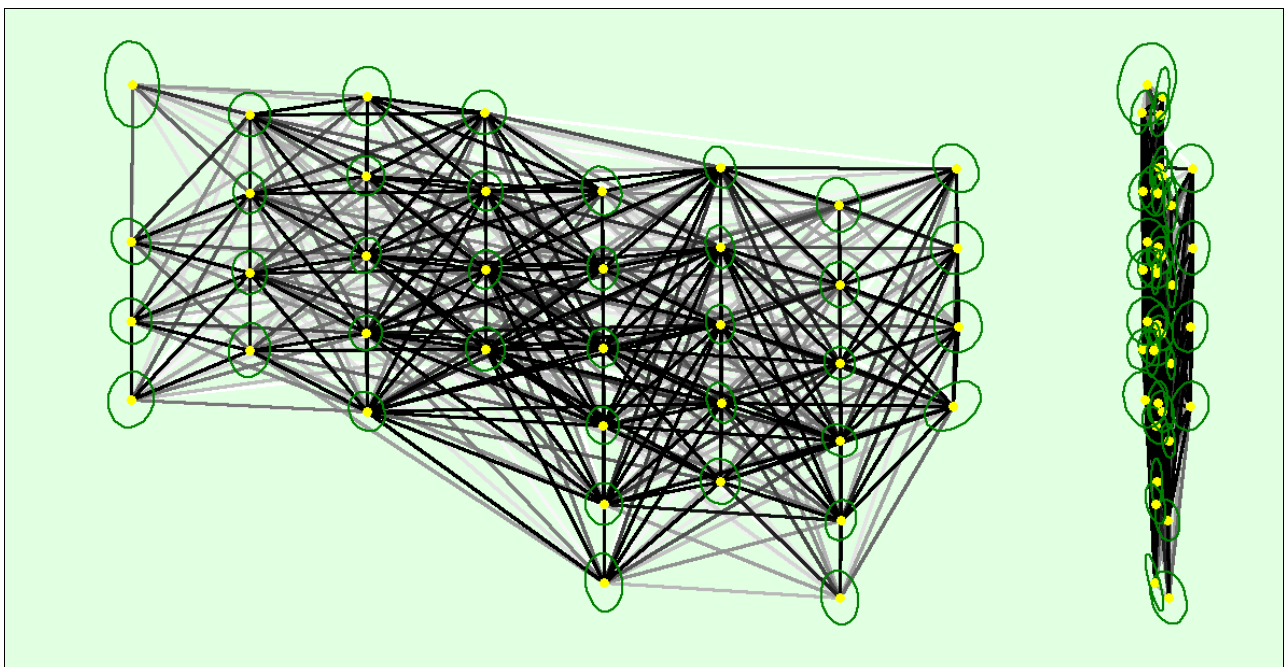
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	36626	15073
Mn	28271	5338
Max	40990	20066
Mean	35840	15037

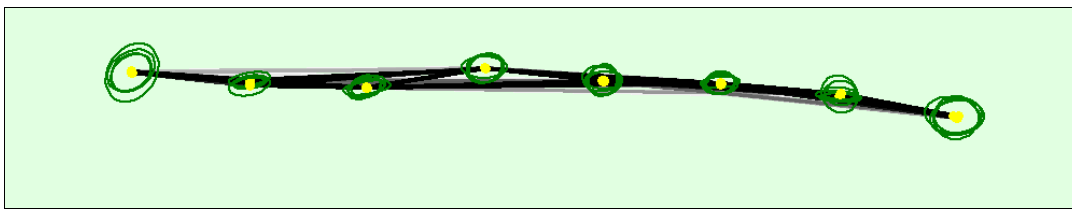
? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	122511
In 3 Images	26374
In 4 Images	12360
In 5 Images	7653
In 6 Images	5009
In 7 Images	3545
In 8 Images	2599
In 9 Images	1870
In 10 Images	1479
In 11 Images	1307
In 12 Images	994
In 13 Images	769
In 14 Images	520
In 15 Images	357
In 16 Images	195
In 17 Images	12
In 18 Images	1

? 2D Keypoint Matches





Uncertainty ellipses 1000x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Relative camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.015	0.008	0.005	0.006	0.002
Sigma	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	0.000

? Manual Tie Points



MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp1	1.291	13 / 13
mtp2	0.897	6 / 6
mtp3	1.283	10 / 10
mtp4	0.862	7 / 7
mtp5	1.802	12 / 12
mtp6	0.540	13 / 13
mtp7	0.264	9 / 9
mtp8	1.057	10 / 10
mtp9	0.808	15 / 15
mtp10	1.036	14 / 14
mtp11	0.442	12 / 12
mtp13	0.428	15 / 15
mtp14	0.478	8 / 8
mtp15	0.353	14 / 14
mtp16	0.837	8 / 8
mtp17	0.343	7 / 7
mtp18	0.245	11 / 11
mtp19	0.398	16 / 16
mtp20	0.287	10 / 10
mtp21	0.589	10 / 10
mtp22	0.295	4 / 4
mtp23	0.552	10 / 10
mtp24	0.175	12 / 12
mtp25	0.441	11 / 11

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified vs. manually marked.

Geolocation Details



? Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PCF1 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	0.031	0.020	0.629	14 / 14
PCF2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	-0.023	0.018	0.269	13 / 13
PCF3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.001	-0.031	0.253	10 / 10
PCF4 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.016	-0.006	0.281	10 / 10
PCF6 (3D)	0.020/ 0.020	0.052	0.002	-0.054	1.004	11 / 11
PCF7 (3D)	0.020/ 0.020	0.032	-0.026	-0.005	0.484	10 / 10
PCF8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.037	-0.001	0.029	0.330	14 / 14
Mean [m]		0.007611	-0.000422	-0.003869		
Sigma [m]		0.027466	0.018402	0.027897		
RMS Error [m]		0.028501	0.018407	0.028164		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

? Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	52.63	55.26	52.63
0.00	3.00	47.37	44.74	47.37
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.201434	1.614970	-19.632797
Sigma [m]		0.240547	1.160640	0.480533
RMS Error [m]		1.225278	1.988772	19.638677

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.201434	1.614970	-19.632796

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details



System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8565U CPU @ 1.80GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 620 (Driver: 26.20.100.8141)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Lambert_Conformal_Conic (EGM2008 Geoid)
Output Coordinate System	Lambert_Conformal_Conic (EGM2008 Geoid)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	24m:52s
Time for Point Cloud Classification	13m:51s
Time for 3D Textured Mesh Generation	22m:10s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	12247556
Average Density (per m ³)	45.33