

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



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

**TEMA DESARROLLADO:
RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS A PARTIR
DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON**

PRESENTADO POR:

JOSÉ ISMAEL CALLES VIERA

JOSÉ EDGARDO GIRÓN GUTIÉRREZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

Ms. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

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

Curso de Especialización previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

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

**RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS A PARTIR
DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON**

Presentado por

:

JOSÉ ISMAEL CALLES VIERA

JOSÉ EDGARDO GIRÓN GUTIÉRREZ

Curso de Especialización Aprobado por:

Docente Asesor

:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, noviembre de 2022

Curso de Especialización aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

ÍNDICE

ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 General:	5
1.3.2 Específicos:	5
1.4 ALCANCES	6
1.5 LIMITACIONES	7
1.6 JUSTIFICACIÓN	8
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO	9
2.2 ELIPSOIDE	11
2.3 DATUM	13
2.3.1 DATUM HORIZONTAL	13
2.3.2 DATUM VERTICAL	15
2.4 PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA	16
2.4.1 PROYECCIONES PLANAS O ACIMUTALES	17
2.4.2 PROYECCIÓN CILÍNDRICA	20
2.4.3 PROYECCIÓN CÓNICA	21
2.5 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS – ES2007	23
2.6 LEVANTAMIENTO GEODÉSICO CON GNSS	26
2.6.1 MÉTODO REAL KINEMATIC TIME (RTK)	27
2.7 TOPOGRAFÍA	30
2.7.1 HISTORIA DE LA TOPOGRAFÍA	30

2.8	FUNDAMENTOS BÁSICOS DE TOPOGRAFÍA.....	34
2.8.1	CONCEPTO DE TOPOGRAFÍA.....	34
2.8.2	OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFÍA	36
2.8.3	IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA	38
2.8.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	39
2.8.4.1	MÉTODO DE RADIACIÓN.....	41
2.8.4.2	MÉTODO DE POLIGONACIÓN.....	42
2.8.5	ETAPAS DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	47
2.9	LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON.....	48
2.9.1	RESOLUCIÓN, CALIDAD Y PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON	50
2.9.2	OPTIMIZACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON	51
2.9.3	VENTAJAS DE REALIZAR LA FOTOGRAMETRÍA CON DRON	52
2.9.4	CARACTERÍSTICAS DEL PHANTOM 4 PRO	53
2.10	MODELOS DIGITALES	54
2.10.1	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE	56
2.10.2	MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	58
2.10.3	MODELO DIGITAL DE TERRENO	60
3	CAPÍTULO III: CREACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO	61
4	CAPÍTULO IV: OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO	67
4.1	OBTENCIÓN DE DATOS CON TÉCNICA GNSS.....	67
4.1.1	PASOS PARA INSTALACIÓN DE EQUIPO SOBRE PUNTO GEODÉSICO.....	68
4.1.2	INTRODUCCIÓN DE PARÁMETROS Y DATOS PARA CONFIGURAR LA BASE.	70
4.1.3	CONFIGURACIÓN DE ANTENA MÓVIL (ROVER)	73
4.2	CALIBRACIÓN DEL DRON MEDIANTE LA APP DJI GO 4	76
4.2.1	CÓMO CALIBRAR DJI PHANTOM 4 PRO IMU Y ARREGLAR PROBLEMAS DE VUELO 76	
4.2.2	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL PHANTOM 4 PRO IMU.	77
4.2.3	PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE BRÚJULA	81
4.2.4	CÓMO CALIBRAR EL GIMBAL PHANTOM 4	83
4.3	CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS EN PIX4-D CAPTURE	84
4.3.1	PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN PLAN DE VUELO.84	

4.4	PLAN DE VUELO.....	90
4.5	PARÁMETROS QUE SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA EN UN PLAN DE VUELO	92
4.5.1	ALTURA DE VUELO	92
4.5.2	TAMAÑOS DE FOTOGRAMA Y TERRITORIO	93
4.5.3	DISTANCIA ENTRE FOTOGRAMAS	94
4.5.4	RECURRENCIA DE IMÁGENES.....	95
4.5.5	FOTOGRAFÍAS POR PASADA.....	96
4.5.6	NÚMERO DE PASADAS	96
4.5.7	NÚMERO TOTAL DE FOTOGRAFÍAS.....	97
4.5.8	CONDICIONES METEOROLÓGICAS	98
4.5.9	REVISIÓN DE ACTIVACIÓN Y CONTROL DEL DRON	99
4.6	LEVANTAMIENTO DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON.....	99
5	CAPÍTULO V: PROCESAMIENTOS DE DATOS DE CAMPO.....	101
5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PIX4D MAPPER.....	101
5.2	ESTUDIOS	102
5.3	CONSTRUCCIÓN	103
5.4	NUBE DE PUNTOS Y MALLA	115
5.5	MDS, ORTO MOSAICO E ÍNDICES	122
5.6	RESULTADO DE ORTO MOSAICO O ORTO FOTO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS.....	124
5.7	RESULTADO DE MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE EN FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS.....	125
5.8	RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO EN FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS.....	126
5.9	DESCRIPCIÓN DE PROCESO REALIZADO EN GLOBAL MAPPER.....	127
5.10	PROCEDIMIENTO REALIZADO EN SOFTWARE DE DIBUJO (CIVIL 3D).....	131
5.11	ARCHIVO ECW	133
5.12	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL FORMATO ECW	134
6	CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS	139
7	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
7.1	CONCLUSIONES.....	145
7.2	RECOMENDACIONES.....	146

BIBLIOGRAFÍA.....	148
ANEXOS	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: RELACIÓN GRÁFICA ENTRE EL GEOIDE, ELIPSOIDE Y UNA ESFERA FUENTE: ALBIRO TOPOGRAFÍA Y GEOMETRÍA.....	12
FIGURA 2: REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA. FUENTE: TOPO SERVÍS – TOPOGRAFÍA	12
FIGURA 3: DATUM NORTEAMERICANO DE 1927 (NAD27). FUENTE: http://www.penryfamily.com/geographicalcenters/meadersranch.html	14
FIGURA 4: TIPOS DE PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS. FUENTE: https://losmapasmolanmil.wordpress.com/2018/05/30/proyecciones-cartograficas/	17
FIGURA 5: PROYECCIÓN PLANA O ACIMUTAL FUENTE: ARC MAP https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.6/map/projections/projection-types.htm	18
FIGURA 6: PROYECCIÓN PLANA DESDE UNA PERSPECTIVA DIFERENTE. FUENTE: ARC MAP https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.6/map/projections/projection-types.htm	19
FIGURA 7: REPRESENTACIÓN DE UNA PROYECCIÓN CILÍNDRICA. FUENTE: ARC MAP https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/miller-cylindrical.htm	20
FIGURA 8: PROYECCIÓN CÓNICA. FUENTE: ARC MAP https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.7/map/projections/projection-types.htm	22
FIGURA 9: MERIDIANOS Y PARALELOS EN UNA PROYECCIÓN CÓNICA. FUENTE: GEOGRAFÍA INFINITA https://www.geografiainfinita.com/2020/11/las-propiedades-y-tipos-de-proyecciones-cartograficas/ ..	22
FIGURA 10: SISTEMA GEOCÉNTRICO PARA LAS AMÉRICAS (SIRGAS). FUENTE: SIRGAS https://sirgas.ipqh.org/realizaciones/sirgas2000/	25
FIGURA 11: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON RECEPTOR RTK. FUENTE: PROPIA - FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	29
FIGURA 12: TOPOGRAFÍA Y SU RELACIÓN CON LA CIENCIA. FUENTE: TOPOGRAFÍA - CEGG https://sites.google.com/site/topografiacegg/introduccion	38
FIGURA 13: MÉTODO POR RADIACIÓN. FUENTE: MONOGRAFÍA https://www.monografias.com/trabajos107/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel	42
FIGURA 14: MÉTODO DE POLIGONACIÓN (ABIERTA). FUENTE: TOPOGRAFÍA IUPSM http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html	44
FIGURA 15: MÉTODO DE POLIGONACIÓN (CERRADA). FUENTE: TOPOGRAFÍA IUPSM http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html	45
FIGURA 16: ORIENTACIÓN DE POLIGONAL ABIERTA CON CONTROL. FUENTE: TOPOGRAFÍA II INGENIERÍA CIVIL https://es.slideshare.net/jhonysaidbenavidesfernandez/poligonalcerrada	46
FIGURA 17: POLIGONAL ABIERTA CON CONTROL. FUENTE: HIVE BLOG https://hive.blog/gps/@dasl3000/levantamiento-topografico-con-fines-catastrales	46
FIGURA 18: MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN CON VISTA EN PERSPECTIVA. FUENTE: MODELOS DIGITALES https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf	55
FIGURA 19: DETECCIÓN Y ALCANCE DE LUZ AÉREA (LIDAR). FUENTE: ARC GEEK https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/	57
FIGURA 20: DSM VEGETACIÓN PRESENTE SOBRE EL TERRENO. FUENTE: ARC GEEK https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/	58
FIGURA 21: MODELO DE ELEVACION DIGITAL. FUENTE: ARC GEEK https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/	59

FIGURA 22: MODELO DIGITAL DE TERRENO. FUENTE: ARC GEEK https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/	61
FIGURA 23: PANTALLA INICIAL PARA CONFIGURACIÓN EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA	62
FIGURA 24: SELECCIÓN DE PESTAÑA PROYECCIÓN. FUENTE: PROPIA	63
FIGURA 25: CONFIGURACIÓN DE LA PROYECCIÓN EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA	64
FIGURA 26: SELECCIÓN DE PROYECCIÓN LAMBERT CONFORMAL CONIC. FUENTE: PROPIA	65
FIGURA 27: PARÁMETROS DE PROYECCIÓN DE EL SALVADOR. FUENTE: PROPIA.....	66
FIGURA 28: GUARDAR DOCUMENTO CON EXTENSIÓN PRJ. FUENTE: PROPIA	67
FIGURA 29: INSTALACIÓN DE EQUIPO SOBRE PUNTO GEODÉSICO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	69
FIGURA 30: PROGRAMA DE TRABAJO SURVCE. FUENTE: ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA (2021) MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO GPS CARLSON	70
FIGURA 31: SELECCIÓN DE TRABAJO NUEVO. FUENTE: ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA (2021) MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO GPS CARLSON	71
FIGURA 32: CONFIGURACIÓN DE ALTURA DE ANTENA. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO.....	72
FIGURA 33: CONFIGURACIÓN DE COORDENADAS DE PUNTO GEODÉSICO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO.....	73
FIGURA 34: UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAMÉTRICOS. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	74
FIGURA 35: CONEXIÓN ENTRE NUESTRO MANDO Y DRON. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	77
FIGURA 36: PROCESO INICIAL DE CALIBRACIÓN. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	78
FIGURA 37: CONFIGURACIÓN AVANZADA Y SENSORES. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	78
FIGURA 38: CALIBRACIÓN DE LA IMU. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	79
FIGURA 39: COLOCAR DRON SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	80
FIGURA 40: LADEAR DRON DE IZQUIERDA A DERECHA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	80
FIGURA 41: MENSAJE DE ÉXITO AL CALIBRAR LA IMU. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	81
FIGURA 42: CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	82
FIGURA 43: PASO 1 CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	82
FIGURA 44: FINALIZACIÓN DE CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/	83
FIGURA 45: PANTALLA INICIAL DE PIX4DCAPTURE. FUENTE: PROPIA.....	85
FIGURA 46: PANTALLA DE INICIO EN PIX4D CAPTURE. FUENTE: PROPIA.....	86
FIGURA 47: AJUSTE DEL TAMAÑO DE NUESTRO PLAN DE VUELO. FUENTE: PROPIA.....	88
FIGURA 48: AJUSTE DE LA SUPERPOSICION DE LA IMAGEN. FUENTE: PROPIA	89
FIGURA 49: FLUJO DE TRABAJO EN PIX4-D CAPTURE. FUENTE: GEO SYSTEM INGENIERÍA https://www.geosysteminq.com/wp-content/uploads/2020/06/Brochure-Pix4D-Capture.pdf	90
FIGURA 50: ARMADO DE DRON PHANTOM 4 PRO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	91

FIGURA 51: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS EN PIX4D-CAPTURE. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO	92
FIGURA 52: ANÁLISIS INTUITIVO PARA DIVERSIDAD DE PROYECTOS. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/	102
FIGURA 53: LOCALIZACIÓN E INSPECCIÓN DE DEFECTOS EN 3D. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/	104
FIGURA 54: ANÁLISIS DE CULTIVOS EN UNA ZONA DETERMINADA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/	105
FIGURA 55: CREACIÓN DE NUEVO PROYECTO EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA.....	106
FIGURA 56: NOMBRAMIENTO DE NUESTRO PROYECTO PROCESAMIENTO FACULTAD DE AGRONOMÍA. FUENTE: PROPIA.....	107
FIGURA 57: MANERA ADECUADA DE CARGAR LAS FOTOGRAFÍAS EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA	108
FIGURA 58: PRESENTACIÓN DE PIX4D REFERENTE A TODAS LAS FOTOGRAFÍAS CARGADAS. FUENTE: PROPIA	109
FIGURA 59: FOTOGRAFÍAS CARGADAS EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA	110
FIGURA 60: CONFIGURACIÓN DE NUESTRO SISTEMA DE COORDENADAS PARA PROCESAMIENTO EN PIX4D. FUENTE: PROPIA	111
FIGURA 61: SELECCIÓN DE PESTAÑA 3D MAPS. FUENTE: PROPIA	112
FIGURA 62: PARÁMETROS Y FOTOGRAFÍAS CARGADOS ANTES DE INICIAR PASO 1. FUENTE: PROPIA	112
FIGURA 63: VERIFICACIÓN DE MARCAR SOLO PROCESAMIENTO DEL PASO 1. FUENTE: PROPIA	113
FIGURA 64: REPORTE DE CALIDAD DESPUÉS DE EJECUTAR EL PASO 1 EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA	114
FIGURA 65: IMAGEN DE NUESTRO LEVANTAMIENTO DESPUÉS DE PROCESAR EL PASO 1. FUENTE: PROPIA	115
FIGURA 66: PROCESO PARA INSERTAR UN PUNTO DE PASO SOBRE LA IMAGEN. FUENTE: PROPIA	116
FIGURA 67: PROCESO PARA RE EMPAREJAR Y OPTIMIZAR PUNTOS DE PASO. FUENTE: PROPIA	117
FIGURA 68: PROCESO PARA PUNTOS DE CONTROL. FUENTE: PROPIA.....	118
FIGURA 69: IMPORTACIÓN DE PUNTOS A PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA.....	119
FIGURA 70: VERIFICAR ORDEN DE LAS COORDENADAS. FUENTE: PROPIA	119
FIGURA 71: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL BAJO CARPETA GCPS/MTPS. FUENTE: PROPIA ...	120
FIGURA 72: PROCESO PARA REUBICAR PUNTO DE CONTROL. FUENTE: PROPIA	121
FIGURA 73: INICIO DE PROCESAMIENTO PARA NUBE DE PUNTOS Y MALLA. FUENTE: PROPIA	122
FIGURA 74: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS MDS Y ORTO MOSAICO. FUENTE: PROPIA	123
FIGURA 75: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE RESULTADOS ADICIONALES. FUENTE: PROPIA	123
FIGURA 76: RESULTADO DE ORTO MOSAICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER.....	124
FIGURA 77: RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER	125
FIGURA 78: RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER.....	126
FIGURA 79: FORMA DE CARGAR EL ORTO MOSAICO A GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA.....	127
FIGURA 80: ORTO MOSAICO CARGADA A GOOGLE EARTH EN FORMATO KMZ/KML. FUENTE: PROPIA ..	128
FIGURA 81: MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA.....	129
FIGURA 82: CURVAS DE NIVEL GENERADAS EN GLOBAL MAPPER BASADO EN MDS. FUENTE: PROPIA...	130
FIGURA 83: IMAGEN GENERADA EN FORMATO ECW COMPATIBLE CON CIVIL 3. FUENTE: PROPIA	131

<i>FIGURA 84: PROCESO DE CARGA DE UN ORTO MOSAICO, PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS. FUENTE: PROPIA</i>	
.....	135
<i>FIGURA 85: PASO DOS PARA CARGAR UN ORTO MOSAICO. FUENTE: PROPIA</i>	136
<i>FIGURA 86: SELECCIÓN DE ARCHIVO GEOTIF. FUENTE: PROPIA</i>	136
<i>FIGURA 87: CUADRO DE DIALOGO QUE CONFIRMA UNA IMAGEN GEORREFERENCIADA. FUENTE: PROPIA</i>	
.....	137
<i>FIGURA 88: PRESENTACIÓN DEL ORTO MOSAICO CARGADO CORRECTAMENTE EN CIVIL 3D. FUENTE: PROPIA</i>	
.....	138
<i>FIGURA 89: RESULTADO FINAL DEL PROCESO DE CREACIÓN DEL PLANO TOPOGRÁFICO. FUENTE: PROPIA</i>	
.....	138
<i>FIGURA 90: RESUMEN INICIAL DEL NUESTRO REPORTE DE CALIDAD. FUENTE: PROPIA</i>	140
<i>FIGURA 91: ERROR QUE SE COMETIÓ DURANTE EL PROCESAMIENTO. FUENTE: PROPIA</i>	141
<i>FIGURA 92: COMPROBACIÓN DE IMÁGENES CALIBRADAS Y GEO LOCALIZADAS. FUENTE: PROPIA</i>	141
<i>FIGURA 93: CARACTERÍSTICAS DE LA COMPUTADORA Y SISTEMA DE REFERENCIA. FUENTE: PROPIA</i>	142
<i>FIGURA 94: DETALLES DE DENSIFICACIÓN DE NUBES DE PUNTOS. FUENTE: PROPIA</i>	143
<i>FIGURA 95: DSM, ORTO MOSAICO, ÍNDICE DE DETALLES. FUENTE: PROPIA</i>	144

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1: COORDENADAS DE PUNTO GEODÉSICO UBICADO SOBRE LA BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. FUENTE: TESIS 2017 TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS CON GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y SU PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CARLSON SURVEY GNSS</i>	72
<i>TABLA 2: COORDENADAS Y ELEVACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOMADOS EN CAMPO. FUENTE: DATOS OBTENIDOS EN TÉCNICA RTK</i>	118

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Civil utiliza los conocimientos científicos y la tecnología, para aprovechar de manera racional los recursos disponibles, tal aprovechamiento se realiza con el objeto de elaborar la infraestructura física necesaria para facilitar el desarrollo de las actividades humanas. La topografía como tal es una de las ramas de mayor antigüedad que con el transcurso del tiempo y evolución tecnológica ha presentado cambios notables, tanto en instrumentos de medición y software que facilitan los procedimientos de cálculo.

La Topografía está íntimamente ligada a la Geodesia, es decir esta ciencia es la que brinda los puntos de apoyo a los proyectos de ingeniería civil, por ende, la Geodesia crea y construye marcas o puntos artificiales distribuidos sobre la superficie de la Tierra, a los que suministra coordenadas y cotas altimétricas definitivas. Teniendo claro la relación entre estas dos ciencias y los conocimientos prácticos para un levantamiento topográfico, se da inicio a un proyecto ambicioso de la Universidad de El Salvador en formar a profesionales en esta rama de la Ingeniería civil.

Como futuros Ingenieros Civiles es de vital importancia tener conocimientos teóricos y prácticos para poder ejecutar cualquier proyecto de ingeniería, es por ello que el CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES REMOTOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL, tiene por objetivo final capacitar a los estudiantes en su proceso de graduación y

así formar a profesionales capaces de desempeñar cualquier tipo de levantamiento con cualquier tipo de equipo topográfico. Este proyecto tiene mayor énfasis en la fotogrametría, se han aplicado todos los conocimientos aprendidos en el curso de especialización, en tal aplicación de conocimientos se realizó el levantamiento fotogramétrico de la FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS que consiste en generar el plano topográfico de dicha facultad mediante un orto-mosaico obtenido de la recolección de datos en campo, para ejecutar tal proyecto se puso en práctica técnicas de GPS, colocación de puntos de control con la técnica RTK, y vuelo con el dron, así mismo conocer parámetros esenciales de configuración de equipos y un correcto proceso de armada de cada uno de ellos. Todo esto se detalla en el presente trabajo.

1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Topografía ciencia que se encarga del estudio 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. 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 topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimiento que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra. A nivel general los levantamientos se pueden dividir en geodésicos y topográficos, los levantamientos geodésicos se basan en Geodesia, cuyo objeto de estudio es el tamaño y la forma de la Tierra incluyendo su campo de gravedad. Este tipo de levantamiento se realiza para grandes áreas de superficie terrestre, tal como un país completo.

El estudio de fotogrametría tiene su base en antiguas culturas y filosofías donde se anexan periodos de grandes descubrimientos e invenciones. Estas raíces constituyen los sólidos fundamentos que conforman aún hoy en el crecimiento de esta técnica que impacta en la civilización humana. Fotogrametría, la simple definición del arte de medir por medio de la luz, fue practicada mucho antes de los procesos fotogramétricos, con el sensor más puro y natural que es la visión humana.

La fotogrametría, ha significado para la cartografía una de sus principales herramientas, que junto con la topografía y los avances tecnológicos que han surgido con el paso del tiempo han hecho posible brindar una solución a la necesidad de realizar representaciones a grandes escalas y en terrenos casi inaccesibles.

La aplicación de la fotogrametría en la actualidad, es la recepción de información obtenida mediante la toma de fotografías aéreas para elaborar planos topográficos, entre ellos estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, usos de la tierra, geofísicos, investigaciones forestales, análisis agropecuarios, problemas de planeación urbana, en la construcción de carreteras, estudio de los recursos naturales y otros.

Cuando se habla de realizar una restitución fotogramétrica, deben estar presente conocimiento de los sistemas satelitales, GNSS (del inglés

Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Los orígenes del GNSS se sitúan en los años 70 con el desarrollo del sistema militar estadounidense GPS (Global Positioning System). Por medio de una red de satélites distribuidos uniformemente en el espacio para una mejor cobertura, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición precisa en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares.

La Universidad de El Salvador, con el propósito de innovar y promover nuevas tecnologías aplicadas a la Ingeniería Civil, ha visto a bien impartir el CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES REMOTOS APLICADOS A PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL para así formar profesionales capacitados en el área de topografía. Como resultado final de dicho curso, se presenta este trabajo de graduación que consiste en la restitución fotogramétrica de la Facultad de Ciencias Agronómicas aplicando cada una de las técnicas y procedimientos aprendidos durante el curso de especialización para la recolección de datos y su respectivo procesamiento.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía como tal es la base de cualquier proyecto de ingeniería civil, para todo proyecto el primer paso es generar un levantamiento topográfico del área que se desea conocer sus características, para ello tener conocimientos sólidos y un criterio como profesional es de suma importancia.

En el transcurso del tiempo, la Universidad de El Salvador ha presentado cambios en su infraestructura, es por esto que se toma la iniciativa en realizar el levantamiento fotogramétrico de la Facultad de Ciencias Agronómicas. El cual comprende la ubicación y dimensiones de las diferentes instalaciones que la componen, así mismo delimitar su área. Además de eso dejar plasmado el levantamiento realizado mediante la impresión digital del orto-mosaico obtenido con su respectivo plano, para contribuir en tener un registro actualizado en cuanto a la topografía de la Universidad de El Salvador, ya que no se cuenta con un registro de planos del área de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General:

- Realizar la restitución fotogramétrica de la Facultad de Ciencias Agronómicas a partir de un levantamiento con dron

1.3.2 Específicos:

- Tener conceptos claros y precisos sobre la topografía moderna, esto para tener una mejor comprensión y análisis del levantamiento en campo y el procesamiento en oficina.
- Conocer el sistema de referencia de El Salvador y sus respectivos parámetros para uso en diferentes tipos de programas relacionados a la topografía.
- Identificar el equipo de topografía moderna (Antenas GPS, Estación Total, Dron) que se utilizó para el curso de especialización, así mismo el proceso correcto de instalación y manipulación en campo de cada uno de ellos.
- Aplicar y profundizar los conocimientos adquiridos en la diversidad de software que ayudan en el procesamiento de datos y programas complementarios a la topografía moderna.

1.4 ALCANCES

- La topografía como tal es de vital importancia en cualquier proyecto de obra civil, desde la construcción de carreteras hasta grandes edificaciones, nos permite identificar las irregularidades de un área específica con el propósito de generar los mapas topográficos. Este trabajo de graduación consiste en realizar el procesamiento de datos de un área, ubicada dentro de las Instalaciones de la Universidad de El Salvador, específicamente en la Facultad de Ciencias Agronómicas, se logró el propósito de realizar desde cero una restitución fotogramétrica, aplicando para ello los conocimientos tanto teóricos como prácticos aprendidos durante el curso de especialización.

La evolución tanto en los equipos de medición topográfica como en los softwares, es satisfactoria, para este proyecto la recolección de datos y su respectivo procesamiento se debe a la facilidad y accesibilidad de utilizar un dron, para luego procesar toda la información recolectada y generar lo que se conoce como orto mosaico.

1.5 LIMITACIONES

- En la recolección de datos de campo, existen diversidad de factores que influyen al momento de realizar un levantamiento fotogramétrico, al momento de realizar el vuelo fotogramétrico con dron sobre la Facultad de Ciencias Agronómicas, se tenía un clima con fuertes vientos, factor que afecta la calidad de la fotografía tomada en el vuelo, además de ello representa un riesgo de accidente con el dron.
- Para realizar un procesamiento en Pix4D-Mapper es recomendable tener una computadora que cumpla con los requerimientos de tal programa, esto con el fin de optimizar el tiempo de procesamiento y obtención de datos en oficina.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, a partir de esa fecha la tecnología GPS ha sido una herramienta fundamental en muchas áreas de la vida cotidiana, la utilización de tecnología GPS ha contribuido en los últimos años en el avance y desarrollo humano, su versatilidad es amplia, va desde una aplicación que ayuda a encontrar una dirección, hasta algo más complejo como lo es la navegación marítima, aérea y hoy en día aplicada a proyectos de ingeniería. En el campo de Ingeniería Civil, se utiliza por la precisión del sistema GPS, esta es una de sus características principales, nos permite evaluar de forma precisa la ubicación y deformación de la superficie terrestre, realizando a su vez correcciones bajo el mando de un sistema de referencia. Las funciones relacionadas con un levantamiento topográfico con el paso del tiempo han sido modificadas, con el propósito de garantizar una precisión casi exacta, la utilización del dron se puede considerar como un complemento a la topografía, es decir el dron nos facilita el trabajo de campo, fácilmente se puede realizar un levantamiento fotogramétrico que cumpla con las necesidades de un proyecto de ingeniería, garantizando un levantamiento en un tiempo relativamente corto y además poco recurso humano. En los últimos años el dron ha demostrado ser una herramienta que proporciona eficiencia y seguridad, la topografía con drones garantiza resultados de calidad de forma rápida y rentable.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

Un sistema de referencia geodésico 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 sobre la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la Tierra no es una esfera perfecta.

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 geo centro terrestre (0,0,0). 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.

Estos son algunos ejemplos de los sistemas geodésicos más utilizados:

- El WGS 84 (World Geodesic System 1984) es un sistema geodésico de coordenadas geográficas usado mundialmente, que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas (x,y,z).

Se trata de un estándar en geodesia, cartografía, y navegación, que data de 1984. Tuvo varias revisiones (la última en 2004), y se considera válido

hasta una próxima reunión. Se estima un error de cálculo menor a 2 cm, por lo que es en la que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

- ED50 (Europea Datum 1950) es un antiguo sistema de referencia geodésico empleado en Europa, siendo sustituido por el sistema ETRS89. El sistema ED50 surgió como resultado de la unificación de los sistemas de referencia europeos llevado a cabo por el ejército de los Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial. La solución les fue proporcionada a las naciones europeas en 1950.
- SIRGAS es un acrónimo para Sistema de Referencia Geodésico para las Américas el cual es un sistema de referencia geodésico producto de la densificación de una red de estaciones GNSS de alta precisión en el área continental.

En la actualidad la red cuenta con cerca de 250 estaciones de las cuales 48 pertenecen a la red global del IGS, y a la participación voluntaria de más de 50 entidades latinoamericanas.

Se pueden mencionar tipos de sistemas de referencia modernos entre ellos: Sistema de referencia del servicio internacional de rotación terrestre y sistema de referencia IERS, establecido para la determinación de los sistemas de referencia celeste (ICRS) y terrestre (ITRS) y la relación entre los dos sistemas, o sea la orientación y rotación de la tierra en el espacio.

2.2 ELIPSOIDE

El intento más básico de establecer un modelo de la forma de la Tierra es asimilar está a una figura geométrica simple, la cual pueda expresarse mediante una ecuación matemática. Además de ser más sencilla de manejar, disponer de esta ecuación matemática permite la aplicación de conceptos geométricos, estableciendo así una base práctica para el trabajo con coordenadas y la definición de sistemas de referencia.

Desde la antigüedad, se han formulado numerosas hipótesis sobre la forma que la Tierra tenía, las cuales van desde suponer la Tierra plana a admitir la evidencia de que esta ha de tener forma esférica (o similar) si se atiende a diversos hechos como, por ejemplo, el movimiento circular de las estrellas o la existencia de horizonte.

En realidad, la Tierra no es una esfera perfecta, ya que su propia rotación ha modificado esa forma y ha provocado un achatamiento en los polos, esto a causa del movimiento rotacional y la fuerza centrífuga. Esta hipótesis fue ya planteada por Newton, y corroborada posteriormente con numerosas experiencias. No obstante, se puede seguir tratando de asimilar la forma de la Tierra a la de una superficie teórica, aunque no ya la de una esfera, sino la de lo que se denomina un elipsoide. Sobre un elipsoide, el radio de la Tierra ya no es constante, sino que depende del emplazamiento.

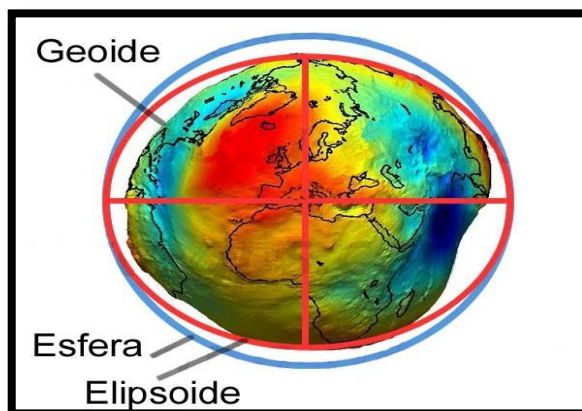


FIGURA 1: RELACIÓN GRAFICA ENTRE EL GEOIDE, ELIPSOIDE Y UNA ESFERA FUENTE: ALBIREO TOPOGRAFÍA Y GEOMETRÍA

Elipsoide se define como una superficie de referencia. Es una representación matemática como apoyo para representar las coordenadas. En el caso del SRC es el elipsoide GRS 1980 que tiene los parámetros indicados de semeje mayor, menor, achatamiento y excentricidad. Facilita usar la similitud, con la forma de la tierra cuando se está trabajando las coordenadas en el plano.

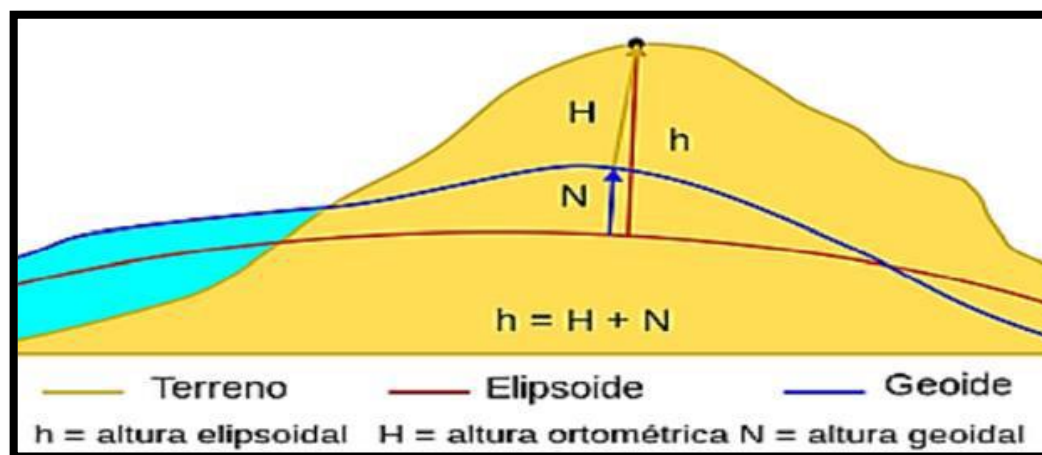


FIGURA 2: REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA. FUENTE: TOPO SERVÍS – TOPOGRAFÍA

2.3 DATUM

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, para estas es el punto de anclaje del Elipsoide. Para el caso de SIRGAS-2007 los valores parámetros son cero. Por el simple hecho de que el Elipsoide GRS80 es un Elipsoide geocéntrico, es decir que el punto que se toma como referencia es el centro de la Tierra y no un punto ubicado sobre la superficie terrestre, ejemplo de ello el Datum NAD27 que se identifica mediante un mojón, fue designado como base para las redes de triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913

Existen dos tipos de datum locales: horizontales y verticales, los puntos de referencia o datum horizontales se utilizan para describir lo que típicamente se conoce como las coordenadas X e Y.

Los datum verticales describen la posición en la dirección vertical Z y a menudo se basan en la altura sobre el nivel del mar.

2.3.1 DATUM HORIZONTAL

El 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 astronomía y su

gravedad, es decir un punto del elipsoide coincide con un punto de la superficie terrestre.

El Datum Norteamericano de 1927 (NAD27) establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Medes Ranch (Kansas EEUU) referidas al elipsoide Clarke de 1866, utilizado en la mayoría de países centroamericanos hasta la fecha.

El salvador adopta en 1962 definitivamente este DATUM NAD27, asociado al elipsoide de Clarke 1866 y toda la información geodésica y cartográfica antigua está referida a dicho Datum.



FIGURA 3: DATUM NORTEAMERICANO DE 1927 (NAD27). FUENTE: <http://www.penryfamily.com/geographicalcenters/meadesranch.html>

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.

2.3.2 DATUM VERTICAL

El Nivel Medio del Mar (NMM) es la superficie de referencia que se adopta como Datum, la Altura de cada banco de nivel o banco de Marca (BM) se define como la distancia vertical entre ésta y la superficie de referencia.

El Datum Vertical se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes; para su determinación precisa son necesarias observaciones mareo gráficas continuas de la fluctuación de las mareas en Estaciones Mareo gráficas durante un periodo de casi 20 años.

El Datum Vertical o Sistema de Referencia Vertical para El Salvador, fue establecido como parte de un Ajuste realizado por el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS) que incluyó desde el sur de México, cubriendo Guatemala, Honduras y El Salvador y se basó en observaciones tomadas en la Estación mareo gráficas localizada en el antiguo Puerto de Cutuco en el departamento de La Unión en 1960, por lo que es conocido como Datum La Unión.

2.4 PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA

Las Proyecciones Cartográficas se pueden considerar artificios geométricos utilizados para trasladar a un plano la forma convexa de la superficie terrestre.

La Cartografía matemática es la ciencia que estudia las diferentes formas de representar la superficie de la Tierra sobre una superficie plana. Es decir, son transformaciones matemáticas que nos permiten representar (proyectar) a la esfera en un plano y convertir las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud) en coordenadas planas (Y, X). Este proceso conlleva distorsiones de la superficie original en 3 dimensiones, al convertir a una superficie plana de dos dimensiones. Las distorsiones se presentan en: forma, distancia, dirección y área. Además de las coordenadas geográficas de un punto genérico, referidas a un sistema de referencia geodésico, es necesario también conocer sus coordenadas planas en una proyección determinada. La proyección dependerá de los siguientes factores:

- Finalidad y aplicación que se dará al mapa
- Del área a cartografiar
- De la forma del territorio
- De las condiciones de las deformaciones

De acuerdo al tipo de superficie y ubicación sobre la superficie terrestre, se pueden clasificar los sistemas de proyección, entre los más utilizados están: proyección cónica, proyección cilíndrica, proyección plana.

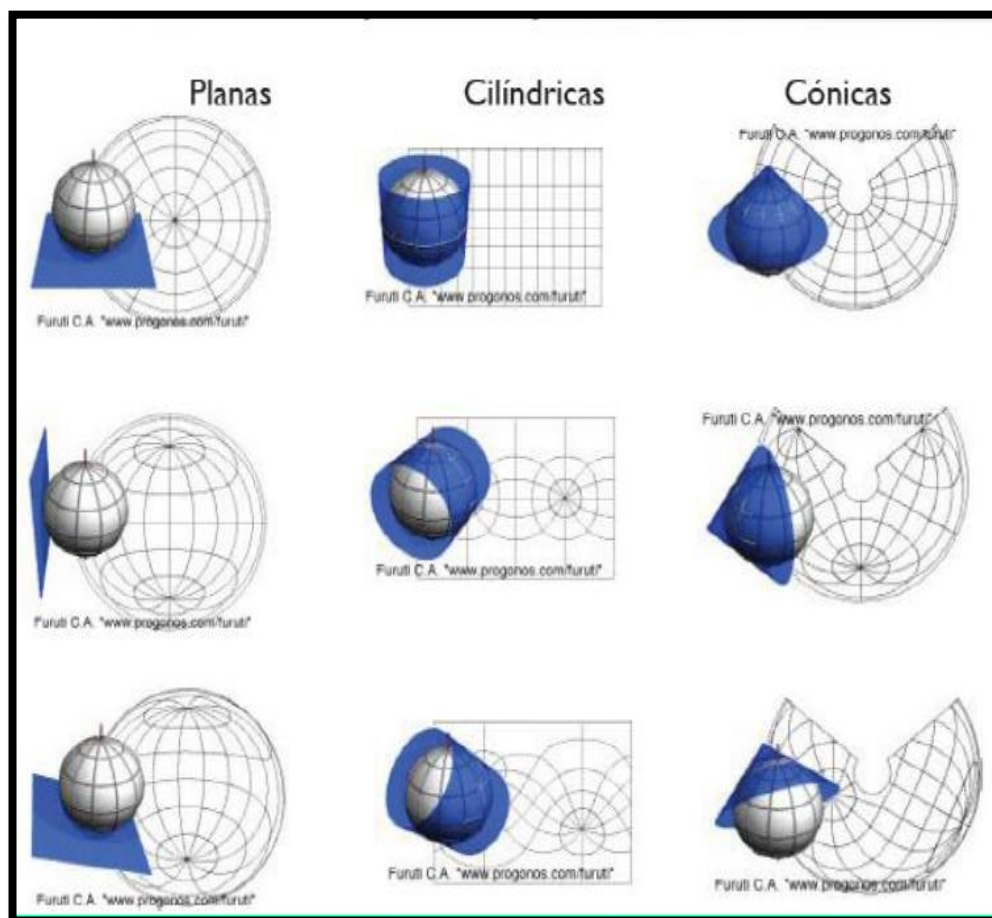


FIGURA 4: TIPOS DE PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS. FUENTE:
<https://losmapasmolanmil.wordpress.com/2018/05/30/proyecciones-cartograficas/>

2.4.1 PROYECCIONES PLANAS O ACIMUTALES

Este tipo de proyección suele ser tangente al globo en un punto, pero también puede ser secante. El punto de contacto puede ser el Polo Norte, el Polo Sur, un punto en el ecuador o cualquier punto intermedio. Dicho punto especifica

la orientación y es el foco de la proyección. Una longitud central y una latitud central identifican el foco, las orientaciones pueden ser polar, ecuatorial y oblicua.

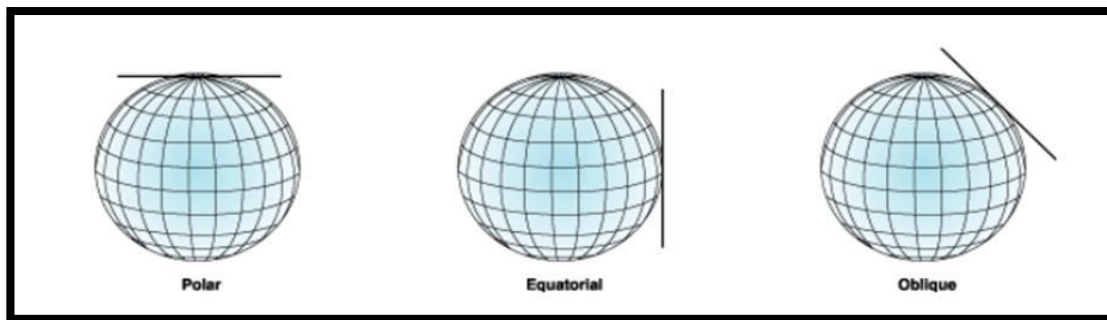


FIGURA 5: PROYECCIÓN PLANA O ACIMUTAL FUENTE: ARC MAP
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.6/map/projections/projection-types.htm>

Las orientaciones polares son las más sencillas. Los paralelos de latitud son círculos concéntricos con centro en el polo, y los meridianos son líneas rectas que se intersecan con sus ángulos reales de orientación en el polo. En otras orientaciones, las proyecciones planas tendrán ángulos reticulares de 90 grados en el foco. Las direcciones son precisas. Líneas rectas representan los círculos grandes que pasan por el foco; en consecuencia, la distancia más corta del centro a cualquier otro punto del mapa es una línea recta. Los patrones de distorsión de área y forma son circulares en torno al foco. Por ello, en las proyecciones acimutales las áreas circulares se representan mejor que las rectangulares. Las proyecciones planas se utilizan sobre todo para crear mapas de las regiones polares.

En algunas proyecciones planas, los datos de la superficie se ven desde un punto concreto en el espacio, el punto de vista determina cómo se proyectan los datos esféricos en la superficie plana, la perspectiva desde la que se ven todas las ubicaciones varía de unas proyecciones acimutales a otras. El punto de perspectiva puede ser el centro de la Tierra, un punto de la superficie opuesto directamente al foco o un punto externo al globo, como si se viera desde un satélite u otro planeta.

Proyecciones Acimutales son diferenciables entre ellas, en parte a la utilización de diferentes focos, y en algunos casos por el punto de perspectiva. Para ello se compara tres tipos de proyecciones con orientación polar, pero con diferentes puntos de perspectiva. La Proyección Gnomónica, proyecta la información desde el centro de la tierra. La Proyección Estereográfica, proyecta la información desde un Polo hacia su opuesto. Por último, la proyección Ortográfica, proyecta la información desde un punto ubicado a una distancia infinita en el espacio. Observe como el tipo de punto de perspectiva determina la cantidad de distorsión alrededor del Ecuador.



FIGURA 6: PROYECCIÓN PLANA DESDE UNA PERSPECTIVA DIFERENTE. FUENTE: ARC MAP <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.6/map/projections/projection-types.htm>

2.4.2 PROYECCIÓN CILÍNDRICA

Las proyecciones cilíndricas usan un cilindro tangente a la esfera terrestre, colocado de tal manera que el paralelo de contacto es el Ecuador. La malla de meridianos y paralelos se dibuja proyectándolos sobre el cilindro suponiendo un foco de luz que se encuentra en el centro del globo.

En la proyección cilíndrica el mapa resultante presenta una red de paralelos y meridianos perpendiculares. La deformación de la escala es creciente al alejarse de la línea de tangencia, el Ecuador, donde se conserva la escala.

A pesar de esta deformación, el hecho de que se mantenga la perpendicularidad entre meridianos y paralelos conduce a una representación sencilla y útil en diversas situaciones como la navegación.

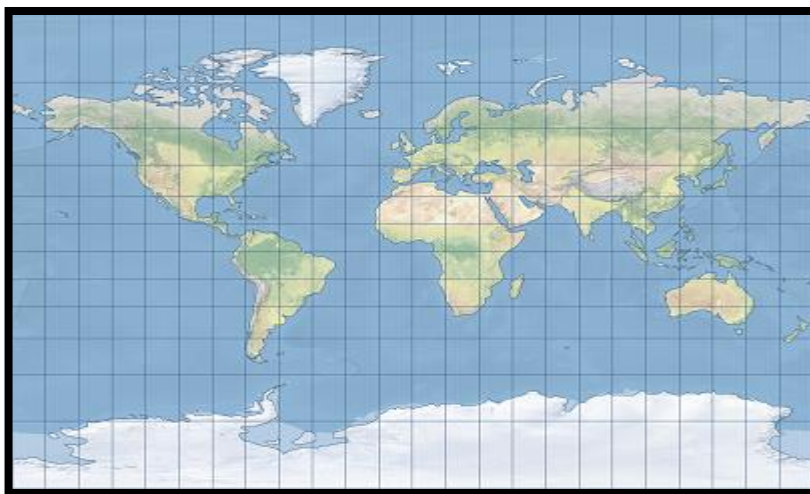


FIGURA 7: REPRESENTACIÓN DE UNA PROYECCIÓN CILÍNDRICA. FUENTE: ARC MAP
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/miller-cylindrical.htm>

Proyección de Mercator:

Proyección de Mercator, que revolucionó la cartografía. Se trata de una proyección conforme (conserva la forma o relación angular entre puntos) en la que se proyecta el globo terrestre sobre una superficie cilíndrica. Es una de las proyecciones más utilizadas, aunque por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones que ofrece en las zonas más alejadas del Ecuador.

2.4.3 PROYECCIÓN CÓNICA

La proyección cónica se obtiene proyectando los elementos de la superficie esférica terrestre sobre una superficie cónica tangente. Se sitúa el vértice en el eje que une los dos polos, se toma una superficie plana, se dobla en forma de cono y se sitúa encima de la Tierra, como si se coloca un gorro.

En la proyección cónica los meridianos se transforman en líneas rectas que parten del polo y los paralelos en circunferencias concéntricas con centro en él. El mapa resultante al extender el cono en un plano es un sector circular mayor o menor que un semicírculo. El inventor de esta proyección es el matemático alemán Johann Heinrich Lambert que en el año 1759 publicó el libro "Freye Perspective" con reflexiones diversas acerca de la proyección.

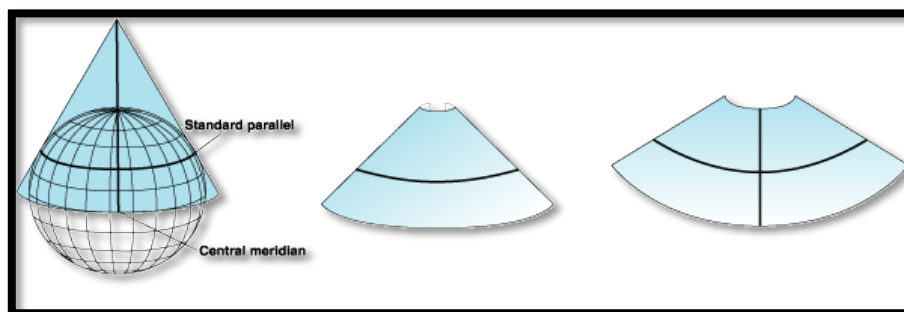


FIGURA 8: PROYECCIÓN CÓNICA. FUENTE: ARC MAP
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.7/map/projections/projection-types.htm>

En esta proyección, la forma y área de la superficie se conservan iguales en las latitudes medias mientras que se origina una distorsión asimétrica que afecta, en gran medida, a las zonas polares. Por ello, se utiliza preferentemente para representar aquellos países que se encuentran en las regiones de latitudes medias al ser menor la distorsión.

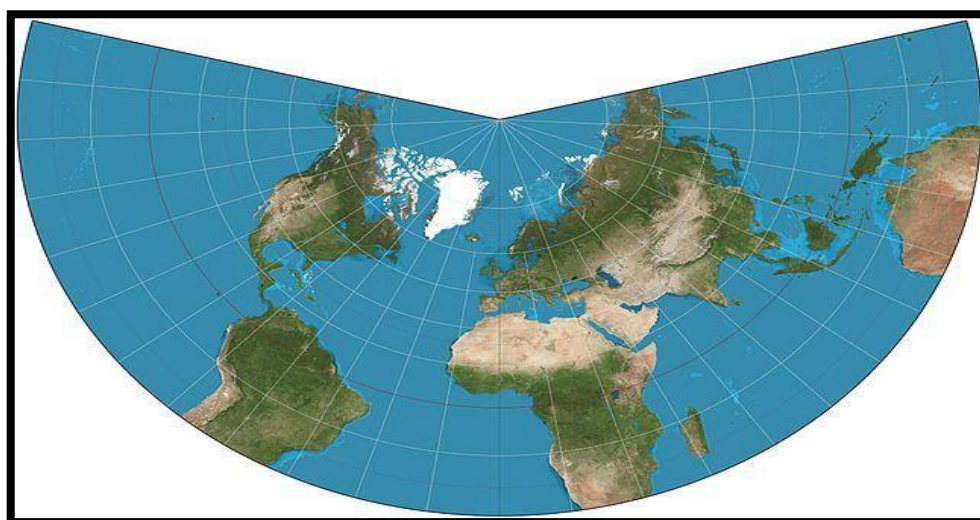


FIGURA 9: MERIDIANOS Y PARALELOS EN UNA PROYECCIÓN CÓNICA. FUENTE: GEOGRAFÍA INFINITA <https://www.geografiainfinita.com/2020/11/las-propiedades-y-tipos-de-proyecciones-cartograficas/>

2.5 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS – ES2007

El proyecto SIRGAS inició formalmente en 1993 bajo el nombre de Sistema Geocéntrico para América del Sur, con el objetivo de materializar el ITRS en Sudamérica. En el año 2001, el nombre cambia oficialmente Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), debido fundamentalmente al incremento en el número de estaciones continuas ubicadas en el resto de los países del continente.

La definición de SIRGAS es idéntica al ITRS y su realización es una densificación del ITRF, ocupándose además de la parte vertical. La realización de SIRGAS es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF, materializan el mismo sistema de referencia, y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), son compatibles en el nivel milimétrico. La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

Las estaciones GNSS de operación continua que están integradas de manera oficial a SIRGAS sobrepasan las 400 en todo el continente americano, de las cuales 59 son estaciones del Servicio Internacional del GNSS.

Marco de referencia es la materialización de un sistema de referencia convencional a través de observaciones, es decir, se trata de un conjunto de puntos (lugares localizados en la superficie terrestre) con coordenadas y velocidades conocidas en ese sistema de referencia convencional y que sirven para materializar en el espacio el sistema de referencia. En el caso de El Salvador tenemos Integration of the Reference Frame of El Salvador into SIRGAS (SIRGAS - ES2007.8).

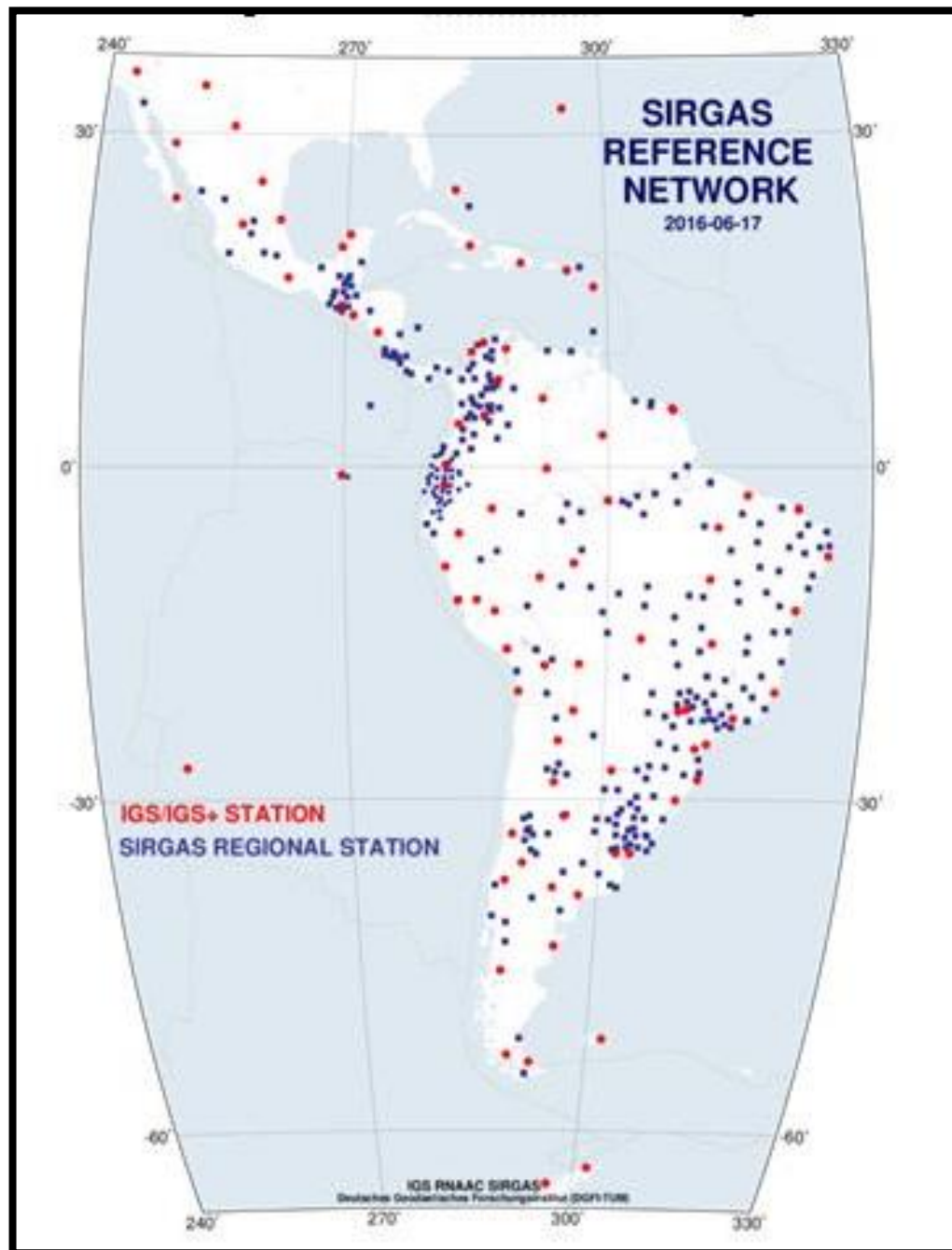


FIGURA 10: SISTEMA GEOCÉNTRICO PARA LAS AMÉRICAS (SIRGAS). FUENTE: SIRGAS
<https://sirgas.ipgh.org/realizaciones/sirgas2000/>

2.6 LEVANTAMIENTO GEODÉSICO CON GNSS

GNSS son las siglas de Global Navigation Satellite System, esto es Sistema Global de Navegación por satélite, y se refiere a todos los sistemas de navegación por satélite existentes en la actualidad, tanto el GPS Norteamericano como el GLONASS ruso, el GALILEO europeo o el BEIDOU chino.

El uso de GNSS en la práctica de Métodos Topográficos se realiza porque actualmente los GNSS facilitan en muchas ocasiones tanto la actividad de georreferenciación como el resto de las tareas realizadas por métodos topográficos comunes. Gracias a la combinación de tecnologías aplicadas a los equipos GNSS es posible obtener puntos georreferenciados y convertidos a posiciones en coordenadas, las cuales definen la posición exacta de los objetos dentro de un sistema geoespacial. Además, proporciona datos de alta precisión de forma más rápida que las técnicas convencionales y gracias a ello es posible disminuir la cantidad de equipo a utilizar y el recurso humano disminuye.

En la práctica, los procedimientos empleados en levantamientos GPS depende de las capacidades de los receptores usados y el tipo de levantamiento, la precisión es un elemento importante a considerar, por los profesionales en topografía y es justo por eso, que se hace necesario comprender los métodos para posicionamiento con receptores GNSS.

Algunos procedimientos específicos de campo actualmente en uso son los métodos:

- Estático
- Estático rápido
- Pseudocinematico
- Cinemático
- Cinemático en tiempo real

Cada uno se basa en mediciones de fases de la onda portadora y usan técnicas de posicionamiento relativo, es decir, que dos (o más) receptores ubicados en estaciones diferentes, hacen observaciones simultáneamente de varios satélites. En vector (distancia) entre receptores se llama línea base.

2.6.1 MÉTODO REAL KINEMATIC TIME (RTK)

El RTK es una técnica utilizada para mejorar la exactitud de un receptor GNSS autónomo. Los receptores GNSS comunes, como el de un Smartphone, solo pueden determinar la posición con una exactitud de 2 a 4 metros. El RTK puede proporcionar una precisión centimétrica.

Los receptores GNSS miden el tiempo que tarda una señal en viajar desde un satélite hasta el receptor. Las señales transmitidas viajan a través de la ionosfera y la atmósfera y se ven ralentizadas y distorsionadas en el camino. Por ejemplo, el tiempo de viaje podría diferir si hay un día nublado o si hay condiciones de cielo despejado. Por eso es difícil para un receptor autónomo determinar con exactitud su posición. El RTK es una tecnología que resuelve este problema.

En técnica RTK se utilizan dos receptores, uno de ellos está inmóvil, el otro se mueve libremente, dichos receptores se reconocen por estación base y rover respectivamente. La misión de la base es permanecer en un lugar y enviar correcciones a un receptor en movimiento. El rover utiliza esos datos para obtener una posición de precisión centimétrica, se puede conectar cualquier número de rover a una base si sus ajustes de entrada coinciden con la salida de la base. Las posiciones de la antena del móvil se determinan a intervalos tan cortos como de 0.2 segundos, la precisión de los puntos intermedios es del orden de +- 5 a 10 mm, 2 ppm. En los levantamientos cinemáticos, ambos receptores deben mantener contacto con por lo menos 4 satélites, si se pierde contacto los receptores deben de reiniciarse, por ende, debe tenerse cuidado de evitar que la antena quede obstruida al ubicarla cerca de edificios, debajo de árboles o puentes.

El levantamiento cinemático en tiempo real (RTK: Real Time Cinematic), permite que las posiciones de puntos sean determinadas instantáneamente conforme al receptor (o receptores) móvil que ocupa cada punto, es importante hacer mención que se usan radios para transmitir correcciones y observaciones al receptor móvil. Un receptor ocupa una estación de referencia y radio difunde observaciones GPS a la unidad (o unidades) móvil. En el receptor móvil, las mediciones GPS de ambos receptores se procesan en tiempo real mediante la computadora interna de la unidad para producir una determinación inmediata de su posición. La velocidad de época para la recolección de datos comúnmente se

sincroniza en 1 segundo para este método de levantamiento. Basado en pruebas de levantamientos cinemáticos en tiempo real han mostrado que se obtienen precisiones en la posición equivalentes a las obtenidas con los métodos cinemáticos que emplean post procesamiento. Como se conocen inmediatamente con alta precisión las posiciones de puntos. Los levantamientos topográficos con receptores RTK constituyen un método rentable y económico para la realización de mediciones en pequeñas, medianas y grandes extensiones de terreno porque proveen correcciones precisas en tiempo real.



FIGURA 11: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON RECEPTOR RTK. FUENTE: PROPIA - FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

2.7 TOPOGRAFÍA

2.7.1 HISTORIA DE LA TOPOGRAFÍA

La topografía es una ciencia geométrica dedicada a la representación gráfica de la superficie terrestre. Es la disciplina que estudia los principios y procedimientos que nos permiten ilustrar las formas, detalles y elementos de la Tierra, tanto los naturales como los creados por el ser humano. No se sabe exactamente el origen de la topografía, lo que sí se sabe es que desde hace muchos años el hombre ha tratado de orientarse y a la vez representar su entorno. A pesar de no saber con certeza el origen de la topografía, se cree que esta empezó en Egipto debido a que se encontraron escenas representadas en muros, tablillas y papiros, en donde se mostraban las imágenes de hombres realizando mediciones de terrenos; además, se da un hecho bastante relevante, el cual es que Heródoto dijo que Sesostris, aproximadamente en el año 1400 A.C, dividió a Egipto en lotes para que se pudiera llevar a cabo el pago de impuestos, luego, las inundaciones del río Nilo, las cuales eran muy frecuentes todos los años, arrastraron partes de los lotes y se tuvo que recurrir a topógrafos para redefinir los linderos, estos topógrafos eran llamados estira cuerdas ya que ellos tomaban las medidas con cuerdas que tenían marcas unitarias a determinadas distancias. Estos hechos llevaron a la conclusión de que de Egipto era de donde provenían las mayores y mejores referencias, por lo tanto, se dice que la topografía proviene de este lugar. Tales de Mileto y Anaximandro realizaron las primeras cartas geográficas y Erastogenes aportó las primeras observaciones

astronómicas. Más tarde, Hiparco crea la teoría de los meridianos convergentes. También hay muchos otros como Estrabon y Plinio, considerados los fundadores de la geografía y el topógrafo griego Tolomeo quien actualizó los planos de la época de los Antónimos. En Europa con la invención de las cartas planas, se tuvo una gran mejora en los trabajos topográficos. Luego en el siglo XIII, con la aplicación de la brújula y de los avances de la Astronomía, se descubren nuevas y mejoradas aplicaciones a la topografía, de esta manera la topografía se fue convirtiendo con el pasar del tiempo en una ciencia cada vez más científica y especializada. En el siglo XVII la geodesia aporta la invención del telescopio. Entre XVIII y XIX tuvo un gran avance debido a la necesidad de crear mapas y de deslindar las fronteras de los países. En la primera y segunda guerra mundial, con los conflictos entre Corea y Vietnam, y la operación tormenta del desierto, hicieron que se creara una gran demanda de mapas y mediciones precisas.

Hablar de historia involucra los instrumentos antiguos de la topografía, ya que anteriormente no existían los instrumentos de alta precisión que conocemos y a pesar de esto se realizaron maravillosas e impresionantes construcciones, y de las cuales muchas todavía se conocen hoy en día. Esto fue posible gracias a que se tenían muy en cuenta los conceptos matemáticos, físicos y astronómicos heredados principalmente de los griegos, egipcios y babilónicos. Los instrumentos y recursos topográficos que fueron utilizados por los romanos, según lo que se ha estudiado, son los siguientes: La cadena de topógrafo, fue un instrumento muy antiguo que probablemente fue usado por los romanos en la

antigüedad clásica de una manera algo similar al que se desarrolló en el siglo XVII por el matemático inglés Edmund Gunter.

Este está hecho de varios eslabones de barras sólidas de hierro y bronce, los cuales son hechos a mano y por lo tanto era poco probable que midieran exactamente lo que en realidad era, entonces se utilizaba un factor corrector cuando se pasaban las notas a los dibujos.

La cuerda, a pesar de ser el instrumento más rudimentario y antiguo de la medición, los topógrafos antiguos una mezcla de cera y resina en donde se sumergía la cuerda y después se dejaba colgada con un peso en su extremo inferior por cierto tiempo. Esto daba como resultado un instrumento de medición con pocas deformaciones y longitud constante durante bastante tiempo, es decir, que este era uno de los instrumentos más preciso y duradero de la antigüedad. La decempeda, fue una herramienta bastante simple pero efectiva. Cada decempeda de 10 pies estaba hecho de una madera bastante dura como el roble y en los extremos tenían aplicaciones de bronce. Esta representaba una de las magnitudes de medidas más comunes del sistema romano, el cual en ese entonces era el más utilizado. Para alcanzar la medida que se requería, los topógrafos romanos unían varias decempedas por los extremos para poder medir distancias mayores. La dioptra, fue un dispositivo de medición de distancia y ángulo heredado de los griegos. Este consistía en una alidada con una tablilla con una abertura circular o longitudinal que podía desplazarse sobre un limbo

graduado. Este mecanismo permitía el empleo de la técnica estadimétrica, de esta manera se podía calcular distancias por métodos indirectos. La estadía basada en este sistema ha sido empleada con éxito en la topografía moderna, pero podemos decir que Hiparco fue el inventor del método dado que es la primera referencia que tenemos de un uso semejante de las pínulas.

La groma, Fue un instrumento en forma de T de poca precisión, el cual era utilizado más que todo para trazar líneas rectas y ángulos rectos a grandes distancias. Esta era una vara vertical que en uno de los extremos tenía un pivote que soportaba dos travesaños de madera que podía girar en el plano horizontal, en cada extremo de estos travesaños colgaba una plomada donde se podía alinear cualquier objeto haciéndole coincidir con dos hilos de la groma.

La Escuadra de Agrimensor, es en forma de cilindro que tiene ranuras verticalmente y por lo tanto las pínulas que forman las ranuras se sitúan de forma precisa en planos perpendiculares. Este instrumento fue bastante utilizado en agrimensura a mediados del siglo XVI.

Estos son algunos de los instrumentos topográficos utilizados en la antigüedad, existen muchos más, pero estos son los más relevantes de la época. Viendo estos instrumentos y como son utilizados se puede notar la manera en la que han ido evolucionando hasta llegar a los que conocemos hoy en día, los cuales son un privilegio debido a que antes era más complicado realizar estos tipos de trabajo porque no se contaba con la avanzada tecnología que tenemos

actualmente, y sin embargo se hacían excelentes trabajos topográficos. Estos instrumentos hacen parte de la historia de la topografía ya que gracias a estos se ha podido llevar a cabo el objetivo de esta ciencia, que es la determinación de un punto sobre la superficie de la tierra, a través de los años.

2.8 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE TOPOGRAFÍA

2.8.1 CONCEPTO DE TOPOGRAFÍA

La topografía es la disciplina que tiene por objeto el estudio y análisis del conjunto de principios y procedimientos que son utilizados para hacer la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y particularidades, tanto naturales como artificiales.

La palabra, como tal, proviene del griego τόπος (topos), que significa "lugar", y el sufijo γραφία -(grafía), que quiere decir "descripción" o "tratado". Las representaciones topográficas son hechas en superficies planas y se limitan a pequeñas extensiones de terreno, pues de las mayores se encarga la geodesia. Se valen del sistema de representación de planos acotados.

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. 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

EL campo de aplicación de la topografía es extenso, es por ello que se vuelve necesario el conocimiento de esta ciencia tanto la parte teórica como práctica. Un ingeniero o arquitecto sin los conocimientos necesarios no podría llevar a cabo un proyecto de ingeniería, para todo proyecto de ingeniería se debe contar con un plano topográfico, esto para edificar adecuadamente sobre la superficie real del terreno una carretera, puente, obras de drenaje, edificios, urbanizaciones entre otros.

Esta situación obliga a los distintos profesionales que requieren a la topografía como una herramienta para el ejercicio de sus profesiones, a considerar las nuevas técnicas que en el campo de la topografía están surgiendo; ventajas competitivas de tiempo, costo y precisión en la ejecución de los levantamientos topográficos, ayudas para el diseño de obras civiles y de arquitectura, así como un mejor y eficiente trazo y control en la construcción, todo esto hace necesario que los ingenieros y arquitectos como usuarios o responsables directos de la información topográfica tengan el conocimiento de los alcances de mejores equipos y técnicas de medición, de cálculo, dibujo y diseño

2.8.2 OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFÍA

A parte de las aplicaciones más comunes que tiene el uso de mapas topográficos, uno de los más interesantes se basa en determinar cómo es la superficie y que está encima de ella como puede ser el tipo de suelo, cultivo, roca etc. Para establecer cuáles son las áreas adecuadas o no para la producción de cultivos, construcción de edificios y otros usos, para conocer cómo es el terreno en las tres coordenadas espaciales es imprescindible trabajar con mapas topográficos.

Gracias a estas medidas recogidas en campo se realizan los mapas topográficos, que describen la relación espacial entre las características físicas, como las curvas de nivel, los símbolos hidrográficos, y las características culturales, como las carreteras y los límites administrativos.

La topografía directa proporciona los datos básicos para todos los mapas topográficos, incluidos los sistemas de imágenes digitales. Esta información se puede usar junto con otros sistemas, como fotografías aéreas o imágenes satelitales, para proporcionar una imagen completa de la tierra en cuestión.

Las actividades fundamentales de la topografía son el levantamiento y el trazo. El levantamiento comprende las operaciones necesarias para la obtención de datos de campos 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.

Es de esta manera como la topografía y la ingeniería han logrado crear un lazo capaz de desarrollar proyectos increíbles. Se basa en tres premisas fundamentales para lograr cumplir con sus objetivos y, por supuesto, para satisfacer las necesidades de los proyectos civiles que se desarrollan en las sociedades modernas.

- Responsabilidad: La obra debe realizarse en función a las referencias que ha marcado el topógrafo. En este sentido, una medición errónea puede dar lugar a un trabajo erróneo y, por tanto, a todos los problemas que ello conlleva
- Velocidad: Si se retrasa la ejecución de los trabajos topográficos, también se estarán retrasando otras fases para la consolidación del proyecto; un ejemplo de ello puede ser la materialización y los trabajos de obra.
- Sencillez: Es importante que el proyecto topográfico se establezca de una manera sencilla y con los símbolos conocidos mundialmente para que la interpretación por parte de los ingenieros sea la más adecuada.

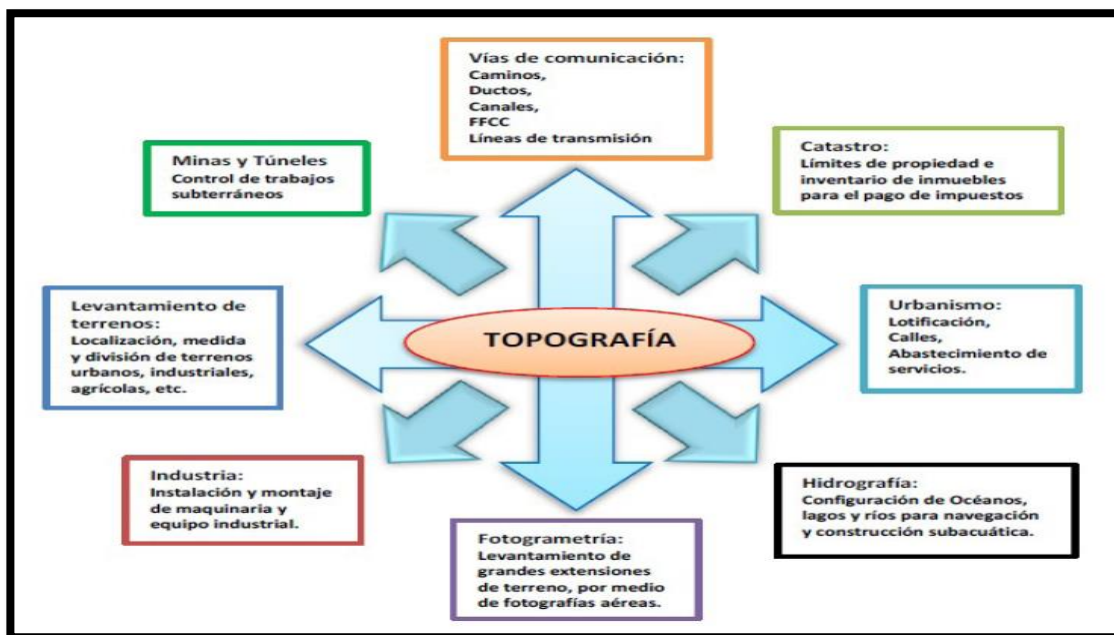


FIGURA 12: TOPOGRAFÍA Y SU RELACIÓN CON LA CIENCIA. FUENTE: TOPOGRAFÍA - CEGG <https://sites.google.com/site/topografiacegg/introduccion>

2.8.3 IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA

Los proyectos de ingeniería y la topografía en general, tienen una gran importancia en el desarrollo de proyectos de construcción de infraestructuras debido a la evolución y avance que se ha producido en esta ciencia por la ayuda de las nuevas tecnologías que permiten llevar a cabo mediciones y descripciones más precisas y exactas; por eso una medida mal tomada o un plano mal realizado puede tener graves consecuencias pues como resultado se tendrá una mala representación de la realidad que impediría llevar a cabo construcciones en dicho terreno.

La topografía tiene aplicaciones dentro de la ingeniería civil: En ella es necesario realizar trabajos topográficos antes, durante y después de la construcción de obras tales como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales etc. Es utilizada como un servicio para los distintos sectores de obra como son: excavadores, armadores, carpinteros, soldadores, etc. Los levantamientos preliminares son de suma importancia, ya que de ellos depende la puesta en obra del proyecto. En el caso de ser una obra de remodelación o montaje en un edificio ya construido resulta de suma importancia la obtención con precisión de la posición de columnas, muros, vigas, etc. Para la ejecución de esos relevamientos se pueden seguir diferentes métodos según las circunstancias. Las nivelaciones forman parte fundamental también en los trabajos topográficos, siendo casi en su totalidad nivelaciones del tipo geométricas

2.8.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Un levantamiento topográfico, como la propia etimología nos indica, es la descripción técnica o representación gráfica de un lugar. Su objetivo es examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, así como las alteraciones existentes consecuencia de la intervención del hombre (construcción de taludes, excavaciones, canteras, etc.).

La realización de un levantamiento topográfico puede ser necesaria en diferentes situaciones y campos de actuación profesional. Un levantamiento topográfico es necesario para cualquier proyecto de agrupación y segregación de parcelas o proyectos de urbanización, también al inicio de una obra o edificación cuando se deben replantear los elementos principales y deslindes relacionados con el terreno. Un levantamiento topográfico es parte sustancial de los informes periciales y la documentación requerida en operaciones de compraventa, expropiaciones y actualizaciones catastrales, ya que permiten determinar la ubicación exacta y la medición sobre terreno de fincas rústicas o urbanas.

Representa una herramienta esencial para la realización de cualquier trabajo de edificación, un levantamiento topográfico permite elaborar con precisión un mapa del terreno y en él situar los puntos y marcas que sirven como guía para el trazo de la respectiva construcción.

Así pues, podemos decir que el levantamiento topográfico es un término que utilizamos para referirnos al estudio técnico y descriptivo de un terreno. Consiste básicamente en la recopilación de datos para poder realizar, con posterioridad, un plano que refleje con exactitud los elementos y parámetros del terreno sobre el que queremos actuar.

Es importante saber que un levantamiento topográfico describe la planimetría del terreno, es decir, las posiciones relativas a varios puntos en el

plano horizontal, por otro, la nivelación directa, la altura entre varios puntos tomando como referencia el plano horizontal.

Existen 2 Métodos para levantamientos:

- Método de Radiación.
- Método de Poligonación.
 - Poligonal Abierta
 - Poligonal Abierta con Control
 - Poligonal Cerrada

2.8.4.1 MÉTODO DE RADIACIÓN

Este tipo de levantamiento topográfico consiste en ubicar un punto estratégico dentro o fuera del terreno que se desee medir, dicho punto será donde se ubicará el equipo de medición, posteriormente se procede a medir el acimut y distancia horizontal hasta cada una de las esquinas o vértices del terreno en estudio.

Para la correcta ejecución de este método de levantamiento topográfico se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Todos los puntos que definen el lidero del terreno, deben ser visibles desde el punto estratégico elegido.

- Los alineamientos entre la estación y los puntos que definen el terreno, deben estar libres de obstáculos con el objeto de poder medir las distancias entre ellos.
- La distancia tomada entre la estación y los puntos radiados es la distancia horizontal

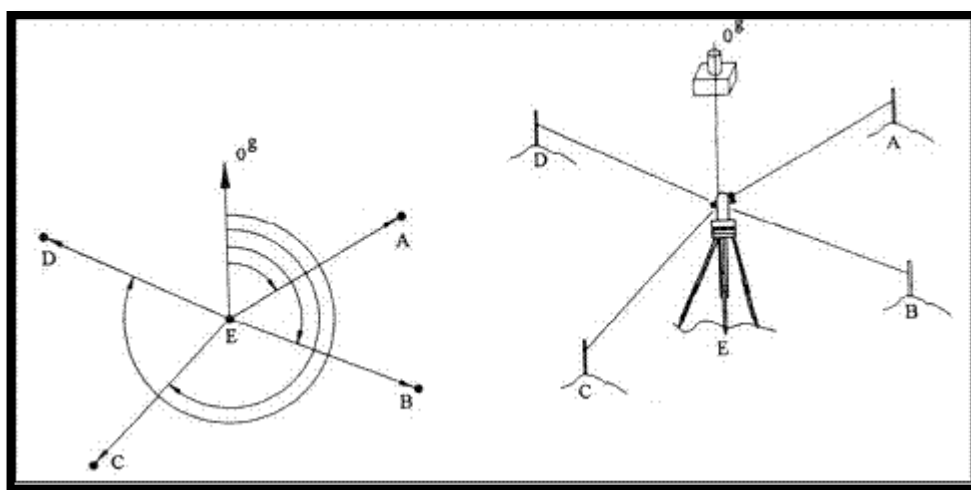


FIGURA 13: MÉTODO POR RADIACIÓN. FUENTE: MONOGRAFÍA
<https://www.monografias.com/trabajos107/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel/levantamiento-topografico-representacion-detalles-y-curvas-nivel>

2.8.4.2 MÉTODO DE POLIGONACIÓN

Una poligonal es una sucesión encadenada de radiaciones, donde se debe obtener como resultado final las coordenadas (X, Y, Z) de los puntos de estación. Se parte de un punto de coordenadas conocidas y se llega a otro también de coordenadas conocidas. Desde el punto inicial y final se visará a una referencia, también de coordenadas conocidas, como mínimo.

Los puntos que se toman como referencia para la poligonal tendrán que:

- Estar relacionados entre sí (acimut y distancia)
- Tener completa visibilidad entre los puntos elegidos para la poligonal
- Poder desempeñar el trabajo para el que se ha diseñado la poligonal, es decir, evitar hacer cambios en el camino que alarguen el respectivo levantamiento topográfico.

POLIGONAL ABIERTA:

Es aquella poligonal sin comprobación por cierre; debido a que los errores lineales o angulares no pueden ser detectados, en la cual su punto de inicio y su punto de llegada son diferentes. Atendiendo a esto, el punto inicio puede ser de coordenadas conocidas, pertenecer a una línea base donde sus dos extremos tienen coordenadas conocidas o pueda estar orientada. Por lo tanto, la única comprobación posible en este caso, consistirá en repetir las mediciones o volverla a levantar en sentido contrario.

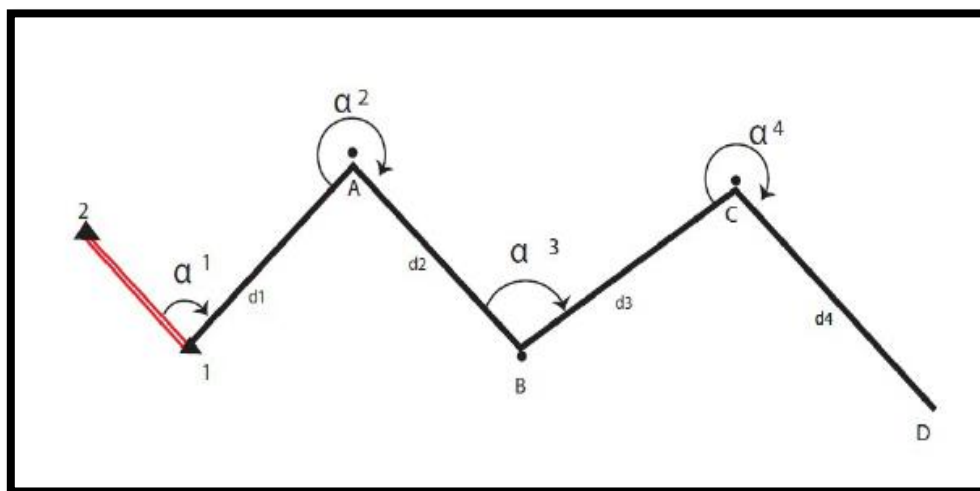


FIGURA 14: MÉTODO DE POLIGONACIÓN (ABIERTA). FUENTE: TOPOGRAFÍA IUPSM
<http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

Cuando se está situado en un punto la dirección de la norte se puede determinar: realizando observaciones solares, observaciones a estrellas o empleando instrumentos como la brújula, el giróscopo. En la actualidad existe un sistema que nos permite conocer la posición de cualquier punto en la superficie terrestre y haciendo uso de esto formar una línea base de la cual conocemos las coordenadas de sus extremos y con estas determinar el azimut de esta línea.

POLIGONAL CERRADA:

En este tipo de levantamiento los lados cierran formando un polígono, esto quiere decir que su punto de inicio coincide en posición con el final; siendo posible realizar un control de acuerdo a una condición geométrica de sus

ángulos. Para el trabajo con estas poligonales se debe efectuar una previa orientación de la línea inicial.

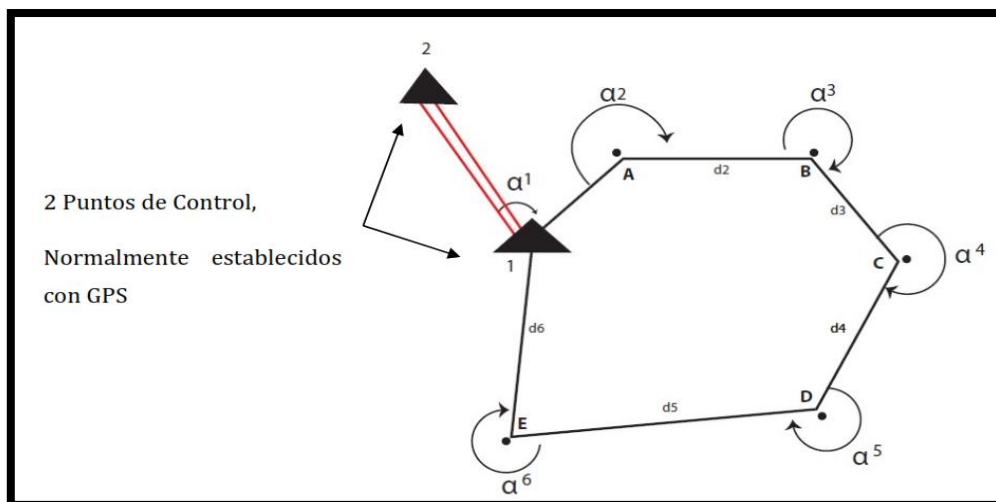


FIGURA 15: MÉTODO DE POLIGONACIÓN (CERRADA). FUENTE: TOPOGRAFÍA IUPSM
<http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

Existe un tipo de poligonal que a pesar de que su punto de inicio no es igual al punto de llegada se considera cerrada, por estar ligada a una línea base de acimut conocido y llegar a otra línea de iguales características; previamente establecidas. Al igual que la poligonal cerrada en sí misma, éste tipo de poligonal tiene control en el sentido de que el acimut de la línea de llegada deducido de los ángulos de la poligonal debe coincidir con el acimut ya establecido

POLIGONAL ABIERTA CON CONTROL:

En una poligonal abierta con control, el error angular viene dado por la diferencia entre el acimut final, calculado a partir del acimut inicial conocido y de los ángulos medidos en los vértices y el acimut final conocido.

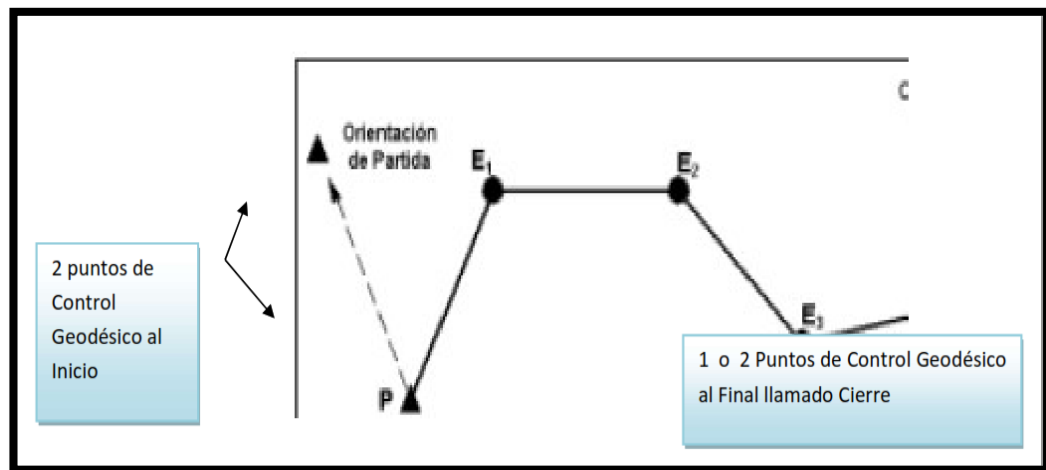


FIGURA 16: ORIENTACIÓN DE POLIGONAL ABIERTA CON CONTROL. FUENTE: TOPOGRAFÍA II INGENIERÍA CIVIL <https://es.slideshare.net/jhonysaidbenavidesfernandez/poligonalcerrada>

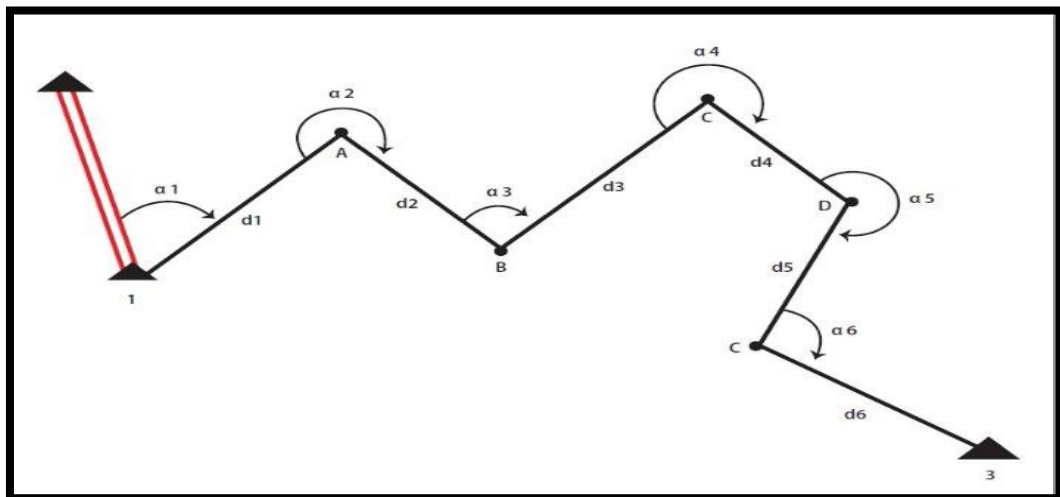


FIGURA 17: POLIGONAL ABIERTA CON CONTROL. FUENTE: HIVE BLOG <https://hive.blog/gps/@dasl3000/levantamiento-topografico-con-fines-catastrales>

2.8.5 ETAPAS DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Mediante un levantamiento topográfico podemos estudiar cada una de las características naturales o construidas por el hombre sobre la superficie terrestre. Obteniendo datos tanto del terreno en estudio como de sus edificaciones mediante lo que llamamos: mapas topográficos, que son una representación a escala que detalla las diferentes áreas del territorio donde se realizó el levantamiento, esto con el propósito de tener un adecuado análisis y criterio del área que se desea trabajar.

El levantamiento topográfico es una secuencia de pasos, que involucra desde la calibración del equipo hasta el procesamiento de datos, por lo tanto, se puede decir que un levantamiento se realiza en dos partes las cuales son:

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

La duración de cada levantamiento depende en gran medida del tamaño del área o terreno, por lo que es recomendable calcular el tiempo de trabajo primero antes de acudir a realizar la labor, hacer un reconocimiento del terreno previo al levantamiento para identificar puntos de visibilidad y accesibilidad esto para garantizar un proceso rápido y eficiente sin poner en riesgo el equipo topográfico y el recurso humano.

Planificar un levantamiento topográfico es de vital importancia para el éxito del proyecto a ejecutar. Como profesional de ingeniería civil se debe desarrollar un análisis claro y preciso de los objetivos del proyecto y las expectativas del cliente. La primera etapa implica decidir qué tipo de levantamiento se requiere, qué equipo se necesitará y qué personal estará involucrado. También es necesario determinar la extensión del área a medir y el nivel de precisión requerido.

Tomar nota de aspectos relevantes observados en el terreno así mismo tomar mediciones, hacer croquis, descripciones, que nos ayuden a realizar el trabajo de oficina, es una buena práctica ya que sirve como respaldo de un levantamiento topográfico cualquiera. Estas anotaciones de datos y cálculos deben estar completos, correctos y ser claros; de lo contrario, se perderán tiempo y recurso humano invertido.

El proceso del levantamiento de un terreno se puede dividir en cuatro pasos principales: recopilación de datos, procesamiento de datos, análisis de datos y creación de mapas.

2.9 LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON

El dron industrial es un vehículo aéreo autónomo, portátil y confiable, que tiene suficiente potencia y autonomía para volar con una amplia gama de sensores, lo que permite que sea empleado en diversos rubros. Uno de los campos de mayor impacto es en el de la topografía, donde gracias al dron es

posible realizar levantamientos topográficos de gran precisión en poco tiempo, suministrando a los procesos de Ingeniería información completa y confiable. La escala de trabajo de los drones los convierte en una herramienta ideal para cubrir la brecha existente entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales por tierra. Combina la precisión y detalle de una visita al campo con la cobertura y alcance de una aeronave. Además, vuelan por debajo de la cobertura de nubes, lo que permite emplearlos en gran variedad de condiciones climáticas. Dependiendo de la plataforma aérea y prestaciones del equipo empleado, son ideales para cubrir extensiones desde cientos hasta miles de hectáreas y desde decenas hasta cientos de kilómetros lineales. Todo ello en poco tiempo, bajos costos de logística y reducción en el trabajo de campo y riesgo humano.

El rol del dron en el trabajo de levantamientos topográficos es el de adquirir la data del campo mediante la toma georreferenciada de fotografías aéreas verticales consecutivas y homogéneas que se traslapan entre ellas a fin de crear pares estereoscópicos entre las fotos.

Luego las imágenes son procesadas por software especializado que, tomando la información de calibración de la cámara, el punto donde se tomó la foto y las coincidencias entre las múltiples fotos, interpreta y genera la nube de puntos georreferenciada de la superficie del terreno sobrevolado.

El software genera una nube de puntos, que es similar a los puntos que se toman en el terreno para un levantamiento manual, con la diferencia de la densidad del muestreo. En grandes extensiones la densidad manual puede llegar a cuadrículas de 25 - 50 y más metros. En el escaneo con dron esta misma cuadrícula de puntos se reduce a solo centímetros, creando un modelo de la superficie totalmente detallado. A partir de la nube de puntos se puede reconstruir y texturizar la malla del terreno, que no es otra cosa que la superficie del terreno digitalizada. A partir de esta malla es posible generar cortes y curvas de nivel, medir volúmenes y realizar todos los trabajos necesarios, bien sea en software de ingeniería o GIS.

2.9.1 RESOLUCIÓN, CALIDAD Y PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON

La resolución se expresa en pixeles/cm y representa el tamaño que ocupa cada pixel en la foto realizada, dependiendo de las necesidades de cada proyecto es posible obtener resoluciones que van desde 1cm/pixel hasta 12cm/pixel, para ello pueden variar el tipo de lente, resolución de la cámara y altura de vuelo, por regla general, mayor resolución implica volar a una altura baja y velocidad de vuelo lenta, lo que exige más tiempo en el aire, lo que a su vez implica realizar más vuelos.

Es importante determinar la necesidad final de resolución para optimizar la altura y velocidad de los vuelos, a fin de maximizar la eficiencia del equipo en campo.

La calidad de las fotos es fundamental para obtener los pixeles/cm deseados, se necesita que la foto sea nítida para alcanzar la resolución real de la cámara, pues de lo contrario, en una foto borrosa, movida o de poca resolución, no se podrá identificar con precisión los puntos de control ni realizar de manera eficaz la triangulación de la información.

La precisión de un levantamiento topográfico realizado con dron se basa en la diferencia que puede surgir entre las coordenadas de un punto determinado en el terreno y las coordenadas obtenidas del mismo punto en la reconstrucción tridimensional.

2.9.2 OPTIMIZACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO CON DRON

Como en cualquier sistema de múltiples variables, la fotogrametría con dron será tan precisa como lo permita el mayor factor de error aplicable a cualquiera de sus etapas. Partiendo de la imposibilidad de determinar el punto exacto de nuestro GCP dentro del pixel de la foto, debemos asumir que existe una imposibilidad técnica en los ejes XY de asegurar mayor precisión que el tamaño de nuestro pixel. En promedio, se lograrán precisiones en cada GCP de 5cm en los ejes XY. En el eje Z el error se puede reducir a una fracción de centímetros y dependerá exclusivamente de la exactitud del punto GPC. En la

práctica, al comparar levantamientos manuales con levantamientos con dron, se comprueba que la técnica manual tiene errores acumulativos sobre la superficie donde no es posible por tiempo/costos o accesibilidad tomar puntos de control. Este problema queda totalmente resuelto al escanear la superficie con dron. Por ello la información del dron que ha sido correctamente georreferenciada y amarrada a puntos de control consistentes, termina siendo más precisa que la recolectada con métodos tradicionales en campo y con 10 veces más detalle que la adquirida desde aviones tripulados.

2.9.3 VENTAJAS DE REALIZAR LA FOTOGRAMETRÍA CON DRON

Hasta la reciente aparición de los drones, la fotogrametría aérea, se realizaba con imágenes satelitales o directamente desde helicópteros/avionetas. Cada método presenta ventajas e inconvenientes, por lo que no existe una solución única para todo tipo de trabajos:

Helicópteros: aunque pueden ofrecer una buena resolución (20/40 cm/píxel), son caros de operar (miles \$/hora) y el procesamiento supone un costo importante.

Avioneta: ofrecen una resolución similar a los helicópteros, pero son más económicos (cientos \$/hora). Como en el caso anterior, es necesario estimar cuidadosamente los costos de procesamiento ya que en la mayoría de casos supondrán miles de dólares por proyecto.

Satélites: aunque no se trata de una tecnología excesivamente cara ofrecen una resolución muy baja para ese tipo de trabajos (1m por píxel). Otros problemas asociados a esta tecnología son el tiempo de revisita y existencia de oclusiones (nubes).

Por otro lado, los drones para fotogrametría nos ofrecen rapidez, hablamos de que en unas pocas horas podremos disponer del mapa totalmente procesado, costos muy bajos (ordenes de magnitud más económicos que las alternativas anteriores) y mayor control en el resultado final.

2.9.4 CARACTERÍSTICAS DEL PHANTOM 4 PRO

El DJI Phantom 4 PRO es una cámara aérea extremadamente inteligente con un sistema de detección de obstáculos en 5 direcciones formado por sensores de visión y de infrarrojos que le permite esquivar obstáculos de manera inteligente durante el vuelo. Su nueva cámara ofrece una calidad de imagen sin precedentes en un Phantom, para capturar fotos y vídeos con mayor claridad y resolución y menos ruido. La capacidad de doble frecuencia del control remoto aumenta la eficacia y la estabilidad de la transmisión de vídeo HD.

- Cámara y estabilizador: El Phantom 4 Pro / Pro+ puede grabar vídeos 4K a un máximo de 60 fotogramas por segundo y tomar fotografías de 20 megapíxeles con una nitidez y claridad sin precedentes gracias a su nuevo

sensor CMOS de 1 pulgada. Su obturador mecánico y enfoque automático captan las mejores tomas aéreas.

- Controlador de vuelo: El Controlador de Vuelo se ha actualizado para ofrecer una experiencia de vuelo más segura y fiable. Un nuevo registrador de vuelo almacena datos cruciales de cada vuelo. Un sistema de sensores visuales mejora la precisión del vuelo estacionario en interiores o en entornos sin señal GPS. Un nuevo diseño de IMU doble y brújulas le proporciona redundancia.
- Transmisión de vídeo HD: La transmisión HD de baja latencia a larga distancia, hasta 7 km (4,3 mi), se efectúa mediante una versión mejorada de DJI LIGHTBRIDGE™. Y, al admitir 2,4 GHz y 5,8 GHz, se asegura una conexión más fiable en entornos con altos niveles de interferencia.
- Control remoto: El control remoto del Phantom 4 Pro+ incluye un monitor de alta luminancia de 5,5 pulgadas con DJI GO integrado para el máximo control.
- Batería de Vuelo Inteligente: La nueva Batería de Vuelo Inteligente de 5870 mAh DJI incorpora celdas de batería mejoradas y un sistema avanzado de gestión de energía para ofrecer hasta 30 minutos* de vuelo.

2.10 MODELOS DIGITALES

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite

caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores simétricos).

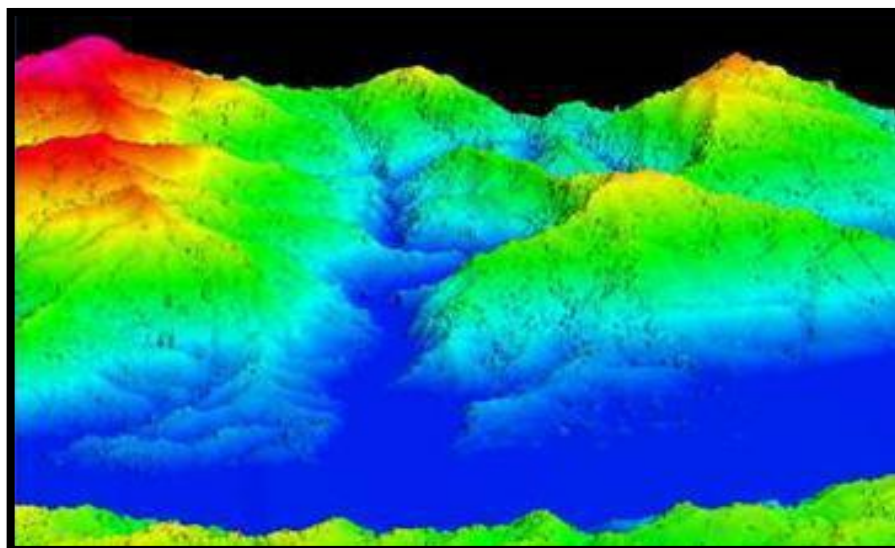


FIGURA 18: MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN CON VISTA EN PERSPECTIVA. FUENTE: MODELOS DIGITALES <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

El modelo digital de elevación desde su creación en la década de los 50 ha constituido un medio para el conocimiento y representación del terreno y para lograr análisis de los elementos presentes en el mismo mediante el uso de equipo y software especializado para tal fin. En la actualidad los modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve muy versátil y funcional ya que a partir del mismo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (MDS).

2.10.1 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

Modelo digital de superficie (MDS) que representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente).

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.

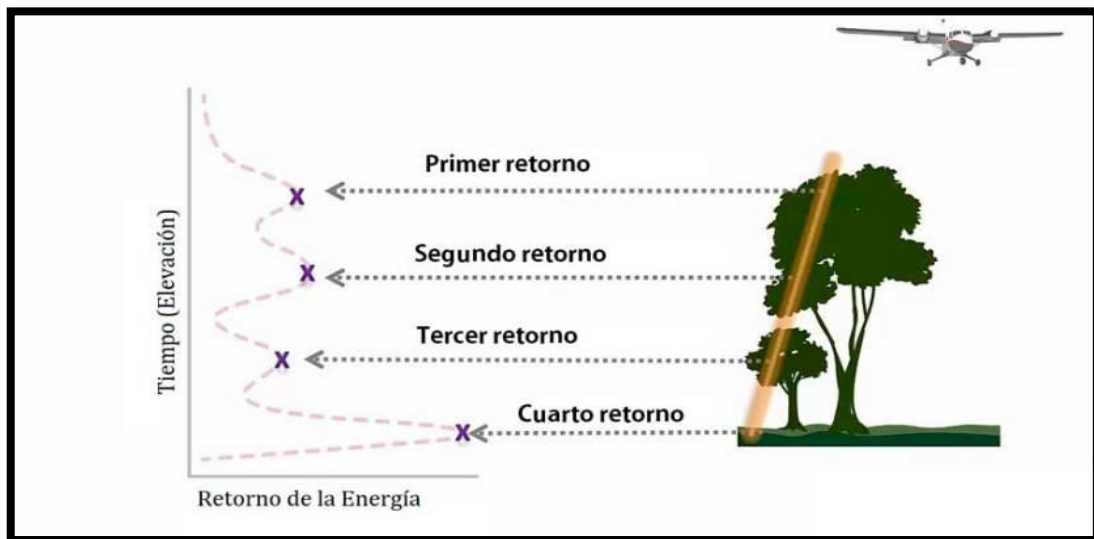


FIGURA 19: DETECCIÓN Y ALCANCE DE LUZ AÉREA (LIDAR). FUENTE: ARC GEEK
<https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

Al final, LIDAR entrega una enorme nube de puntos llena de diferentes valores de elevación. Pero 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 (ver ilustración 14). Un DSM es útil en modelado 3D para telecomunicaciones, planificación urbana y aviación. Debido a que los objetos se extraen de la Tierra, esto es particularmente útil en estos 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.

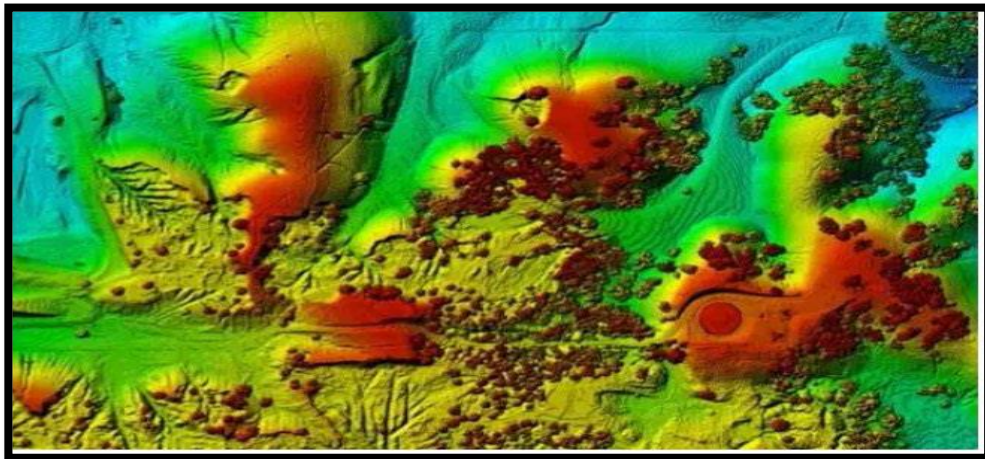


FIGURA 20: DSM VEGETACIÓN PRESENTE SOBRE EL TERRENO. FUENTE: ARC GEEK
<https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

2.10.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Un modelo digital de elevación (DME) 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.

Los Modelos Digitales de Elevación pueden ser usados en ingeniería civil, en aplicaciones tales como en el diseño para la construcción de infraestructura diversa, minas a cielo abierto, el cálculo de perfiles (secciones de perfil) y los cálculos de volúmenes (llamado también de “corte y relleno”). Son usados en aplicaciones tales como diseño de carreteras, presas y otro tipo de infraestructura

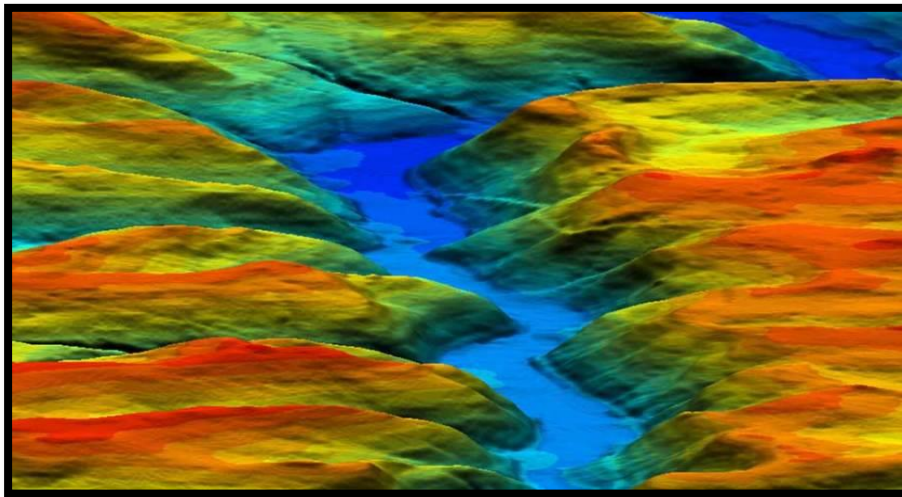


FIGURA 21: MODELO DE ELEVACION DIGITAL. FUENTE: ARC GEEK <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

Cuando se anula la vegetación y las características creadas por el hombre a partir de los datos de elevación, se genera un DEM. Un modelo de elevación de tierra desnuda es particularmente útil en hidrología, suelos y planificación territorial.

- Modelización hidrológica. Los hidrólogos usan DEMs para delinear cuencas hidrográficas, calcular la acumulación de flujo y la dirección del flujo.

- Estabilidad del terreno. Las áreas propensas a las avalanchas son áreas de alta pendiente con escasa vegetación. Esto es útil cuando 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).

2.10.3 MODELO DIGITAL DE TERRENO

En este caso, se trata de un modelo digital donde solo nos quedamos con la capa suelo, eliminando todos los elementos de vegetación (árboles) y estructurales (construcciones) del territorio. Así tenemos una imagen limpia de todo nuestro terreno.

Un Modelo Digital del Terreno (DTM) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc. 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 sólo los datos originales.

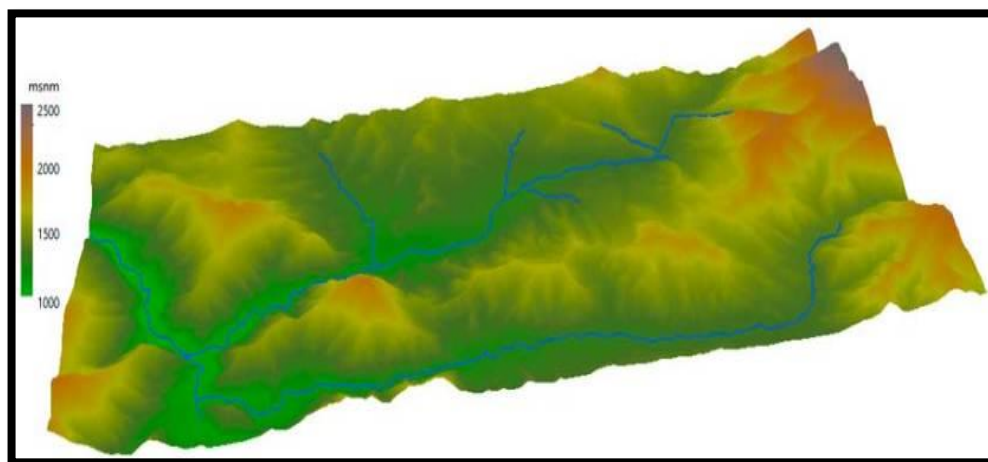


FIGURA 22: MODELO DIGITAL DE TERRENO. FUENTE: ARC GEEK <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

3 CAPÍTULO III: CREACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

Un sistema de referencia geodésico 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.

La extensión de archivo PRJ se utiliza para indicar los archivos de datos que son utilizados por varios programas para guardar los datos y la configuración del proyecto. Estos archivos también pueden incluir referencias a otros archivos o proyectos.

A continuación, se muestra el proceso o la serie de pasos que se sigue para poder verificar la georreferenciación de la orto foto de la Facultad de

Ciencias Agronómicas, en dicha facultad se realizó un levantamiento topográfico con el dron PHANTOM 4 PRO. Con el objeto de generar un archivo en formato “prj” configurado con los parámetros de proyección geodésicas de nuestro país y poder generar una extensión kmz/kml de la imagen en GeoTif generada en PIX4D-Mapper, todo esto del levantamiento antes mencionado y así proceder a cargar el archivo en Google Earth, para asegurar la correcta localización o georreferenciación de la orto foto de la zona en la que se realiza el levantamiento fotogramétrico.

- En software Global Mapper y se escoge de la barra de comandos la pestaña TOOLS y se selecciona CONFIGURACIÓN.

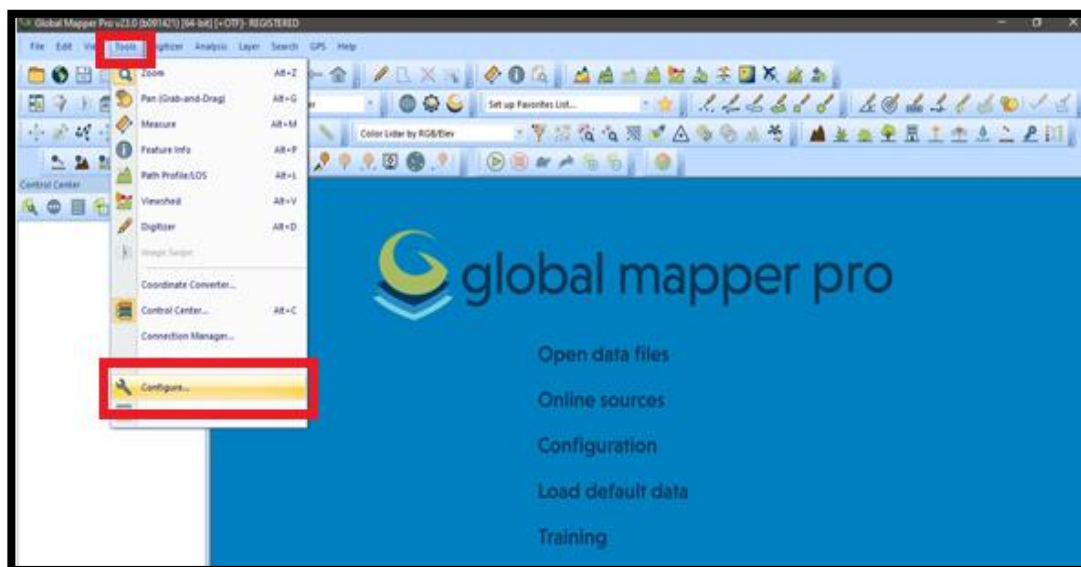


FIGURA 23: PANTALLA INICIAL PARA CONFIGURACIÓN EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Realizada la acción anterior, el software genera el siguiente recuadro donde permite ver una serie de ventanas a explorar, para este proyecto se selecciona la carpeta con el nombre de **PROJECTION**.

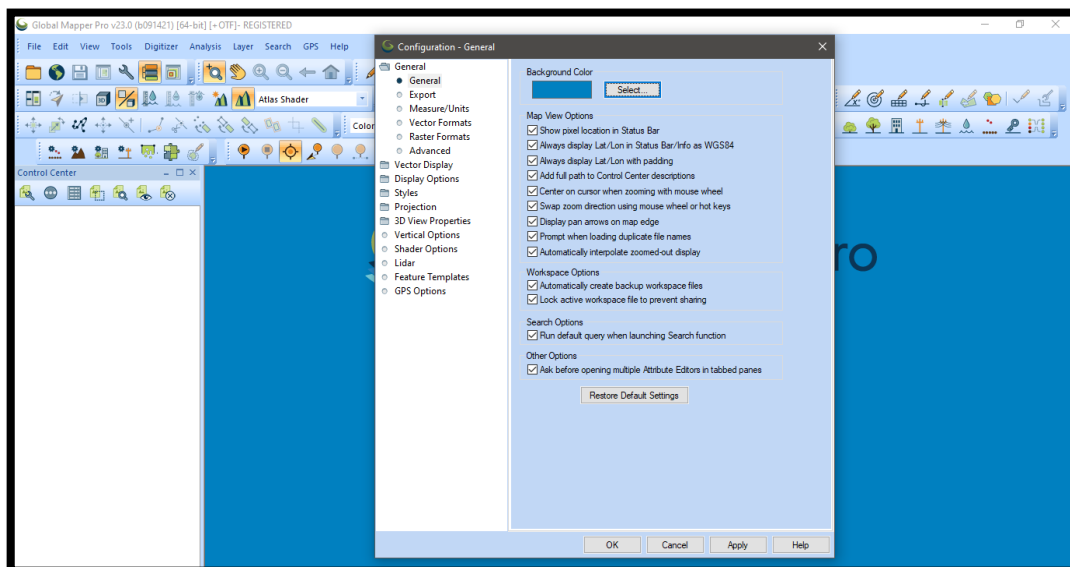


FIGURA 24: SELECCIÓN DE PESTAÑA PROYECCIÓN. FUENTE: PROPIA

- Posterior de seleccionar PROJECTION, el software genera el cuadro siguiente que permite crear el archivo prj, cuadro en el cual permite digitar los parámetros de proyección de El Salvador.

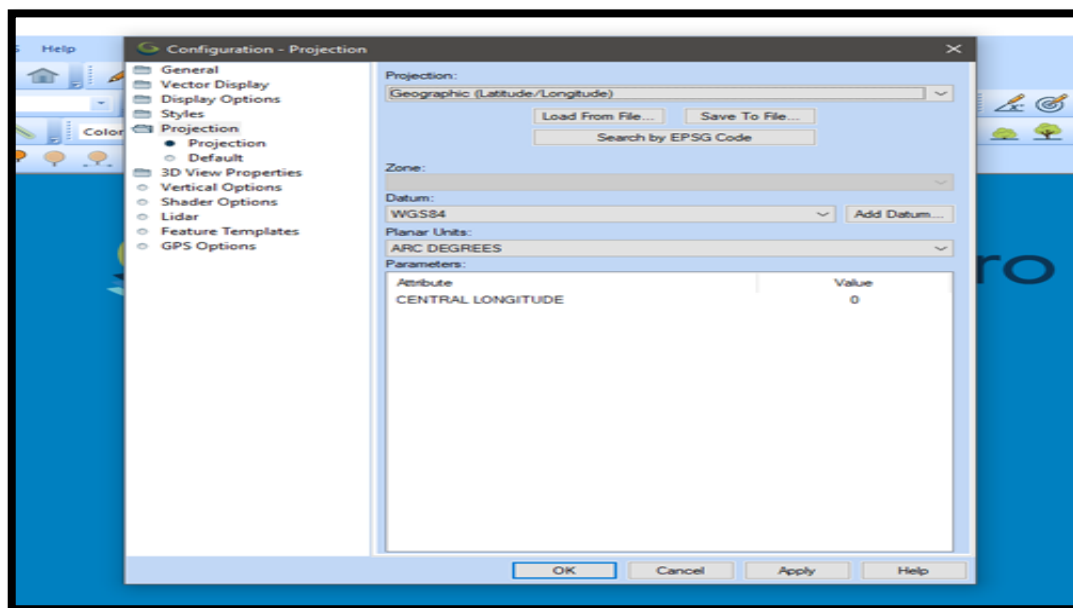


FIGURA 25: CONFIGURACIÓN DE LA PROYECCIÓN EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Del cuadro de dialogo se selecciona la pestaña projection, presentando así una serie de proyecciones geodésicas de diferentes partes del mundo, para este trabajo se escoge Lambert Conformal Conic, acción que genera el nombre de los parámetros a los cuales se digitan sus valores correspondientes al sistema de referencia geodésico de El Salvador.

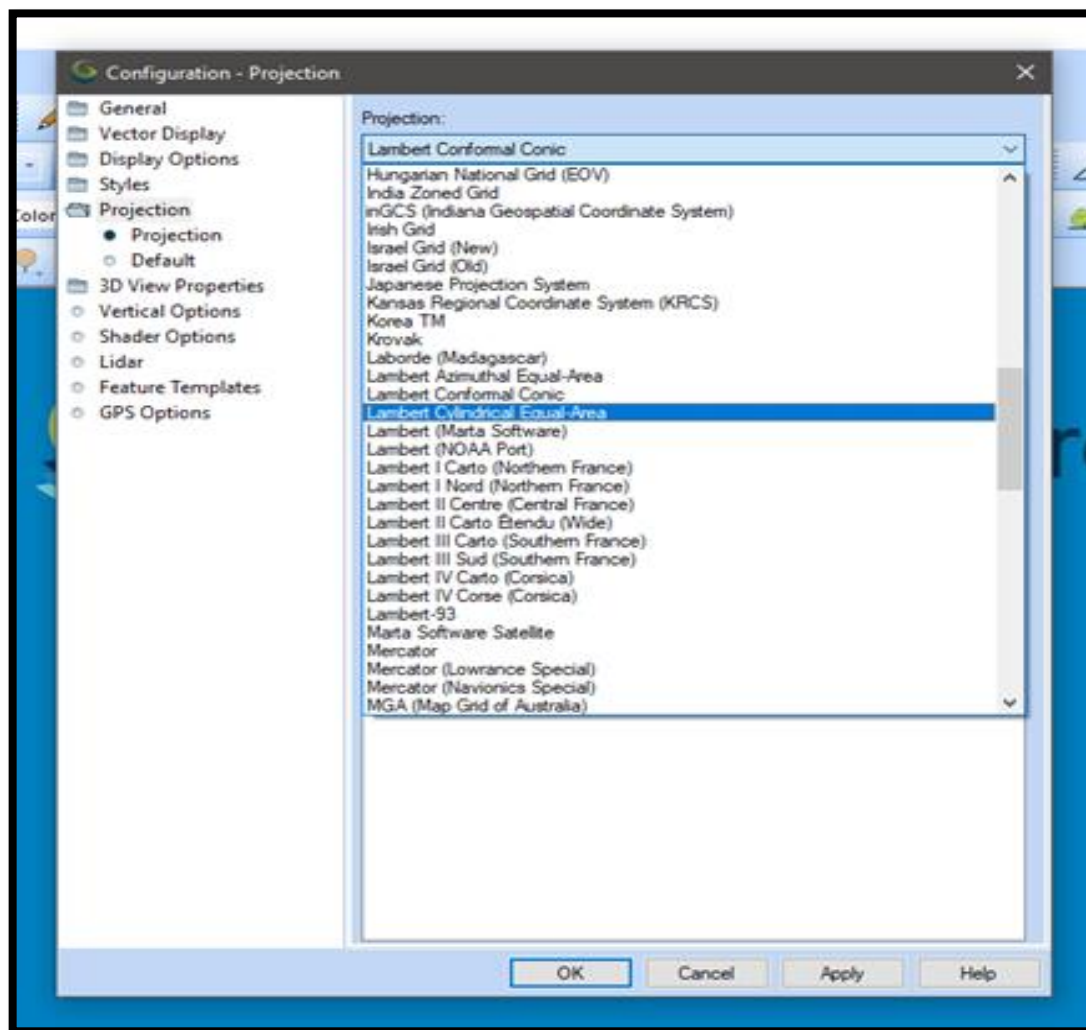


FIGURA 26: SELECCIÓN DE PROYECCIÓN LAMBERT CONFORMAL CONIC. FUENTE: PROPIA

- Posterior se procede a digitar los valores de los parámetros de proyección geodésicos que corresponden a la zona de El Salvador, así mismo, se escoge el DATUM WGS-84, que es el datum geocéntrico que se utiliza de referencia desde el centro del planeta para ubicar la posición correcta que se trabaja en base a los parámetros de proyección digital.

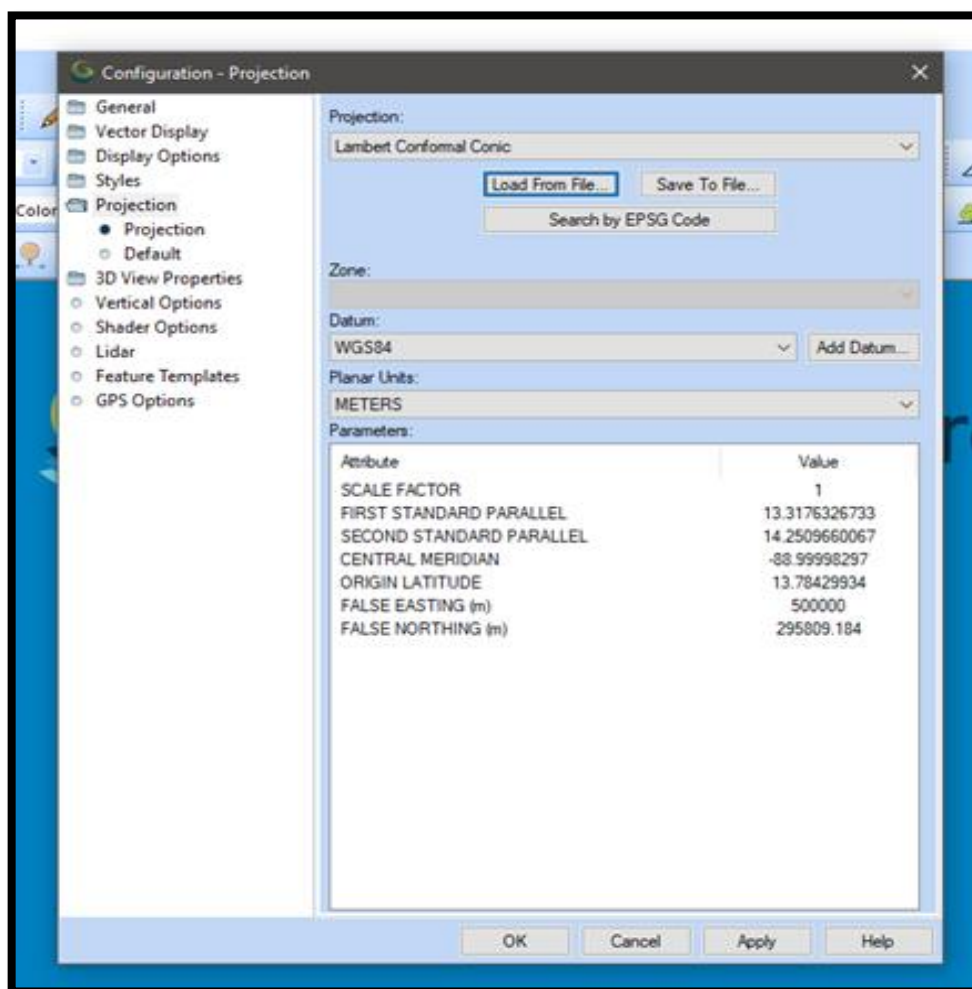


FIGURA 27: PARÁMETROS DE PROYECCIÓN DE EL SALVADOR. FUENTE: PROPIA

- Luego de digitar los valores de los parámetros de proyección, se identifica y se selecciona la pestaña Save To File, la cual tiene por objeto que los datos antes configurados queden guardados directamente como un archivo con extensión prj, esto para garantizar una georreferenciación a

las imágenes con formato GeoTif, además se puede usar como base para trabajos posteriores.

Se guarda el archivo en el disco “C” de la maquina con el nombre de archivo prj, una vez guardado se podrá utilizar para diferentes imágenes en las que sea necesario georreferenciar o localizar su posición a través de Software como Google Earth en formatos Kmz/kml.

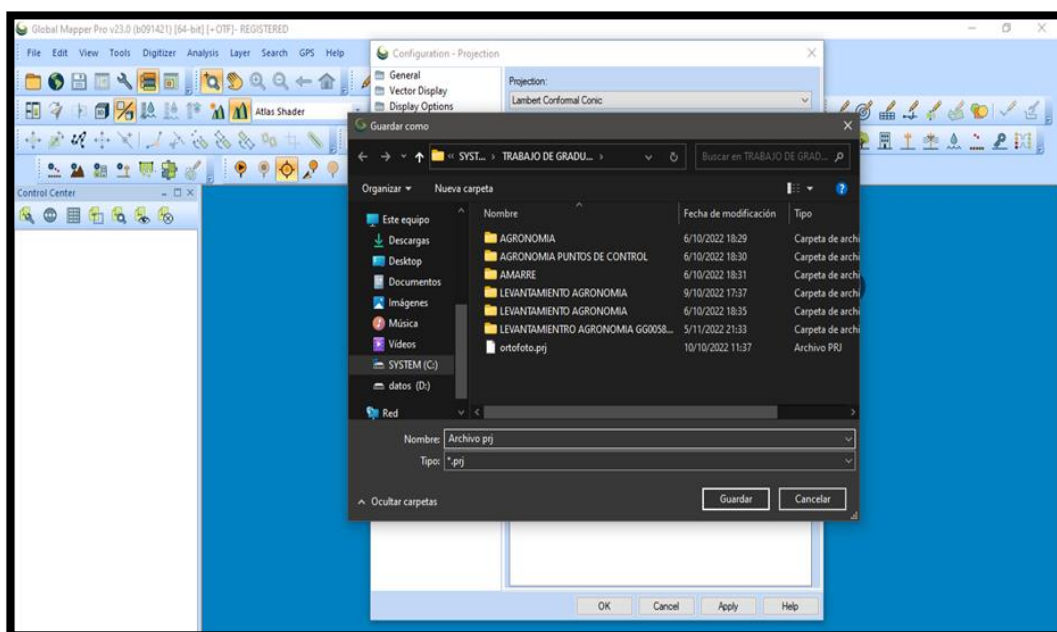


FIGURA 28: GUARDAR DOCUMENTO CON EXTENSIÓN PRJ. FUENTE: PROPIA

4 CAPÍTULO IV: OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO

4.1 OBTENCIÓN DE DATOS CON TÉCNICA GNSS

De las múltiples técnicas de posicionamiento, los sistemas GNSS ocupan un lugar especial debido en gran medida a la simplicidad en el uso y el bajo costo para una gran variedad de aplicaciones. En este sentido hoy día existen o se

encuentran en fase de desarrollo e implantación diferentes constelaciones tales como GPS (Global Position System) desarrollado por los Estados Unidos, GLONASS (Global Navigation Satellite System), desarrollado en sus orígenes por la Unión Soviética, Galileo en fase de implantación, fruto de la colaboración de la Agencia Espacial Europea y la Comisión Europea, COMPASS resultado de la evolución del sistema Beidou desarrollado por el gobierno chino.

De todos los sistemas GNSS existentes en la actualidad la norma se centrará en el sistema GPS debido a que presta servicio con carácter global, encontrándose el resto hoy día en fase de implantación, como Galileo, o presentando carácter geoestacionario para dar servicio exclusivamente a una zona geográfica concreta.

Para este proyecto, la medición se llevó a cabo con un equipo Carlson, el cual posee un tipo de antena HSM320 para establecer coordenadas geodésicas a los puntos marcados sobre la superficie en estudio con la técnica RTK (ROVER), y en el punto de referencia BASE RTK BIBLIOTECA se fija un Equipo Carlson (BASE).

4.1.1 PASOS PARA INSTALACIÓN DE EQUIPO SOBRE PUNTO GEODÉSICO.

- Se coloca el trípode con base nivelante, sobre el punto geodésico con coordenadas ya establecidas a partir del cual se desea realizar la medición, procurando centrar y nivelar correctamente.

- Posterior se coloca el receptor sobre el trípode, antes verificar que este correctamente conectado, baterías cargadas, memoria del dispositivo instalada correctamente.
- Armada y colocada la antena sobre el punto geodésico, la cual hace la función de antena Base, para una correcta configuración de debe conocer la altura desde el punto geodésico hasta el receptor, cabe dejar claro que al utilizar trípode dicha altura debe ser tomada de manera inclinada.
- Una vez instalado correctamente el equipo, se procede a encender el Receptor y colector y así verificar que reciba correctamente la señal satelital.



FIGURA 29: INSTALACIÓN DE EQUIPO SOBRE PUNTO GEODÉSICO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

4.1.2 INTRODUCCIÓN DE PARÁMETROS Y DATOS PARA CONFIGURAR LA BASE.

- Se utiliza un colector, para ello se carga el SurvCE, luego se selecciona la opción BASE, luego se procede a digitar las coordenadas del punto geodésico.



FIGURA 30: PROGRAMA DE TRABAJO SURVCE. FUENTE: ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA (2021) MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO GPS CARLSON

- Se selecciona la opción TRABAJO NUEVO, el programa solicita nombrar el proyecto, para este caso el nombre del proyecto es PCF-510, dar clic en aceptar, se escoge el sistema SIRGAS-ES2007 para luego confirmar la acción.



FIGURA 31: SELECCIÓN DE TRABAJO NUEVO. FUENTE: ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA (2021) MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO GPS CARLSON

- Se procede a conectar, eligiendo la opción sin conexión, para luego escoger la pestaña CON BLUETOOTH. Se localiza y ubica en herramientas para luego escoger base, en la pestaña comms elegir “con bluetooth” hacer clic en buscar el dispositivo (este paso puede demorar unos cuantos segundos) paso importante es verificar el número que se encuentra en la parte inferior del aparato. Para la base se utiliza el equipo en terminación 8541. Una vez identificado el equipo se escoge cualquier puerto y aceptar.
- Posterior se enlaza, en el icono de enlace se puede verificar que la configuración se ejecutó correctamente, cuando enciende el indicador de la base, se busca en menú la pestaña RECEPTOR para luego poder

digitar la altura de antena en este caso inclinada se verifico una altura de 1.414 m, clic en aceptar.



FIGURA 32: CONFIGURACIÓN DE ALTURA DE ANTENA. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

- Posteriormente digitar las coordenadas, para esto en la opción teclear latitud/ longitud dar clic y digitar las coordenadas de la base, ubicado sobre la azotea de la Biblioteca FÍA.

PUNTO GEODÉSICO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
BASE RTK BIBLIOTECA	N 13° 43' 13.61466"	W 89° 12' 07.1617"	719.072 M

TABLA 1: COORDENADAS DE PUNTO GEODÉSICO UBICADO SOBRE LA BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. FUENTE: TESIS 2017 TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS CON GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y SU PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CARLSON SURVEY GNSS

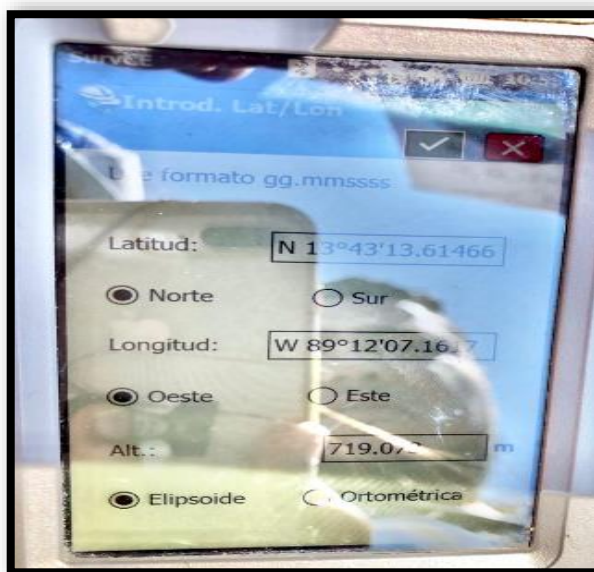


FIGURA 33: CONFIGURACIÓN DE COORDENADAS DE PUNTO GEODÉSICO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

4.1.3 CONFIGURACIÓN DE ANTENA MÓVIL (ROVER)

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). Esto permite que las estaciones móviles calculen sus posiciones relativas con precisión milimétrica, al mismo tiempo en que sus posiciones relativas absolutas son relacionadas con las coordenadas de la estación base. Colocar puntos de control fotogramétricos (PCF) de manera estratégica sobre el terreno en el cual se desea realizar el levantamiento, es de gran importancia ya que serán los puntos mediante los cuales se realiza la georreferencia del área en estudio, para este caso la Facultad

de Ciencias Agronómicas, tales puntos deben estar ubicados en zonas despejadas para garantizar que puedan recibir una señal clara de la antena BASE y poder realizar una toma de datos con la antena ROVER.



FIGURA 34: UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAMÉTRICOS.
FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

La técnica RTK exige la disponibilidad de por lo menos una estación de referencia, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS. La estación genera y envía las correcciones diferenciales para las estaciones, que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones.

Pasos para configuración de antena ROVER.

Configuración del sistema de proyección local, esta técnica requiere que antes de realizar la medición se configure el sistema de proyección Cónico Conforme de Lambert SIRGAS ES-2007.

- Dentro del menú, se selecciona la pestaña configuración, posteriormente dar clic en la opción 6 “Localización”.
- Luego se localiza la pestaña “Sistema” para luego dar clic en “Editar Lista Proyecciones”.
- Se procede a digitar el nombre del sistema de proyección, seleccionar el sistema de proyección, se coloca parámetros que lo caracterizan, finalmente seleccionar la opción “Editar/Ver Datum” para configurar el datum.
- Paso siguiente es colocar el nombre del datum, para luego seleccionar el elipsoide. Para luego dar clic en Aceptar.
- Es buena práctica verificar que todos los parámetros estén correctamente establecidos en su espacio correspondiente. Una vez se verifica este paso, hacer clic en Aceptar.
- Emergerá una ventana que mostrará el sistema de proyección creado recientemente, se selecciona para luego dar clic en Aceptar.

4.2 CALIBRACIÓN DEL DRON MEDIANTE LA APP DJI GO 4

DJI GO 4 Es una aplicación con modalidades de vuelo, que permite calibrar el equipo adecuadamente, como seguimiento o punto de interés, es una herramienta útil para programar vuelos y capturas, desde esta sencilla aplicación que permite realizar trabajos de fotogrametría.

4.2.1 CÓMO CALIBRAR DJI PHANTOM 4 PRO IMU Y ARREGLAR PROBLEMAS DE VUELO

Tener conocimiento de cómo calibrar el Phantom 4 PRO IMU es importante. Si el Phantom 4 PRO está volando erráticamente, no está volando o rondando correctamente, entonces vuele el dron y calibre el IMU.

La IMU (Unidad de Medición Inercial) es un componente crítico en el dron. Si no está funcionando correctamente, entonces hay una muy buena posibilidad de que se estrelle el dron. Una unidad de medida inercial funciona detectando la velocidad actual de aceleración utilizando uno o más acelerómetros. El IMU detecta cambios en los atributos de rotación como cabeceo, balanceo y guiñada usando uno o más giroscopios. Algunos IMU incluyen un magnetómetro, principalmente para ayudar a la calibración contra la deriva de orientación.

El procedimiento para calibrar el Phantom 4 Pro es ligeramente diferente al del Phantom 4. Con el Pro, se debe girar en varias direcciones y varias posiciones para calibrar el IMU. Esto se considera un paso tranquilo y fácil.

4.2.2 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL PHANTOM 4 PRO IMU.

- Encender el mando y el dron. Recordar hacerlo siempre así, el mando es lo primero y lo último en conectarse. Una vez encendido se abre la aplicación DJI GO 4. Automáticamente reconoce el modelo del dron que se está usando. En nuestro caso se utiliza un phantom 4 pro.



FIGURA 35: CONEXIÓN ENTRE NUESTRO MANDO Y DRON. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

- Seleccionar la opción de “vuela” y una vez ya dentro de la interfaz de la aplicación en el margen derecho haremos clic en los tres puntos.



FIGURA 36: PROCESO INICIAL DE CALIBRACIÓN. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN
<https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- En el menú que se despliega se selecciona el primer icono con forma de dron, que es de configuración avanzada, y dentro de él deslizar hacia abajo hasta encontrar la opción estado de los sensores.

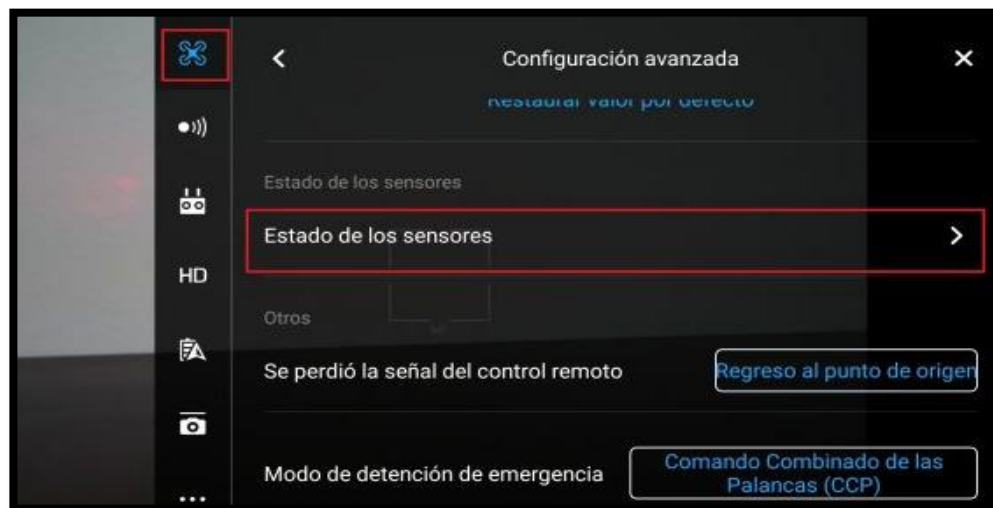


FIGURA 37: CONFIGURACIÓN AVANZADA Y SENSORES. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN
<https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- En el nuevo menú que se habilita, se presenta la opción de calibrar tanto la IMU como la brújula. En primer lugar, empezaremos por la IMU. Por medio de la IMU el dron conoce sus aceleraciones, sus desplazamientos y por tanto sus posiciones en cada momento, mediante dispositivos conocidos como acelerómetros, giróscopos o magnetómetros. En primer lugar, cuando se inicia la calibración advertirá de tener las hélices sin colocar, que no arranquemos motores ni movamos la aeronave.



FIGURA 38: CALIBRACIÓN DE LA IMU. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN
<https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- Elegir una superficie muy plana para la calibración del Phantom 4 Pro IMU, este paso es muy importante ya que de ello depende una buena calibración.



FIGURA 39: COLOCAR DRON SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- En el segundo paso debe ladear el dron a la izquierda tal y como se indica en la imagen, se repite este paso en dirección opuesta (derecha).

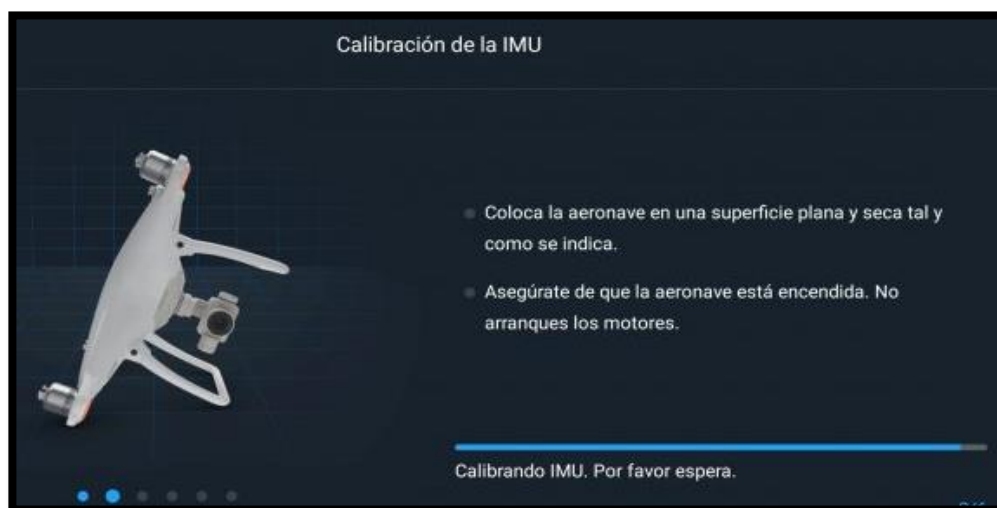


FIGURA 40: LADEAR DRON DE IZQUIERDA A DERECHA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- Cuando se termine con todos los pasos, emergerá el siguiente mensaje y ya s tendrá calibrada la IMU del dron que se está utilizando.



FIGURA 41: MENSAJE DE ÉXITO AL CALIBRAR LA IMU. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

4.2.3 PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE BRÚJULA

- Una vez calibrada la IMU se procede a calibrar la brújula. Esta se trata de una unidad electrónica que permite conocer al cerebro del dron su orientación o rumbo respecto del campo magnético terrestre, y, por tanto, hacia donde realiza los desplazamientos.



FIGURA 42: CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN
<https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- En el primer paso se rota la aeronave 360 grados en horizontal, asegurarse que no haya imanes ni objetos metálicos en un radio de 1.5m.

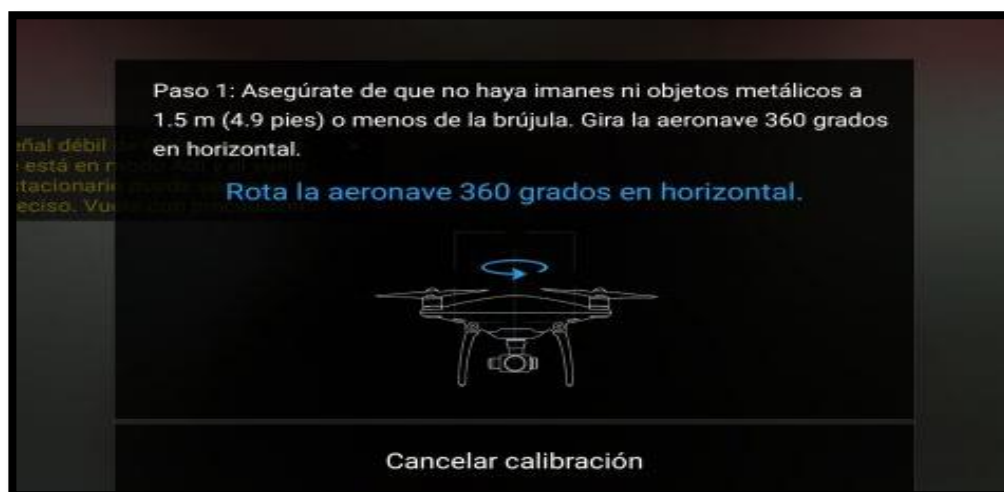


FIGURA 43: PASO 1 CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN
<https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

- En el segundo paso se inclina el dron y volviendo a rotar el dron 360 grados. asegurarse que no haya imanes ni objetos metálicos en un radio de 1.5m.

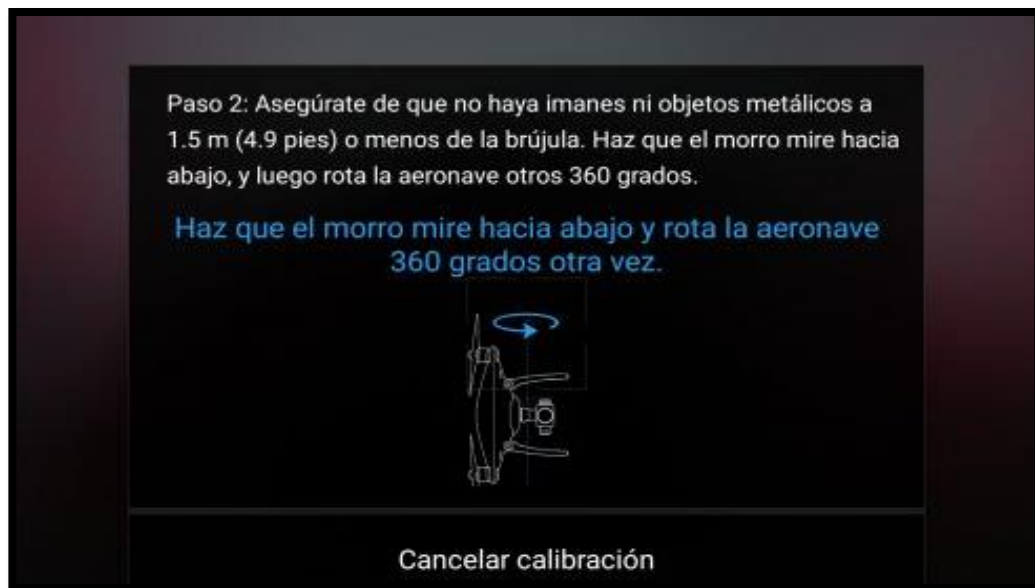


FIGURA 44: FINALIZACIÓN DE CALIBRACIÓN DE BRÚJULA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/calibra-la-imu-y-la-brujula-en-nuestro-dron-dji/>

4.2.4 CÓMO CALIBRAR EL GIMBAL PHANTOM 4

- En la aplicación DJI Go 4, hacer clic en el icono “Gimbal Settings”.
- A continuación, hacer clic en “Gimbal Auto Calibration”. Haga clic en “Aceptar” en el mensaje emergente.
- A continuación, verá un proceso de calibración del cardán.
- El cardán del Phantom 4 pro se moverá durante el proceso.

- Cuando alcance el 100%, aparecerá un mensaje de “Gimbal Calibrado” en la pantalla.

4.3 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS EN PIX4-D CAPTURE

Pix4Dcapture es una herramienta que convierte un dron de consumo en una herramienta profesional de mapeo de drones. Como complemento gratuito del software de fotogrametría Pix4D, Pix4Dcapture es la herramienta perfecta para capturar automáticamente datos de imágenes, para obtener modelos y mapas 3D óptimos. Procesar imágenes posteriores al vuelo fácilmente en la nube o en aplicaciones de escritorio, produciendo mapas y modelos georreferenciados que se adaptan a muchas necesidades de la industria.

4.3.1 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN PLAN DE VUELO.

- Una vez se inicie el programa Pix4D, se presenta la siguiente pantalla del software o si el usuario no ha iniciado sesión.

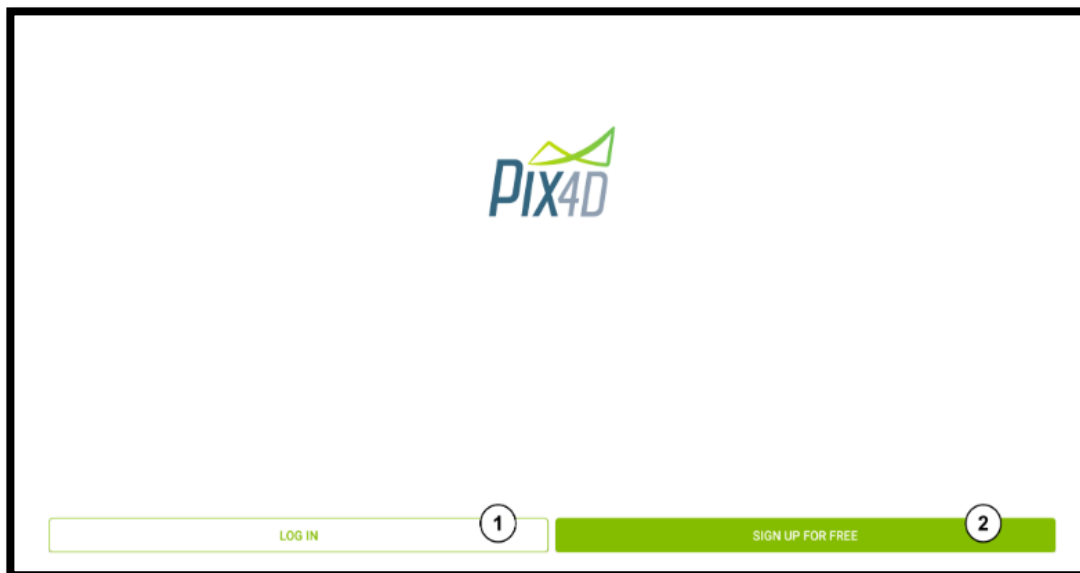


FIGURA 45: PANTALLA INICIAL DE PIX4DCAPTURE. FUENTE: PROPIA

- Dar clic en INICIAR SESIÓN e ingresar el correo electrónico y la contraseña asociados con la cuenta de Pix4D para acceder a la pantalla
 - Dar clic en REGÍSTRESE GRATIS y seguir los pasos para crear una cuenta de Pix4D si no existe antes de usar Pix4Dcapture.
- La pantalla de inicio se muestra después de haber iniciado sesión o si el usuario ya ha iniciado sesión. Desde la pantalla de inicio, son posibles varias acciones. Antes de seleccionar una misión, se recomienda pasar por la configuración general.



FIGURA 46: PANTALLA DE INICIO EN PIX4D CAPTURE. FUENTE: PROPIA

- 1: Hacer clic en AJUSTES para acceder a los Ajustes generales.
- 2: Hacer clic en CERRAR SESIÓN y regresar a la pantalla Iniciar sesión/Registrarse.
- Misión Polígono (3): Ahorro de tiempo y batería adaptando el plan de vuelo a la forma del área de interés. Recomendado para superficies relativamente planas para crear resultados 2D como orto mosaicos.
- Misión Grid (4): Se considera una misión rápida y fácil recomendada para superficies relativamente planas, para crear salidas 2D como orto mosaicos. Para este trabajo se utilizó este tipo de misión, la cual se acoplo al área que se desea estudiar.

- Misión Doble Grid (5): Este tipo de misión asegura que las imágenes desde múltiples lados. Se recomienda para superficies con altitudes cambiantes (áreas urbanas, edificios) y el interés del procesamiento de modelado en 3D.
- Misión Circular (6): esta misión ofrece una adquisición rápida de imágenes para proyectos de objetos individuales con el interés de procesar modelos en 3D.
- Misión Vuelo Libre (7): Es un vuelo manual con disparador de cámara automático basado en la distancia. Recomendado para manejo vertical.
- 8: Hacer clic para acceder a la lista de proyectos.
- 9: Hacer clic para acceder al Tutorial/Ayuda. Brinda acceso directo a animaciones, documentación en línea y artículos de solución de problemas.

Ajustar el tamaño del plan de vuelo, definir la altitud, para esto acceder a la configuración del plan de vuelo, cambiar entre vista de mapa y vista de cámara. Para este proyecto se configuro a una altura de vuelo de 60 metros, con la cual se obtuvo un vuelo aproximado de 10 minutos.



FIGURA 47: AJUSTE DEL TAMAÑO DE NUESTRO PLAN DE VUELO. FUENTE: PROPIA

- Ajuste de la superposición de la imagen, acá se puede cambiar el ángulo de la cámara. Para este trabajo se configuró un traslape transversal y traslape longitudinal del 80 %, configurando el ángulo de la cámara a 90°.

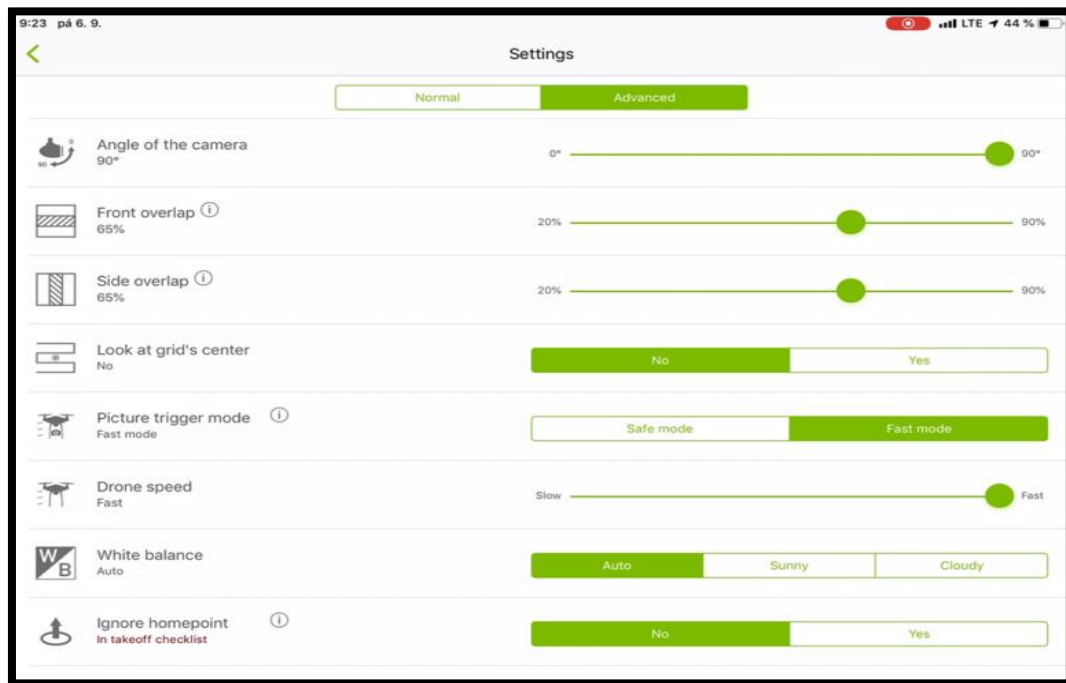


FIGURA 48: AJUSTE DE LA SUPERPOSICION DE LA IMAGEN. FUENTE: PROPIA

- Conocer el flujo de trabajo antes de iniciar un vuelo fotogramétrico, es muy importante, para esto se debe seguir una secuencia de pasos simples y sencillos con el único fin de obtener un resultado congruente con el estudio realizado.

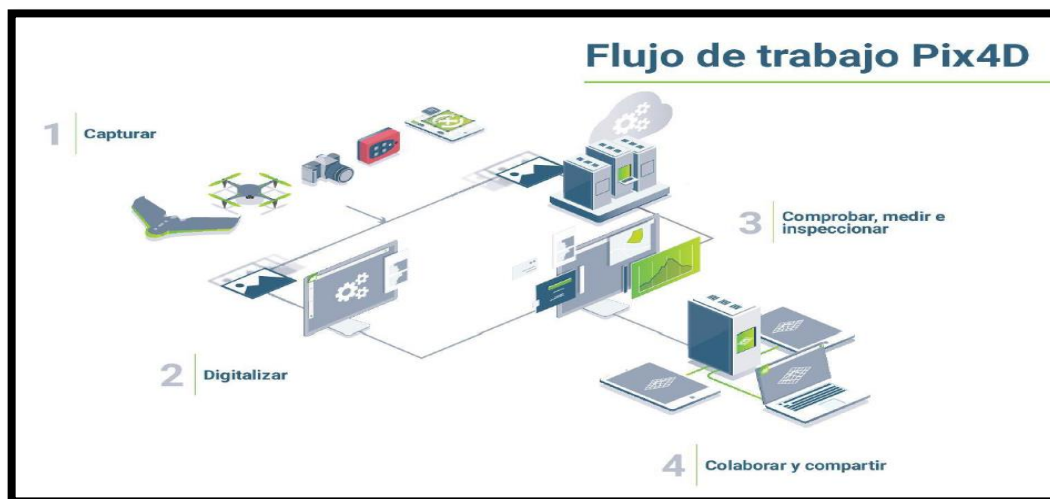


FIGURA 49: FLUJO DE TRABAJO EN PIX4-D CAPTURE. FUENTE: GEO SYSTEM INGENIERÍA
<https://www.geosysteming.com/wp-content/uploads/2020/06/Brochure-Pix4D-Capture.pdf>

4.4 PLAN DE VUELO

Ejecutar un vuelo fotogramétrico, empieza antes de despegar el dron. Para esto se debe tener conocimientos tanto prácticos como técnicos, teniendo una buena base y parámetros definidos se puede garantizar que se tendrá un vuelo satisfactorio. Para este proyecto que consiste en la Restitución Fotogramétrica de la Facultad de Ciencias Agronómicas, se siguieron los siguientes pasos.

- Primero se realiza un recorrido en el área que se desea hacer el respectivo vuelo, esto con el fin de observar detalles importantes como arboles de gran tamaño, antenas ubicadas en la zona, alturas de edificios, esto con el fin de conocer la altura idónea del vuelo a realizar.

- Posterior al recorrido se busca un área despejada, en la cual se armó el dron Phantom 4 Pro, para luego proceder a su configuración mediante la aplicación Pix4D-Capture.



FIGURA 50: ARMADO DE DRON PHANTOM 4 PRO. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

- El Phantom 4 Pro, por defecto de la empresa distribuidora viene con una app de calibración, es una buena práctica antes de configurar el vuelo en Pix4D-Capture verificar que el equipo se encuentre bien calibrado, en nuestro caso se presentó dicho problema, al cual se le dio solución siguiendo una serie de pasos brindados en la app DJI GO 4, esta calibración en la app DJI GO 4 se explica en el subcapítulo 4.2.
- Luego en la app Pix4D-Capture se configura datos como traslape longitudinal, traslape transversal, se define el área de vuelo para esto se debe tener conexión a internet, además se define la altura adecuada a la

cual el dron hará el vuelo, por defecto la app en base a la información proporcionada anteriormente indica la duración en minutos de dicho vuelo, así como el número de bandas que tendrá el dicho vuelo (esto se explica en el subcapítulo 4.3).



FIGURA 51: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS EN PIX4D-CAPTURE. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN CAMPO

4.5 PARÁMETROS QUE SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA EN UN PLAN DE VUELO

4.5.1 ALTURA DE VUELO

Volar el dron en o cerca de 120 metros proporciona un buen equilibrio entre el tiempo de vuelo y la resolución y es la altitud estándar para la mayoría de los vuelos. La altura de vuelo determinará la escala de trabajo sobre la que deseemos trabajar. Una relación entre la distancia focal del sensor y la altura de vuelo será proporcional a nuestra escala de trabajo.

$$1/E_t = f/H$$

Donde:

- E_t : escala a la que deseamos trabajar
- f : distancia focal de la cámara
- H : altitud a la que realizaremos el vuelo

4.5.2 TAMAÑOS DE FOTOGRAMA Y TERRITORIO

Elegir un área de interés (ADI) basada en el nivel de interés y la accesibilidad. Los factores que pueden favorecer un área de interés incluyen la composición de una especie, cambios en la cobertura a lo largo del tiempo y medidas de la cobertura. El ADI debe seleccionarse bajo la consideración de accesibilidad a la zona de estudio.

En el proceso de recolección de imágenes debe existir una proporción constante entre el tamaño de la fotografía y el tamaño del área de interés que se desea estudiar. Es factible identificar la superficie que es capaz de abarcar una fotografía analizando el ancho y el largo de la fotografía en base a la altura a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} A &= a * E_t \\ L &= b * E_t \\ S &= A * L \end{aligned}$$

Donde:

- A: ancho territorial
- L: largo territorial
- S: superficie de mapeo
- Et: escala a la que deseamos trabajar
- a: ancho de distancia que puede capturar nuestro sensor por imagen
- b: largo de distancia que puede capturar nuestro sensor por imagen

4.5.3 DISTANCIA ENTRE FOTOGRAMAS

Una vez el dron esté encendido, la preparación de la cámara es esencial, esto con el fin que tenga el formato de archivos JPEG con la resolución más alta disponible. Además de ello las configuraciones de exposición son importantes.

Para poder disponer de la superficie total de cobertura es necesario trabajar con un número adecuado de fotografías que permita el solape suficiente entre ellas y cubra la superficie completa de la zona de trabajo. Cuanto mayor porcentaje de solapamiento exista, mayor número de fotografías y pasadas serán

necesarias, ya sea de manera longitudinal o transversal. Para poder solucionar este problema se presenta el siguiente juego de ecuaciones:

$$\begin{aligned} B &= L * (1 - p) \\ C &= A * (1 - q) \end{aligned}$$

Donde:

- B: distancia entre puntos donde tomar cada fotografía de manera longitudinal
- C: distancia entre puntos donde tomar cada fotografía de manera transversal
- A: ancho territorial
- L: largo territorial
- p: porcentaje de solapamiento longitudinal empleado
- q: porcentaje de solapamiento transversal empleado

4.5.4 RECURRENCIA DE IMÁGENES

Se puede determinar la recurrencia de disparos programando el dron para que tome fotogramas medidas en distancias o en tiempo. Se pueden trabajar los valores de toma de imágenes en tiempo o en distancia a través de la siguiente ecuación:

$$T = D / V$$

Donde:

- T: tiempo entre capturas de imagen
- D: distancia entre puntos donde tomar la fotografía
- V: velocidad de vuelo

4.5.5 FOTOGRAFÍAS POR PASADA

La finalidad es verificar cuántas fotografías son necesarias para abarcar la totalidad de una pasada en su trayectoria, esto mediante la siguiente formula:

$$N = D_l / B$$

Donde:

- N: número de fotografías por pasada
- D_l: distancia longitudinal de avance de vuelo de la zona de trabajo
- B: distancia entre puntos donde tomar cada fotografía de manera longitudinal

4.5.6 NÚMERO DE PASADAS

Una revisión inicial indicara rápidamente si el vuelo falló en producir alguna imagen. También se puede verificar que haya una cantidad razonable de archivos

de imágenes en caso que el dron dejará de tomar imágenes durante parte del vuelo.

Para cubrir la superficie total de mapeo será necesario que el dron realice varias pasadas. Conociendo la anchura de la zona de trabajo se puede calcular el número de pasadas necesarias para terminar de cubrir la superficie de la zona. Tan solo se necesita saber uno de los parámetros anteriormente calculados: la distancia entre toma de fotografías transversales. Debemos aplicar la siguiente ecuación:

$$P = D_t / C$$

Donde:

- P: número de pasadas a realizar transversalmente
- Dt: distancia transversal de avance de la zona de trabajo
- C: distancia entre puntos donde tomar cada fotografía de manera transversal

4.5.7 NÚMERO TOTAL DE FOTOGRAFÍAS

Conocer el número total de fotografías puede dar una idea del volumen de datos a consumir en las tarjetas de memoria o la memoria interna del dron. Se puede estimar el número total de imágenes que realizará el dron para obtener la composición completa de imágenes con las que generar un mosaico territorial.

Bastará con multiplicar el número de imágenes generadas en cada pasada por el número de pasadas siguiendo la siguiente relación.

$$F = (N+1) * P$$

Donde:

- F: número de fotografías total
- N: número de fotografías por pasada longitudinal
- P: número de pasadas

4.5.8 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Ubicado el equipo en el lugar e inmediatamente antes de despegar, verificar las condiciones del clima visualmente, identificar posibilidades de precipitación o actividad eléctrica al identificar cualquier nube oscura en los alrededores, si está presente la posibilidad de lluvia, se debe considerar la velocidad y la dirección del viento, la protección del equipo es importante, guardar el equipo adecuadamente antes que se presenten las precipitaciones en la zona de interés. Cualquier relámpago visible o sonido de trueno debe ser causa para abortar la misión inmediatamente para ese día de trabajo, aunque no haya lluvia, debe haber la luz adecuada para escanear y los cielos suficientemente claros para mantener contacto visual con el dron.

Los vientos mayores de 10 metros por segundo pueden causar que el dron aterrice inapropiadamente y puede causar una disminución significativa en la

duración de la batería mientras vuela contra el viento. Una buena regla de oro es que la velocidad del viento no debe sobrepasar el 75% de la velocidad máxima del dron para asegurar que su aeronave pueda volar contra el viento.

4.5.9 REVISIÓN DE ACTIVACIÓN Y CONTROL DEL DRON

Cuando se haya completado los procedimientos de pre vuelo, se encienden los motores de hélices, así mismo se debe estar preparados para apagar los motores de hélices rápidamente si ocurre algo inesperado al despegar.

Para el primer vuelo, y para cualquier vuelo después de un aterrizaje fuerte u otro contratiempo, se debe despegar bajo control manual, alzando lentamente el dron a varios pies del suelo y permitiendo un vuelo estacionario de unos 15 segundos, asegurando que pueda mantener su posición, si no puede, esto puede indicar un problema con sus sensores o software de control de vuelo, si la prueba de vuelo estacionario es exitosa, delicadamente mover cada palanca de mando en todas las direcciones y verificar que el dron responda como debe.

Si las pruebas anteriores fueron exitosas, el dron está preparado para volar y para posterior dar orden al autopiloto que comience el plan de vuelo.

4.6 LEVANTAMIENTO DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON

Con respecto a el término adecuado para nombrar la ciencia que permite medir la superficie a través de fotografías (en este caso aéreas) es FOTOGRAMETRÍA. Es decir, con los drones no podemos hacer directamente

topografía, sino que más bien tomamos fotografías sobrepuestas tanto transversal como longitudinalmente y utilizando el principio de estereoscopia podemos medir distancias y elevaciones, dado que se cuenta con dos o más fotografías del mismo punto, pero con diferente ángulo (Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulados)

En un levantamiento realizado con dron, el procedimiento es más simplificado. Se marcarán puntos de control para ayudarnos a orientar nuestro modelo digital de superficie a un sistema de coordenadas que nos permita alcanzar su correcta georreferenciación, seguidamente se ejecutará el vuelo.

Dicho de otra manera, la fotogrametría es definida habitualmente, como la ciencia aplicada que nos permite obtener medidas fidedignas, a partir de fotografías aéreas que reúnen requisitos prefijados, con el objeto de determinar características métricas tales como tamaño, forma y posición, como así también producir una representación precisa del objeto fotografiado.

Por otra parte, un relevamiento fotogramétrico-cartográfico con drones permite obtener orto-fotografías (producto cartográfico georreferenciado y corregido de deformaciones, generado a partir de fotografías aéreas, que permite efectuar mediciones a escala, tanto de distancias como de superficies) y modelos digitales de la topografía, de alta resolución espacial, que permiten la ejecución de estudios cualitativos y cuantitativos de la información georreferenciada.

Esta herramienta digital es profundamente útil para el análisis e interpretación de la información y los parámetros implícitos tanto en depósitos de roca en superficie como en las formas del terreno (relieve). Así que, al realizar la planificación, es necesario recordar todos los factores tanto de trabajo como de vuelo sin olvidar las condiciones de clima. Las fases de un trabajo fotogramétrico son: la planificación del vuelo, el apoyo topográfico, la ejecución del vuelo.

5 CAPÍTULO V: PROCESAMIENTOS DE DATOS DE CAMPO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PIX4D MAPPER

Pix4D MAPPER es un software de fotogrametría utilizado para el mapeo profesional con drones, permitiendo facilitar la elaboración de mapas y modelos 3D fácilmente a partir de imágenes aéreas, este software permite pasar menos tiempo en campo, siendo esto una ventaja que permite incrementar la productividad al mismo tiempo que ahorra costos operativos. En Pix4Dmapper es posible convertir imágenes en mapas 2D y modelos 3D georreferenciados obteniendo resultados altamente precisos. Son editables, funcionales y complementan una amplia gama de aplicaciones y software.

Clasifica la nube de puntos de color en cinco grupos:

- Suelo
- Superficies de la carretera (cubiertas de asfalto)
- Vegetación elevada

- Edificios
- Edificaciones realizadas por el hombre

Pix4D Mapper permite realizar una clasificación automática de la nube de puntos además de nivelar y suavizar superficies digitales. Su precisión de fácil manejo puede medir en tres dimensiones e incluso calcular el volumen, la distancia y la elevación realizando inspecciones y anotaciones en la propia nube de puntos. Para finalizar permite compartir las anotaciones y proyectos realizados para que el proyecto sea supervisado en tiempo real.

5.2 ESTUDIOS

Pix4D MAPPER permite que la obtención de resultados precisos sea muy eficiente en el tiempo, con mediciones intuitivas y análisis de proyectos.



FIGURA 52: ANÁLISIS INTUITIVO PARA DIVERSIDAD DE PROYECTOS. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/>

- **Cartografía:** Creación de resultados en 2D y 3D para catastro, planificación urbana, modelización del terreno, cartografía a gran escala, monitoreo ambiental, etc. Actualización sencilla y eficiente de la cartografía.
- **Minería:** Monitorización de extracciones y depósitos, medición de líneas de ruptura o creación de curvas de nivel y realización de cálculos de volúmenes. Estudios más seguros y eficientes para el monitoreo de extracciones y depósitos.
- **Forense:** Creación de datos medibles y georreferenciados de escenas de accidentes o delitos. Adquisición rápida y no invasiva para documentar el escenario.

5.3 CONSTRUCCIÓN

Utilizado para supervisión de los sitios de construcción a medida que evolucionan en su proceso, usando orto fotos georreferenciadas y datos 3D. Análisis de la situación de la obra para obtener mediciones actualizadas y un análisis continuo, haciendo que la gestión de la tierra y las inspecciones virtuales detalladas sean más eficientes.

- **MOVIMIENTO DE TIERRAS:** Análisis volumétrico, mediciones de depósitos y curvas de nivel. Seguimiento de los movimientos de tierra con rapidez, facilidad y precisión. Generación de mapas y

modelos digitales de superficie 3D para mediciones volumétricas y modelado del terreno sin necesidad de estar físicamente sobre el terreno ni interferir con los trabajos.

- BIM (BUILDING INFORMATION MODELING): Análisis de los datos del sitio según se construye, utilizando orto fotos o modelos 3D fácilmente actualizados. Realización de mediciones y comparación de la construcción real con los dibujos de diseño. Fácil repetición para obtener datos actualizados.
- INSPECCIÓN: Creación de una base de datos de imágenes georreferenciadas para una inspección segura y eficiente después del vuelo. Localización de defectos en 3D a partir de imágenes, visualización de detalles estructurales desde múltiples ángulos, modelación del comportamiento térmico de edificios o paneles, y exportación de orto mosaicos de fachadas.

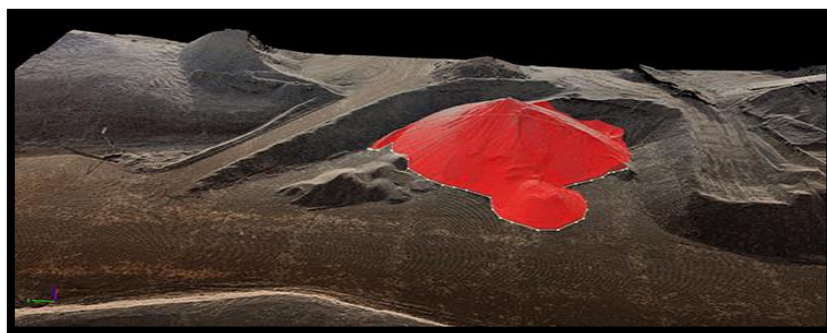


FIGURA 53: LOCALIZACIÓN E INSPECCIÓN DE DEFECTOS EN 3D. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/>

- **AGRICULTURA:** Información vital para una respuesta rápida, eficiencia operativa y, en última instancia, mejores rendimientos. Conversión de las imágenes multiespectrales en mapas de índices precisos, como el NDVI, y orto mosaicos de los cultivos, clasificación de los resultados y generación de mapas de recomendaciones y de aplicaciones de ratio variable. Exportación de los resultados en formatos estándar listos para usar en equipos agrícolas.

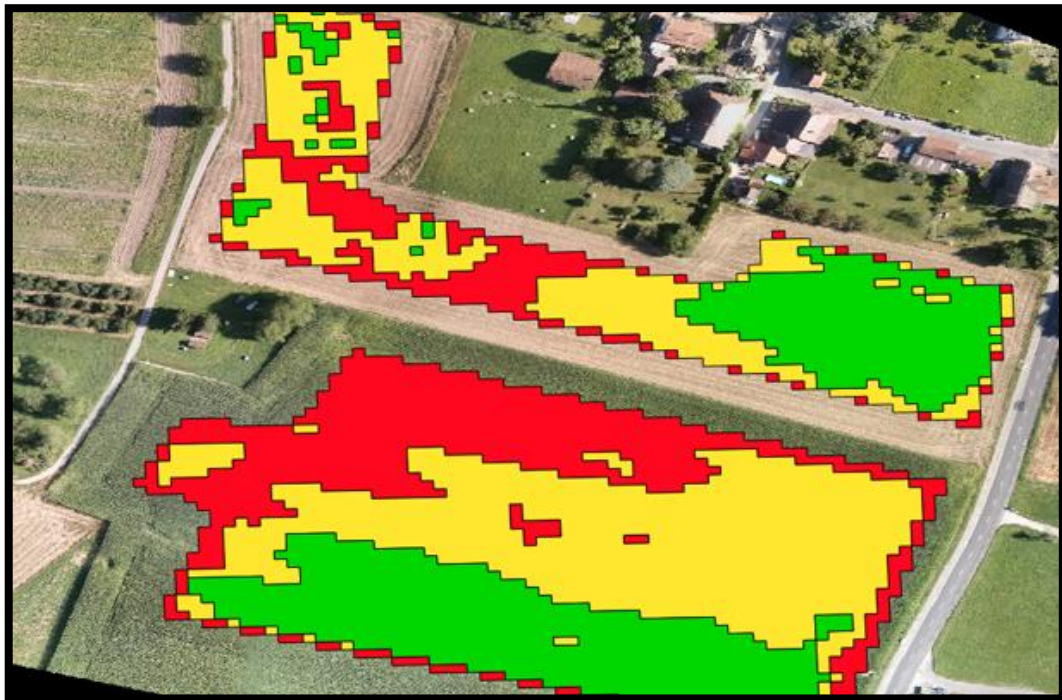


FIGURA 54: ANÁLISIS DE CULTIVOS EN UNA ZONA DETERMINADA. FUENTE: CURSO TELEDETECCIÓN <https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-pix4d/>

- **INMOBILIARIA:** Conversión de las imágenes en modelos 3D realistas y creación de vídeos personalizados para publicar en internet y compartir con los clientes. Navegación a través de los modelos 3D para observar la propiedad y el entorno desde una perspectiva aérea detallada.

Para la ejecución y desarrollo de este proyecto que tiene por nombre **RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS** se sigue la siguiente secuencia de pasos en el programa Pix4D-MAPPER

- Primer paso para iniciar con el procesamiento de datos es ubicar el programa, se ejecuta el programa y se elige la pestaña nuevo proyecto, dicha pestaña se visualiza en la pantalla principal.

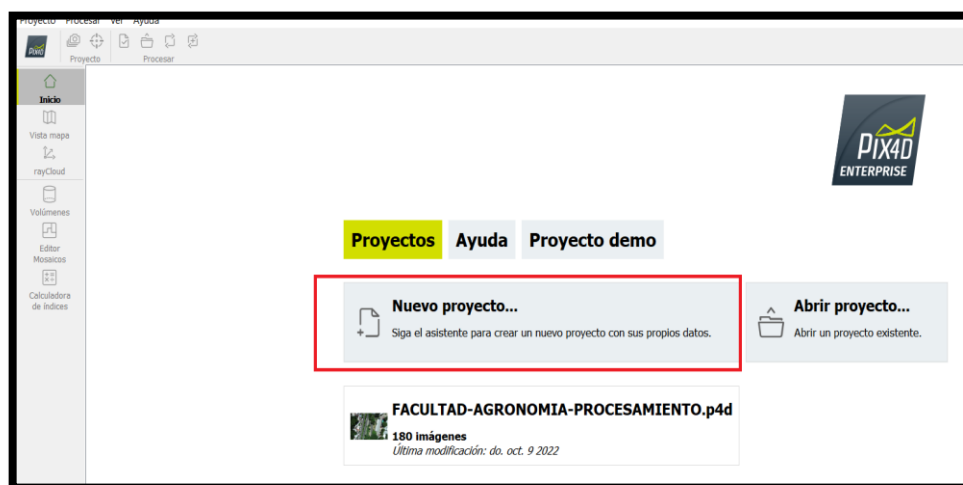


FIGURA 55: CREACIÓN DE NUEVO PROYECTO EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Como segundo paso, el programa pide que se nombre el proyecto que se desea procesar y a la misma vez que se ubique en una carpeta en específico.

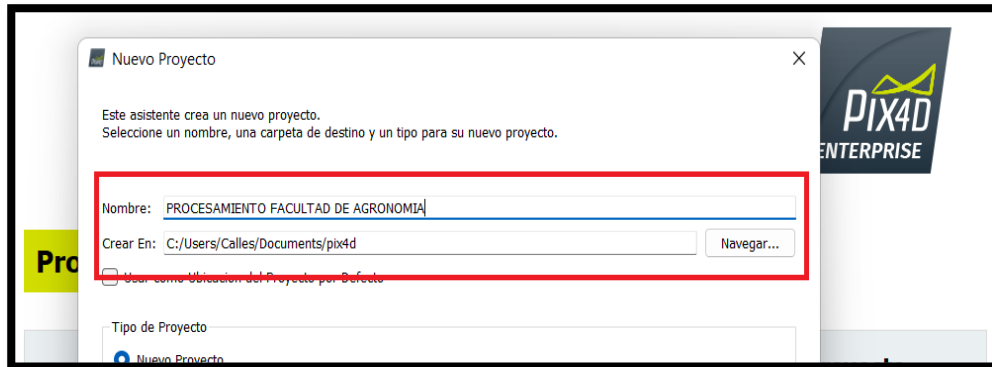


FIGURA 56: NOMBRAMIENTO DE NUESTRO PROYECTO PROCESAMIENTO FACULTAD DE AGRONOMÍA. FUENTE: PROPIA

- Luego de colocar un nombre al proyecto y re direccionarlo en una carpeta específica, se procede a cargar las fotografías tomadas por el dron en el vuelo, para ello en la siguiente ventana emergente se escoge la pestaña “añadir directorios” opción que permite seleccionar la carpeta completa donde están ubicadas las imágenes obtenidas del vuelo.

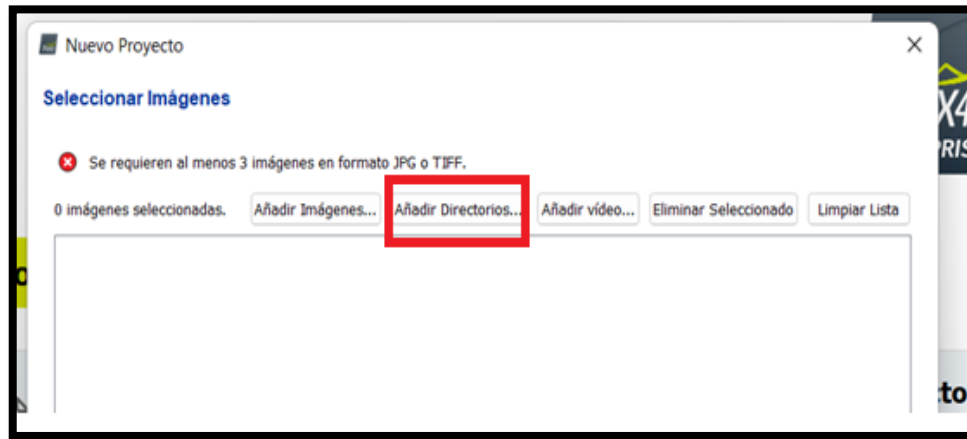


FIGURA 57: MANERA ADECUADA DE CARGAR LAS FOTOGRAFÍAS EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Luego por defecto el programa Pix4D-MAPPER presenta un listado de las fotografías cargadas, para este proyecto se registran 180 fotografías, verificado que se carguen todas las fotografías, hacer clic en la pestaña siguiente.

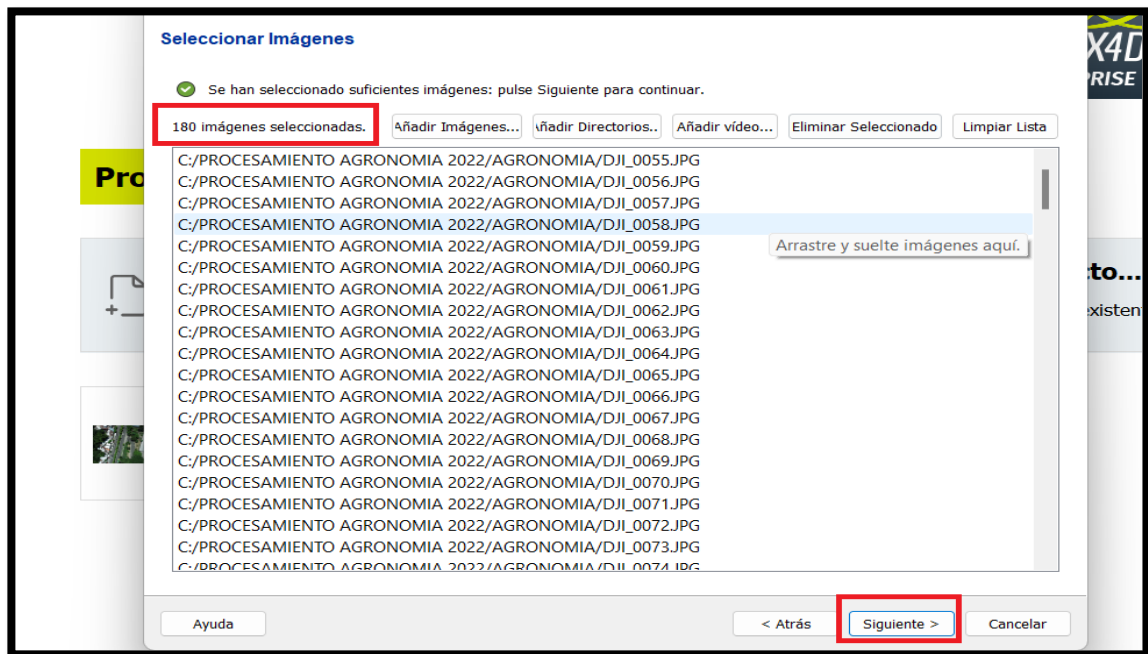


FIGURA 58: PRESENTACIÓN DE PIX4D REFERENTE A TODAS LAS FOTOGRAFÍAS CARGADAS.
FUENTE: PROPIA

- Se presenta una nueva ventana emergente, en la cual cada fotografía presenta su respectivo nombre y coordenadas, verificar que el sistema de coordenadas sea el indicado así mismo que todos los parámetros estén correctos, para luego dar clic en siguiente.

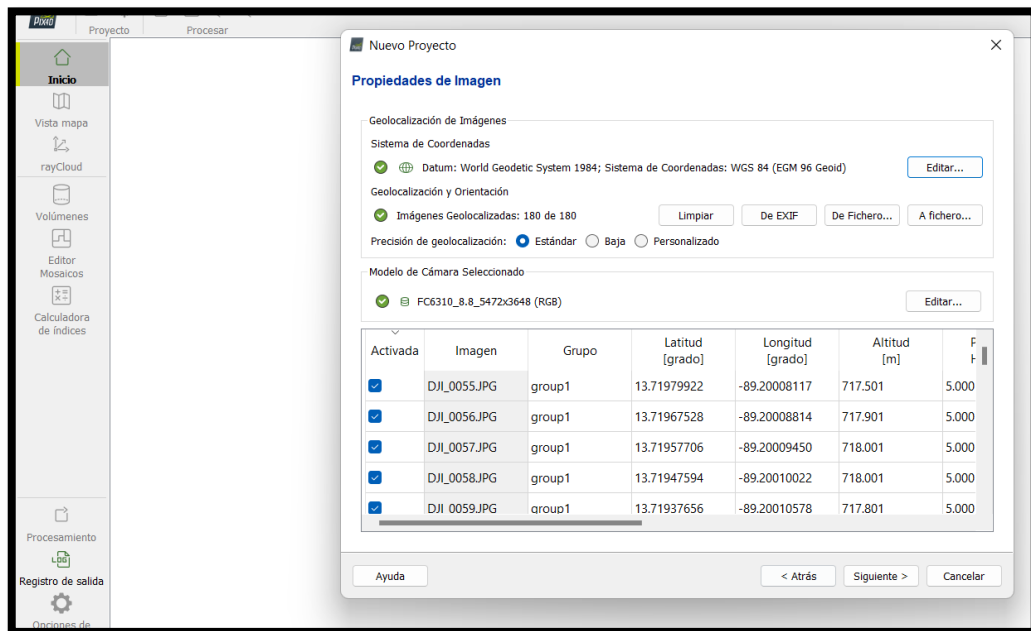


FIGURA 59: FOTOGRAFÍAS CARGADAS EN PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA

- En la siguiente ventana emergente se presenta el menú para seleccionar el sistemas de coordenadas en el que se trabaja este proyecto, se selecciona “sistema de coordenadas conocido” luego en “opciones avanzadas” se despliega un nuevo menú en el cual se selecciona “Desde PRJ” opción que permite llamar el archivo que ya había sido creado anteriormente en el curso de especialización el cual contiene los parámetros específicos de El Salvador “LAMBERT SIGAS ES-2007” (la creación de este sistema de referencia con extensión prj. Se explica en el capítulo 3 de este trabajo), además verificar que el modelo de geoid sea “EGM-2008”, luego de haber cargado correctamente el sistema dar clic en siguiente.

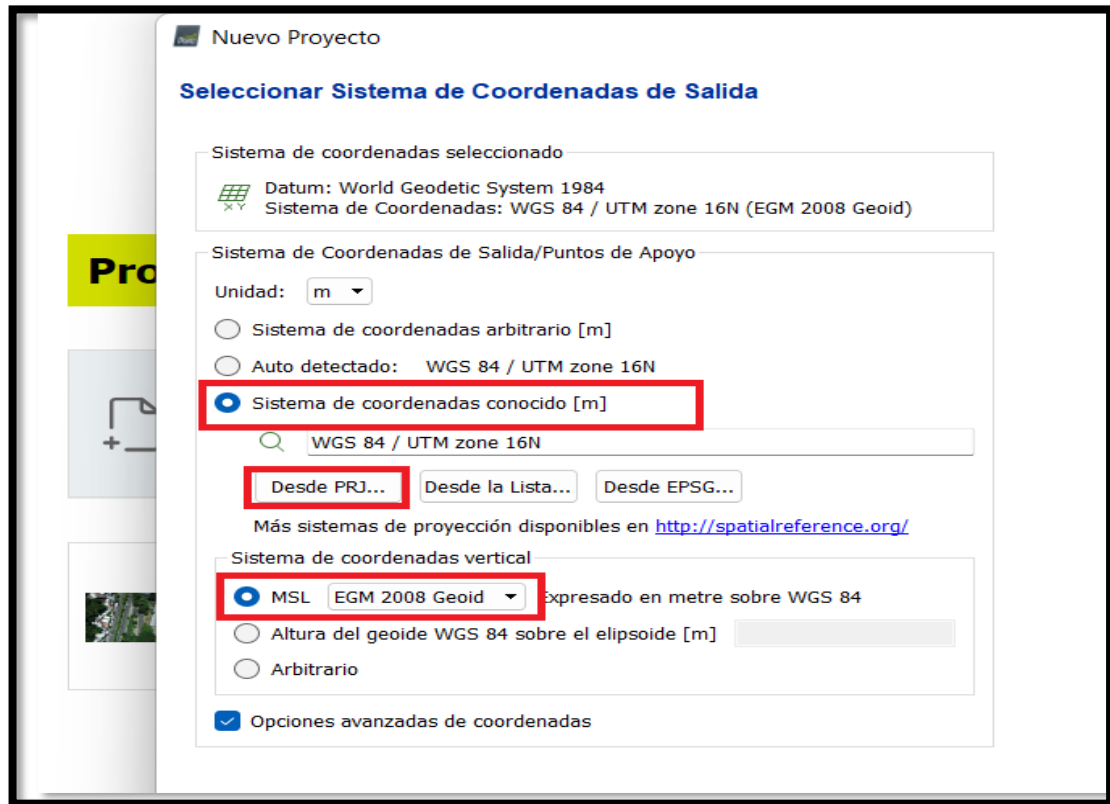


FIGURA 60: CONFIGURACIÓN DE NUESTRO SISTEMA DE COORDENADAS PARA PROCESAMIENTO EN PIX4D. FUENTE: PROPIA

- Una vez se carguen las fotografías en pix4d-mapper se presenta una ventana en la cual se escoge la pestaña “3D Maps” y clic en siguiente. Luego se presenta la siguiente ventana en la cual se puede apreciar por medio de puntos y bandas el recorrido realizado por del dron, teniendo hasta acá los pasos ya se puede iniciar el procesamiento (paso 1).

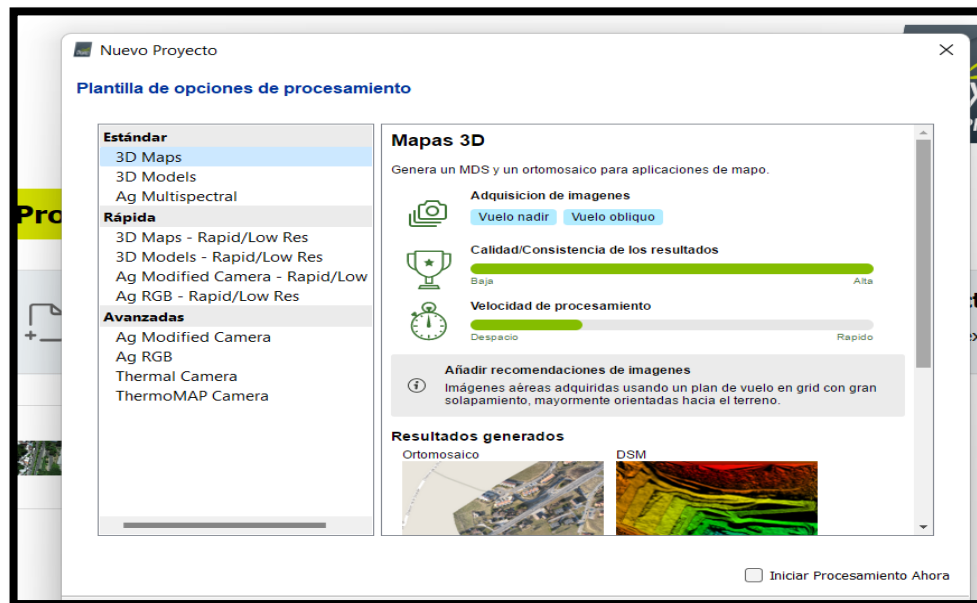


FIGURA 61: SELECCIÓN DE PESTAÑA 3D MAPS. FUENTE: PROPIA

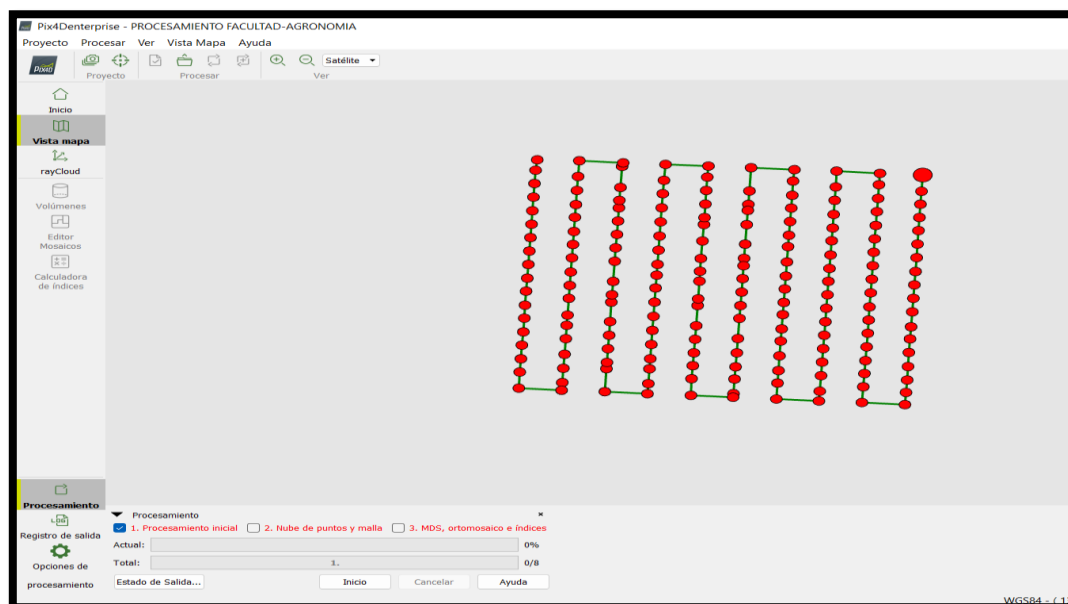


FIGURA 62: PARÁMETROS Y FOTOGRAFÍAS CARGADOS ANTES DE INICIAR PASO 1. FUENTE: PROPIA

- Antes de iniciar el procesamiento inicial (paso 1) se debe verificar en la pestaña procesamiento que solo este marcado el paso inicial, es decir se

debe desmarcar paso 2 y paso 3, de la misma manera en la pestaña opciones de procesamiento se debe verificar que solo este marcado el paso 1 y marcar la opción completa, luego de verificar esto, se puede iniciar dicho procesamiento (paso 1).

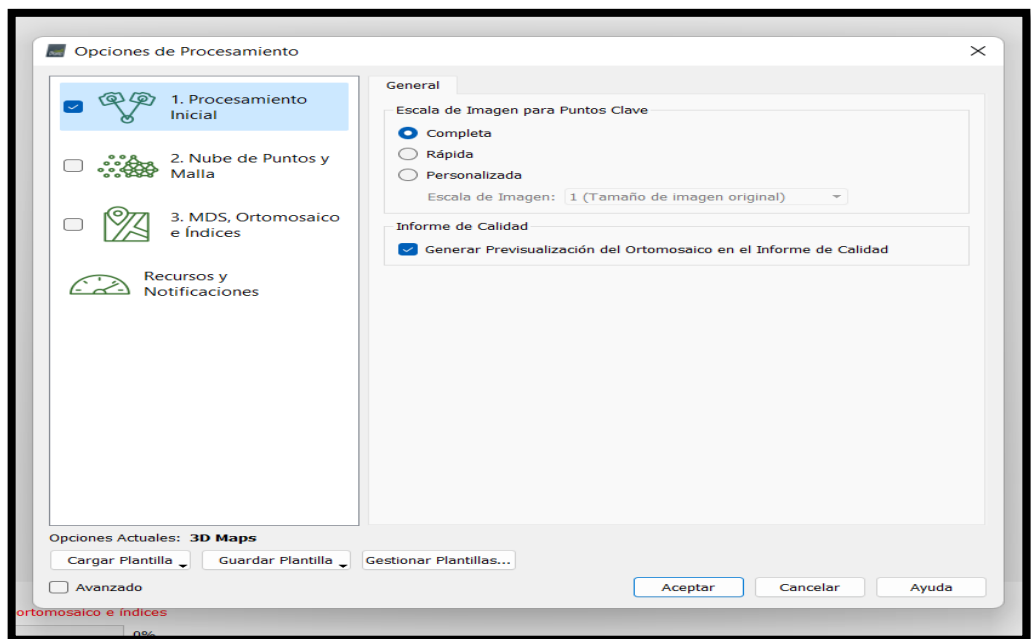
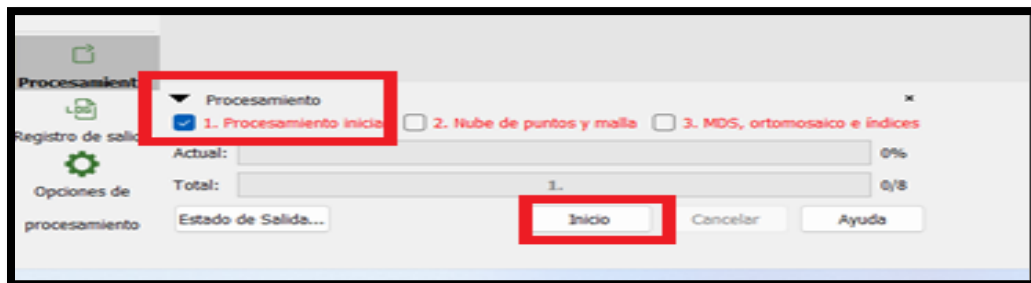


FIGURA 63: VERIFICACIÓN DE MARCAR SOLO PROCESAMIENTO DEL PASO 1. FUENTE: PROPIA

- El tiempo de procesamiento dependerá de la capacidad de la computadora en la que se realice el paso 1, al terminar de procesar Pix4D-MAPPER brinda un reporte de calidad en el cual se puede verificar diferentes tipos de parámetros y observaciones que el programa nos hace.

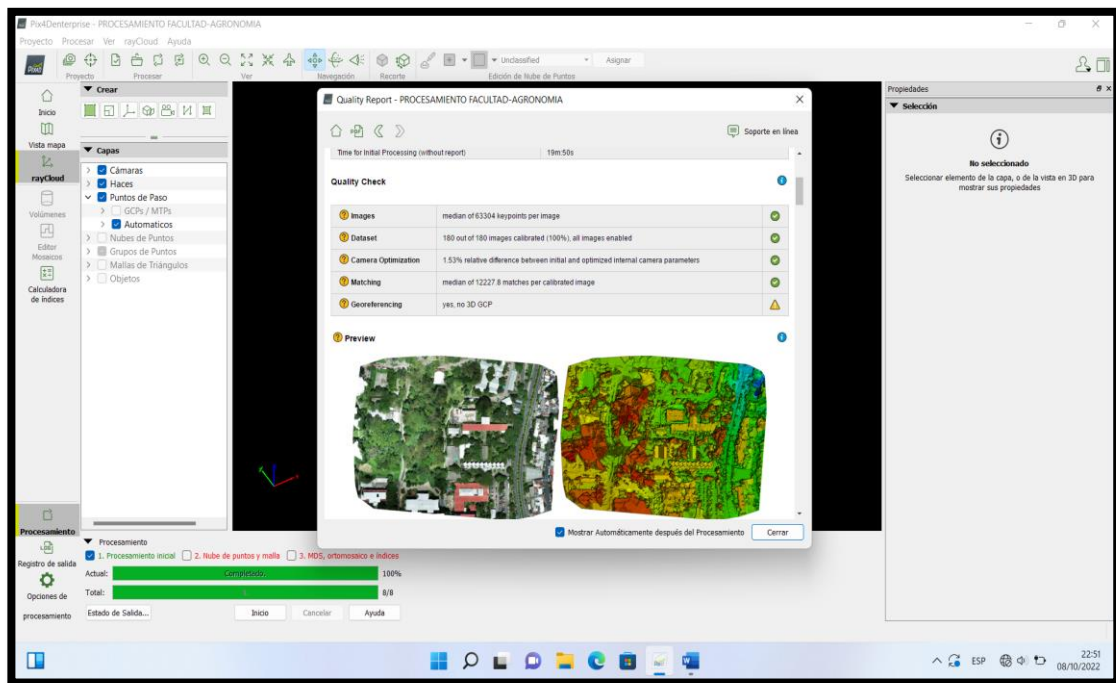


FIGURA 64: REPORTE DE CALIDAD DESPUÉS DE EJECUTAR EL PASO 1 EN PIX4D-MAPPER.
FUENTE: PROPIA

- Luego de cerrar el reporte de calidad que brinda el programa se presenta la primera imagen de la orto foto en estudio, en la cual ya se pueden apreciar ciertos detalles que caracterizan el terreno.

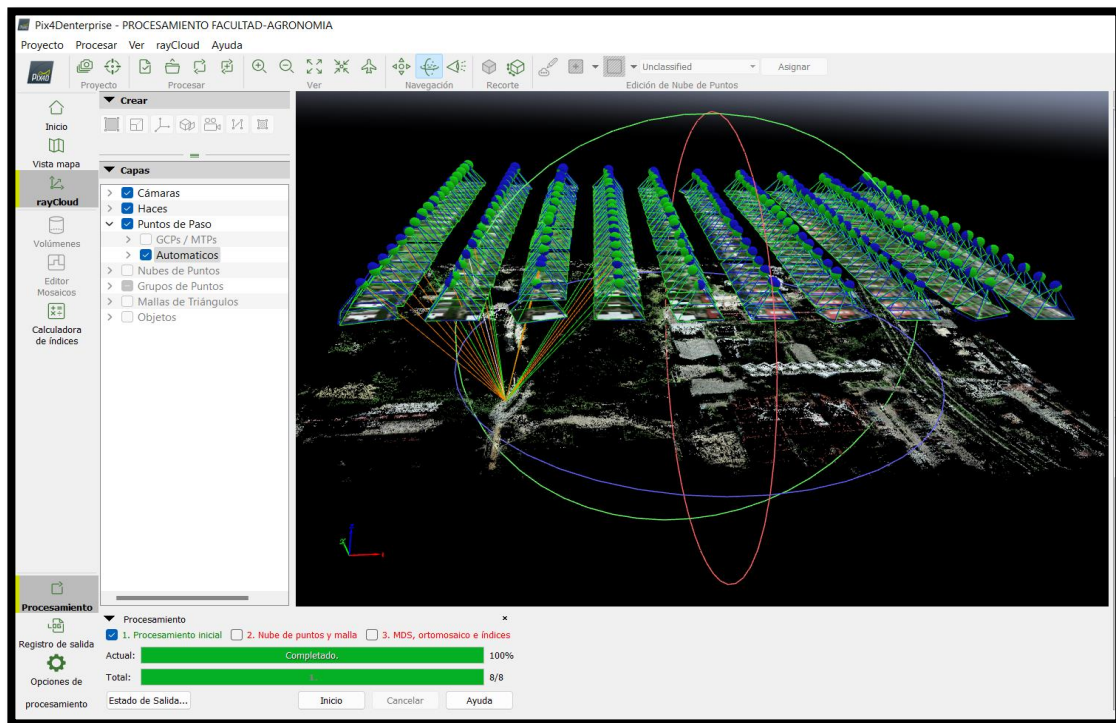


FIGURA 65: IMAGEN DE NUESTRO LEVANTAMIENTO DESPUÉS DE PROCESAR EL PASO 1.
FUENTE: PROPIA

5.4 NUBE DE PUNTOS Y MALLA

- Para la segunda parte de este procesamiento, se deben ubicar sobre la superficie del área en estudio, lo que Pix4D-MAPPER conoce como puntos de paso, esto con el fin de ubicar puntos en común entre varias fotografías y así obtener una mejor precisión de nuestra orto foto, ya que esto ayudará a alinear cada una de las fotografías.

Para los puntos de paso se recomienda que sean objetos sobre la superficie (no objetos en altura), que se visualicen correctamente y estén libre de obstrucciones

Para iniciar el proceso, sobre la imagen generada del paso 1, se escoge un punto cualquiera y se ubica lo que será nuestro punto de paso, en la parte derecha de la pantalla se da clic en la viñeta “punto de paso” hecho eso se debe dar clic en el centro de lo que se ha escogido como punto de paso, se selecciona en por lo menos en dos imágenes el mismo punto de paso y se presionara el botón “foco en la selección” de esta manera el software buscara en todas las fotografías el punto seleccionado, cuando ya se tengan seleccionados los puntos en las fotografías se procede a presionar el botón “Aplicar”, este mismo procedimiento se repite para cada punto de paso que se considere necesario, dependerá del área en estudio y la persona a cargo de realizar el procesamiento.

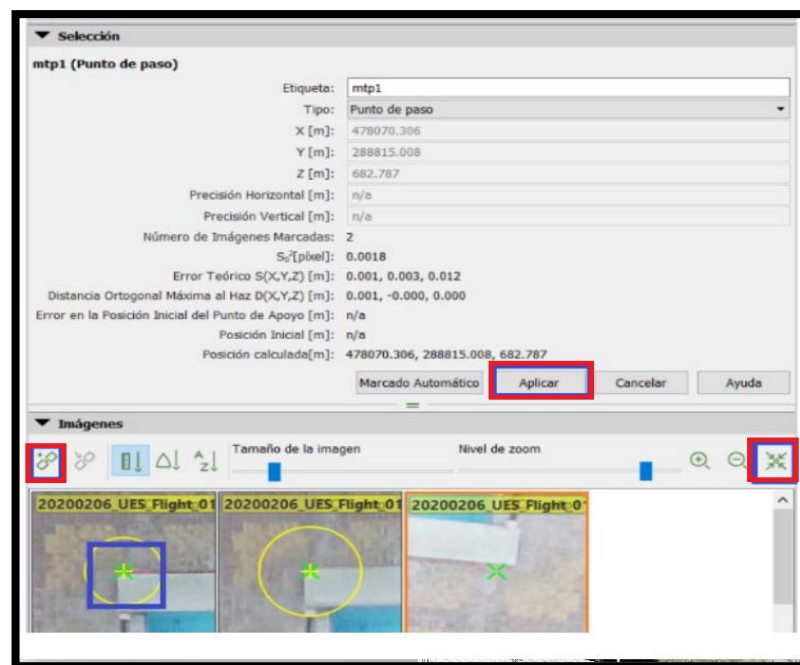


FIGURA 66: PROCESO PARA INSERTAR UN PUNTO DE PASO SOBRE LA IMAGEN. FUENTE: PROPIA

- Luego de colocar todos los puntos de paso necesarios sobre la superficie que se está estudiando, se debe de re emparejar y optimizar, para esto se localiza la pestaña “procesar” para luego dar clic en “re emparejar y optimizar”.

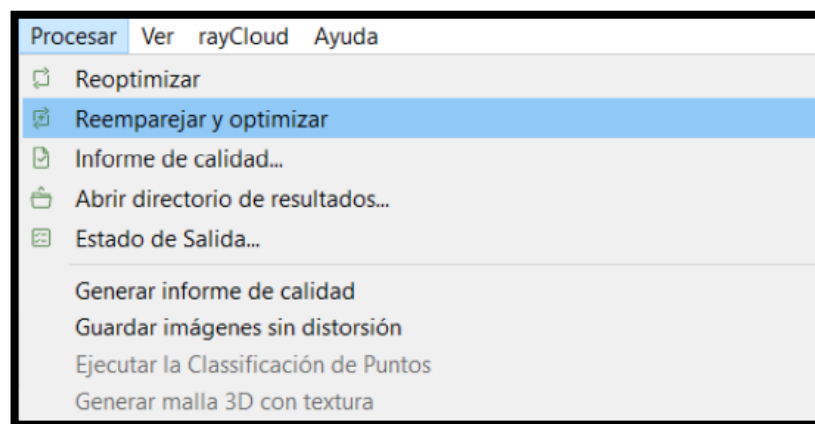


FIGURA 67: PROCESO PARA RE EMPAREJAR Y OPTIMIZAR PUNTOS DE PASO. FUENTE: PROPIA

- El siguiente paso es colocar y darle posición a los puntos de control que amarraran las imágenes con las coordenadas de los puntos que se tomaron en campo mediante la técnica de RTK, para esto se necesita un formato compatible con el programa, para este proyecto se importaron en formato “txt”. Para importar tales datos ubicamos la pestaña “proyecto” luego se desplegará un menú en el cual se selecciona la opción “Gestor GCP/MTP”.

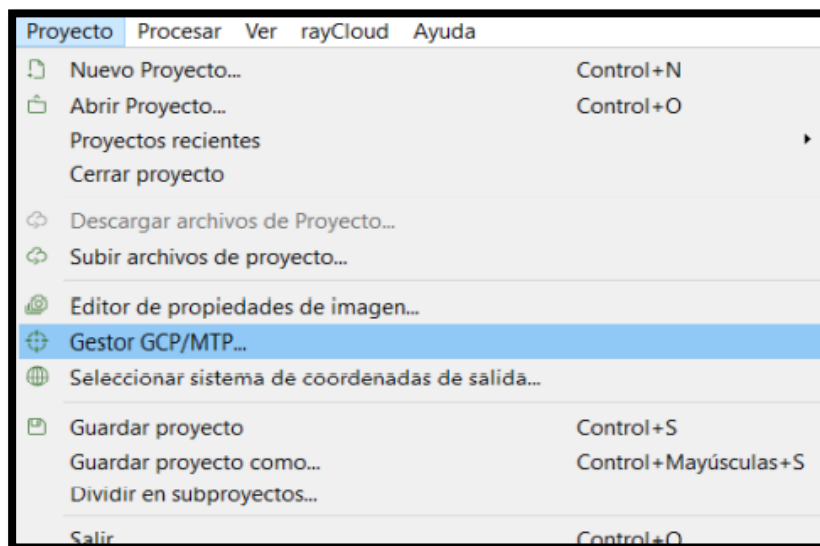


FIGURA 68: PROCESO PARA PUNTOS DE CONTROL. FUENTE: PROPIA

- Para cargar los puntos de control, se debe ubicar la pestaña “importar puntos de apoyo”, considerando que el sistema de coordenadas a utilizar tenga concordancia con la de los puntos de control que se desean cargar al programa, para este proyecto se ubicaron estratégicamente 6 puntos de control (PCF).

PUNTO	LATITUDE	LONGITUDES	ELEVACIÓN
PCF1	288551.7781	478229.1135	707.2634
PCF2	288528.9119	478140.8883	707.6941
PCF3	288660.8426	478154.6726	705.2115
PCF4	288652.9135	478262.4182	703.8742
PCF5	288582.2332	478285.4009	703.9717
PCF6	288504.9272	478322.1142	704.3769

TABLA 2: COORDENADAS Y ELEVACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOMADOS EN CAMPO. FUENTE: DATOS OBTENIDOS EN TÉCNICA RTK

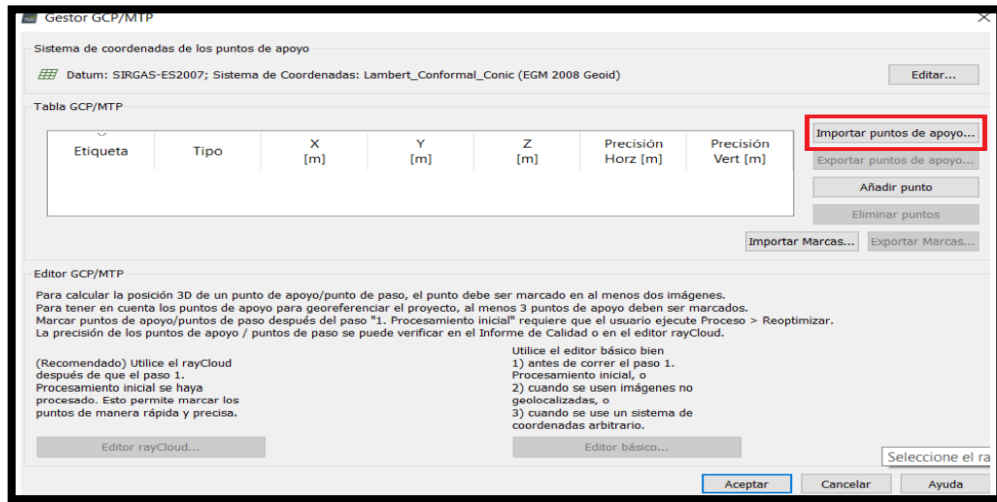


FIGURA 69: IMPORTACIÓN DE PUNTOS A PIX4D-MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Es importante antes de terminar de cargar el formato compatible con el software, revisar el orden de las coordenadas (generalmente nombre, x, y, z) eso se puede revisar y modificar en la opción “orden de las coordenadas”, por último, dar clic en “aceptar”.

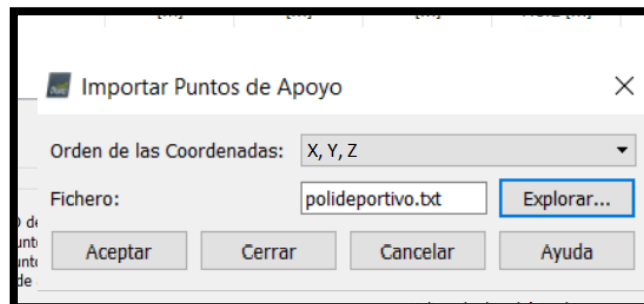


FIGURA 70: VERIFICAR ORDEN DE LAS COORDENADAS. FUENTE: PROPIA

- Los puntos de control estarán visibles en la capa del proyecto nombrada como “GCPs/MTPs”.

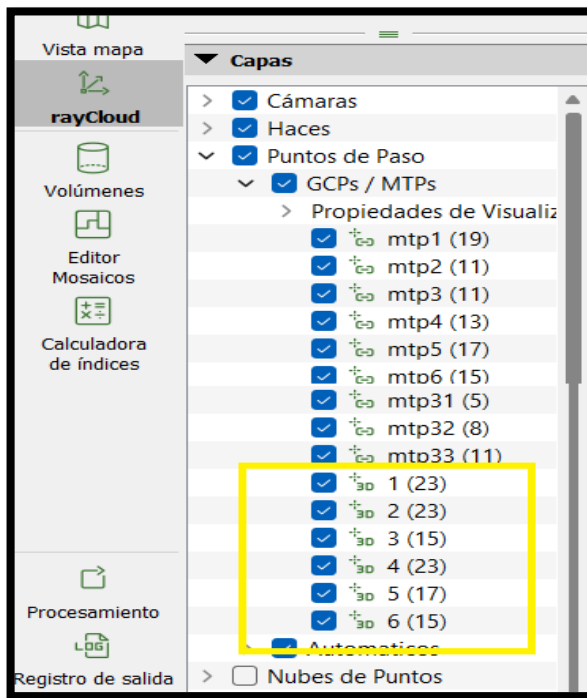


FIGURA 71: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL BAJO CARPETA GCPs/MTPs. FUENTE: PROPIA

- Para amarrar los puntos de control con las fotografías del proyecto se realiza de la misma forma como se hizo con los puntos de paso, se ubica los puntos de control que se colocaron para realizar la técnica RTK y así darles coordenadas sobre la imagen generada en Pix4D-MAPPER, luego se marca por lo menos en dos fotos distintas el punto de control, marcando su centro, luego clic en “foco en selección” y el programa presentara todas las imágenes en la cuales aparece ese punto de control específico, se hace coincidir el centro y se da clic en “aplicar”. Este paso se repite para cada punto de control.

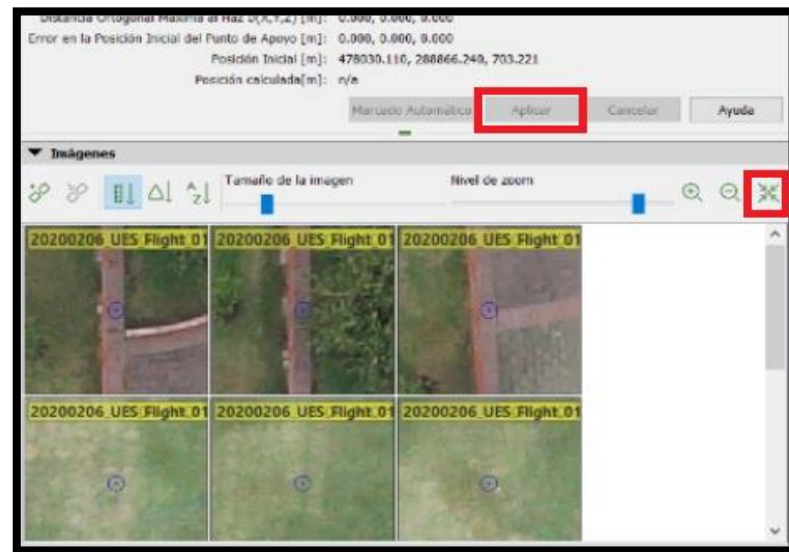


FIGURA 72: PROCESO PARA REUBICAR PUNTO DE CONTROL. FUENTE: PROPIA

- Luego de dar coordenadas a todos los puntos de control, se debe de re emparejar y optimizar, para esto se ubica la pestaña “procesar” para luego dar clic en “re emparejar y optimizar” tal cual se realizó en el proceso de puntos de paso.
- Terminado el proceso de ubicar puntos de paso y dar coordenadas en puntos de control, se verifica que en la pestaña procesamiento solo se tenga marcado el paso 2 “Nube de puntos”, de igual manera en la pestaña opciones de procesamiento verificar que solo este marcado el paso 2 “Nube de puntos” se da clic en “aceptar” y se puede dar inicio al procesamiento del paso 2.

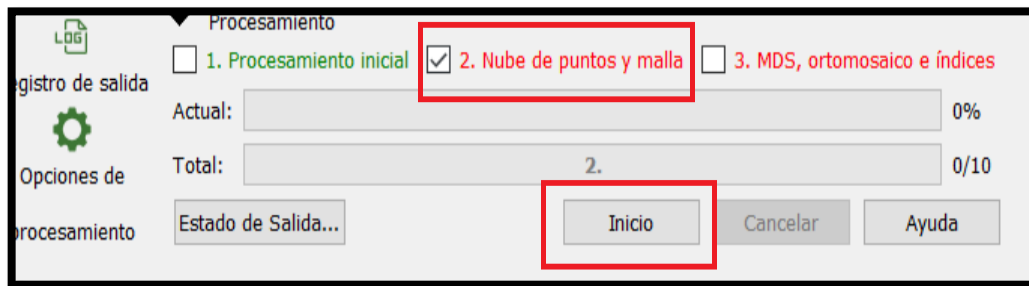


FIGURA 73: INICIO DE PROCESAMIENTO PARA NUBE DE PUNTOS Y MALLA. FUENTE: PROPIA

5.5 MDS, ORTO MOSAICO E ÍNDICES

- Como último paso del procesamiento se deben colocar los parámetros apropiados para generar el modelo digital y el orto mosaico, además del reporte de calidad, para esto en la pestaña procesamiento solamente se debe marcar el paso 3 “MDS, Orto mosaico e Índice” de la misma manera verificar en la pestaña opciones de procesamiento que solo este marcado el paso 3, para luego proceder a definir algunos parámetros dentro de la misma pestaña.
- Después de configurado el paso 3, se da inicio al procesamiento final de este proyecto, finalizado el procesamiento se obtiene un reporte de calidad que nos detalla toda la información que se procesó.

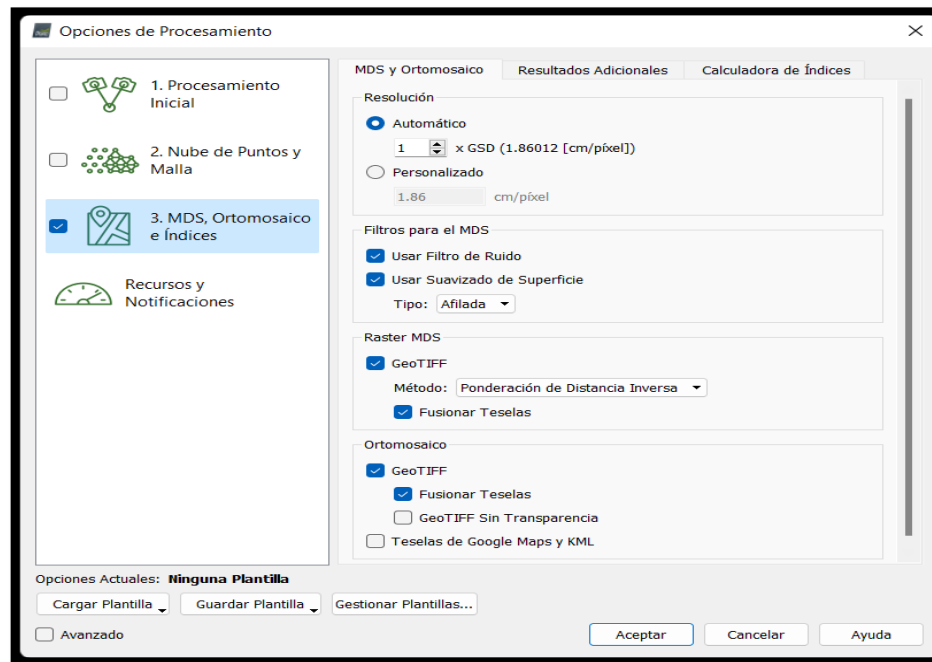


FIGURA 74: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS MDS Y ORTO MOSAICO. FUENTE: PROPIA

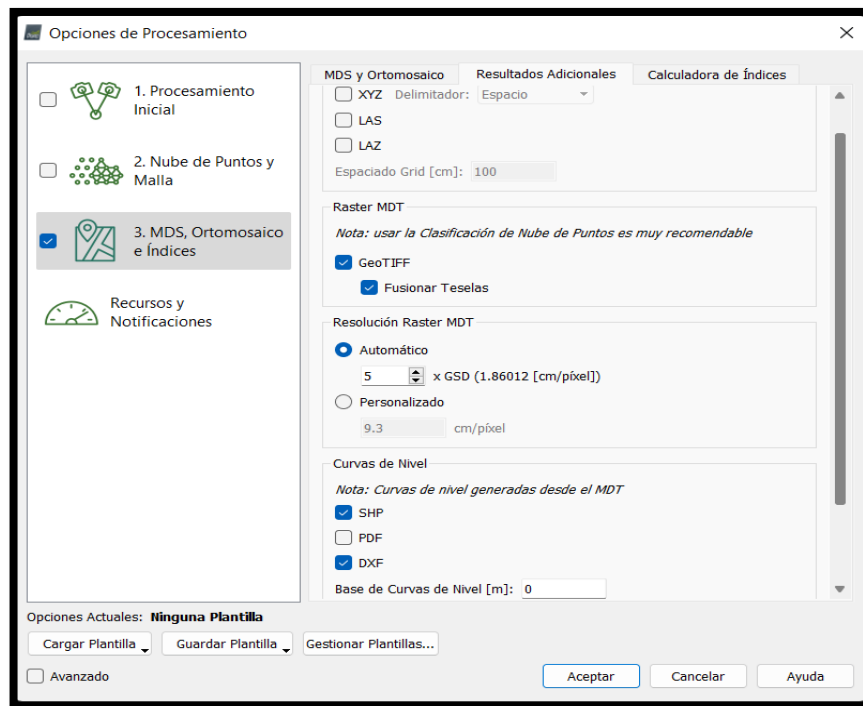


FIGURA 75: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE RESULTADOS ADICIONALES. FUENTE: PROPIA

5.6 RESULTADO DE ORTO MOSAICO O ORTO FOTO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



FIGURA 76: RESULTADO DE ORTO MOSAICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS.
FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER

5.7 RESULTADO DE MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE EN FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

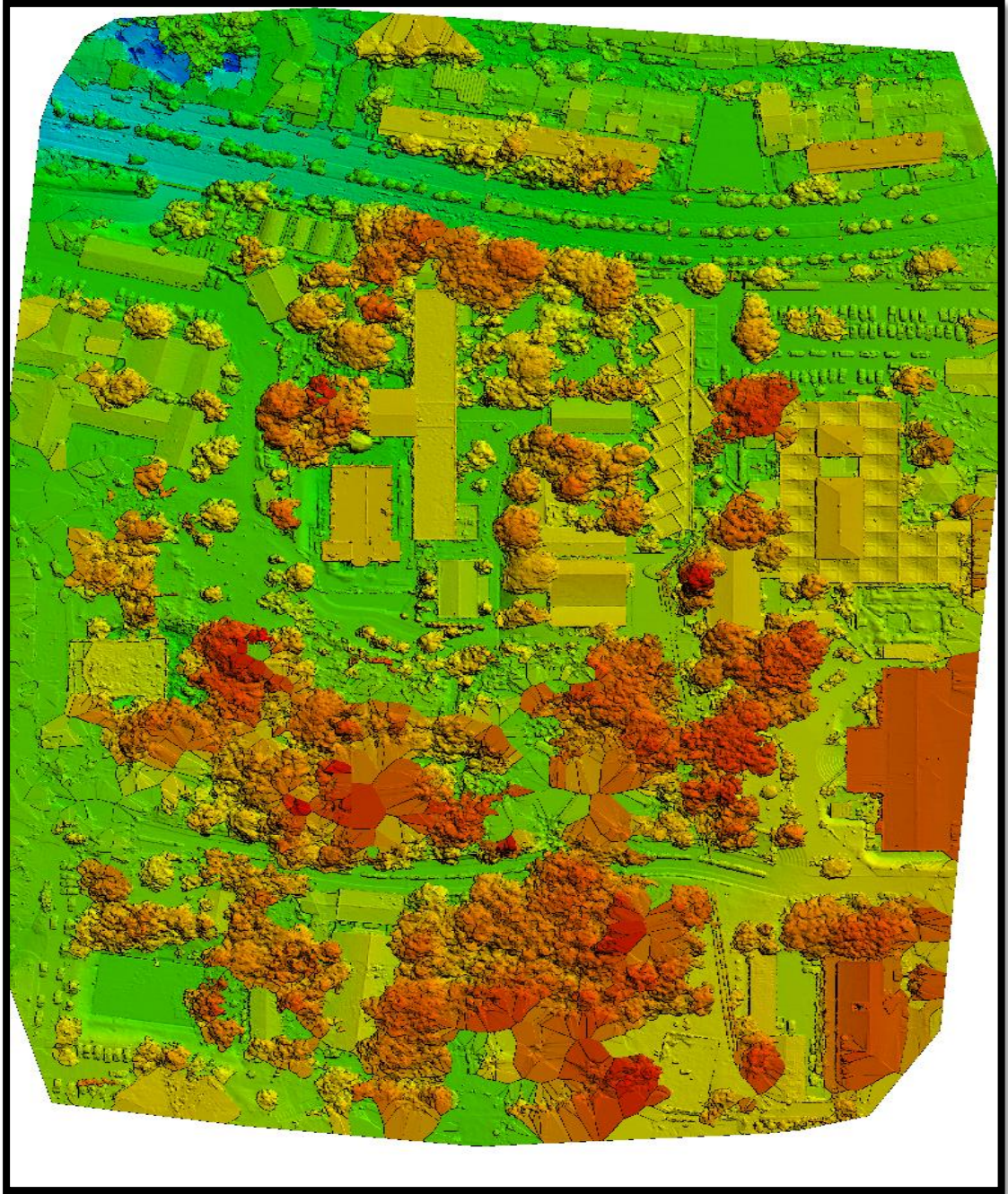


FIGURA 77: RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER

5.8 RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO EN FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

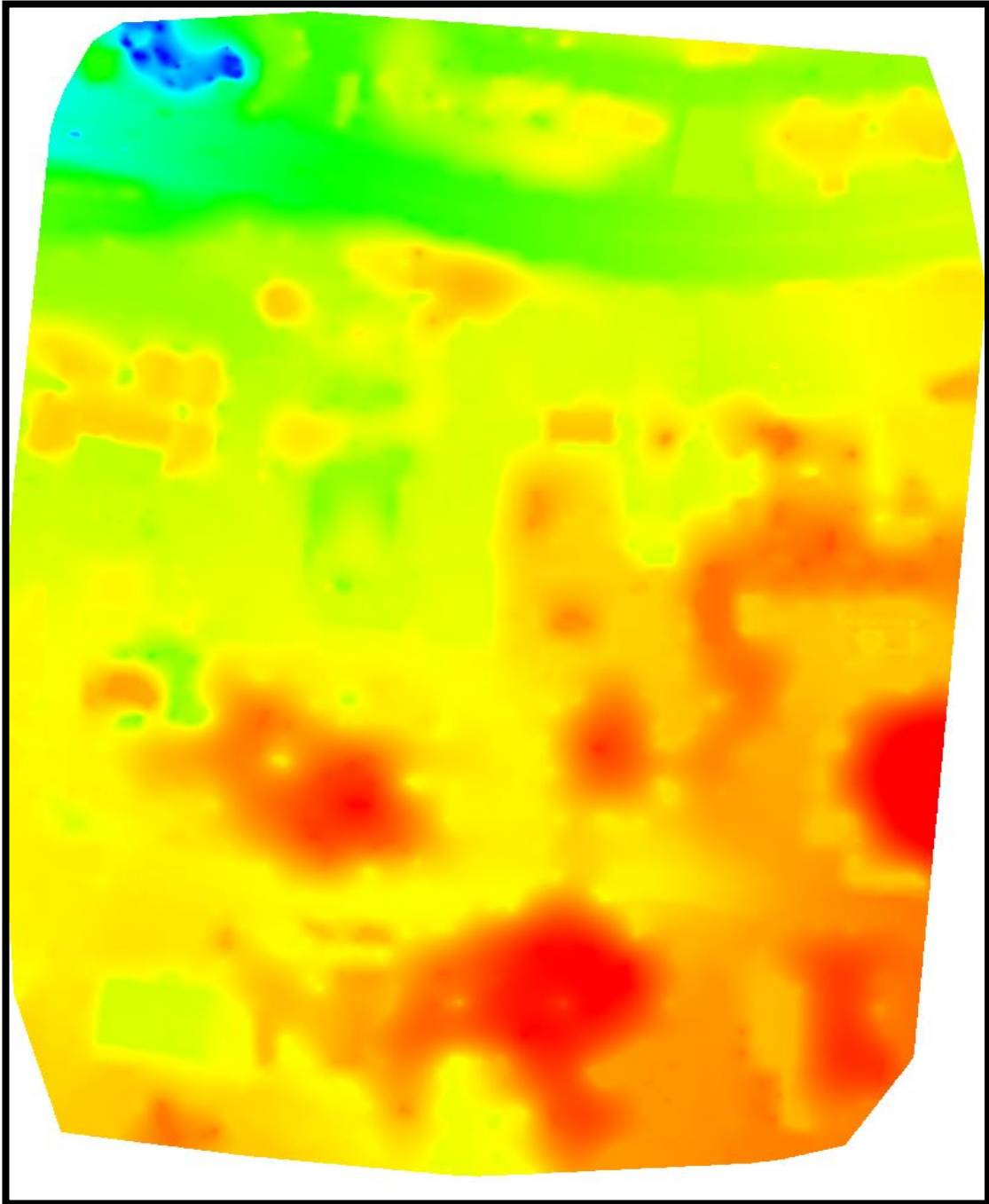


FIGURA 78: RESULTADO DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. FUENTE: PROPIA PIX4D-MAPPER

5.9 DESCRIPCIÓN DE PROCESO REALIZADO EN GLOBAL MAPPER

Como herramienta de apoyo se utilizó el Software Global Mapper, donde se cargó el orto mosaico que se obtuvo como resultado final del paso 3 en el programa Pix4D-MAPPER.

- Para esto se da clic en Open data files y se selecciona la imagen en formato .TIFF. antes de todo verificar que nuestro sistema de coordenadas sea el correcto “LAMBERT SIRGAS ES-2007”.

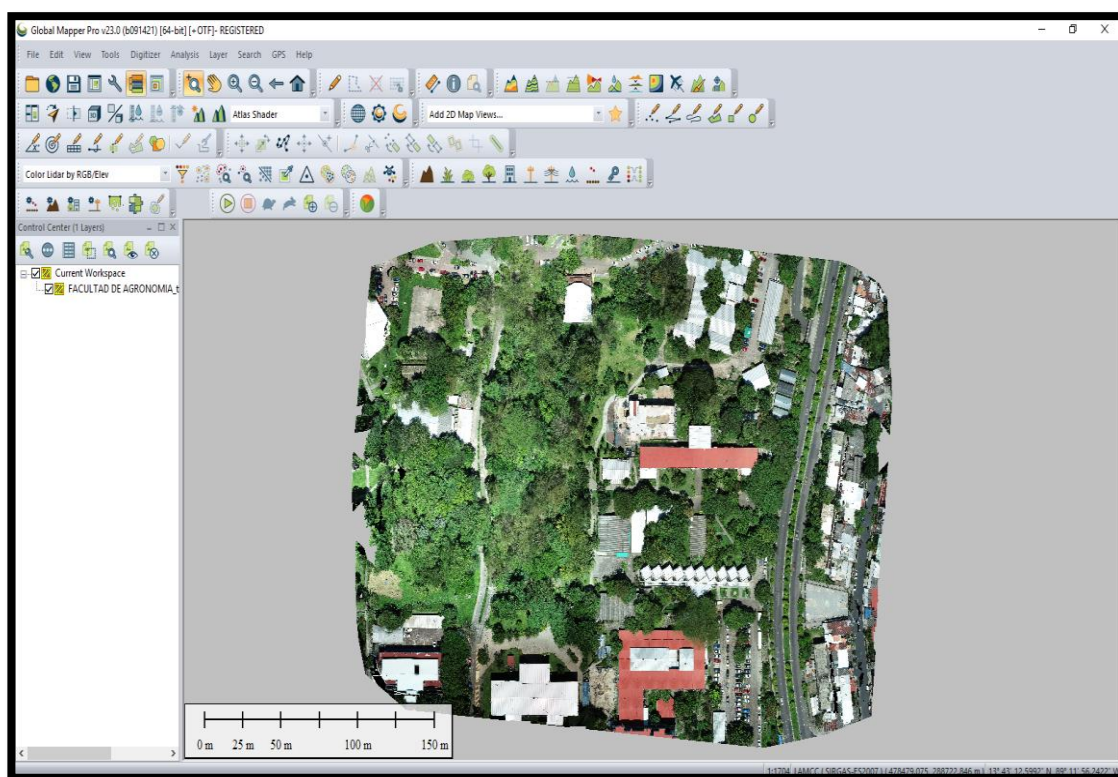


FIGURA 79: FORMA DE CARGAR EL ORTO MOSAICO A GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Una manera práctica de comprobar que nuestro levantamiento con dron fue eficiente, es crear una imagen en formato KMZ/KML, esto se realiza

en GLOBAL MAPPER. Dicha imagen se carga a GOOGLE EARTH con el objetivo que debe caer de manera precisa en la zona donde se realizó el levantamiento, esto gracias a las coordenadas de los puntos de control fotogramétricos.

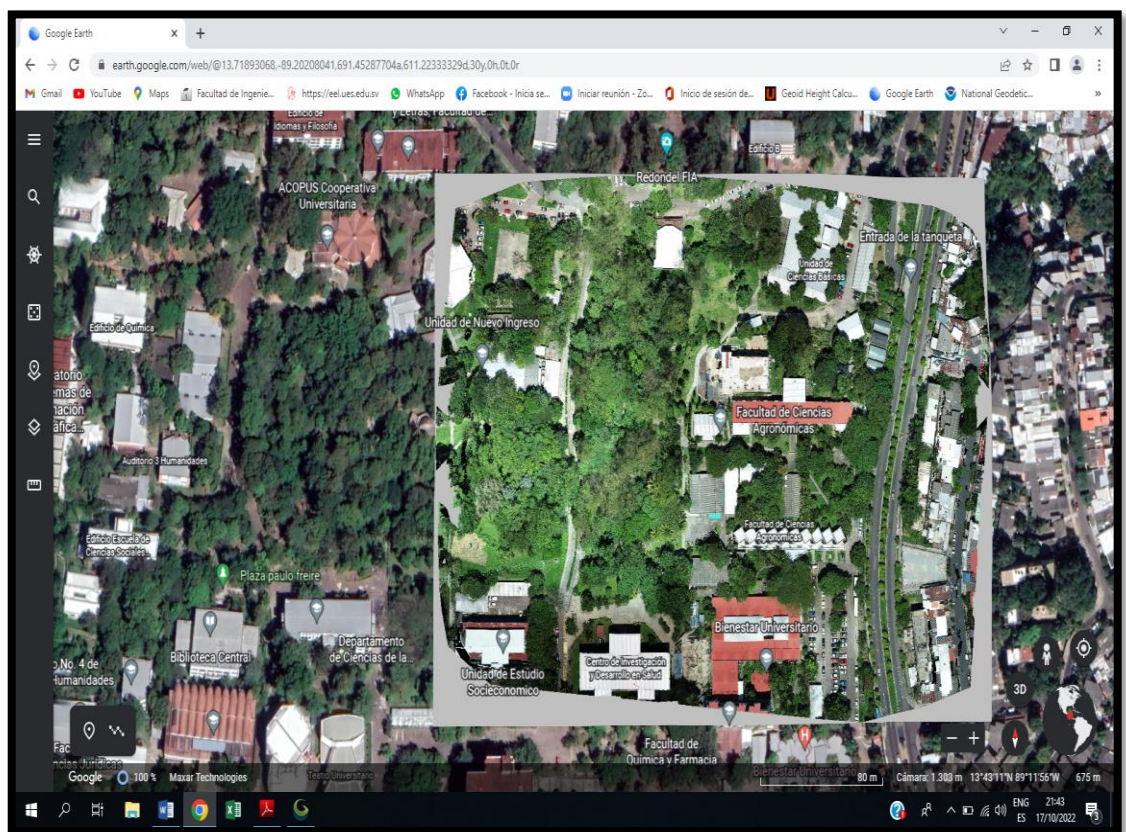


FIGURA 80: ORTO MOSAICO CARGADA A GOOGLE EARTH EN FORMATO KMZ/KML. FUENTE: PROPIA

- Al cargar el modelo digital de superficie (MDS), Global Mapper presenta una clasificación en un rango de colores, siendo los colores más azulados

los que representan las elevaciones menores, caso contrario colores con tendencia naranja muestran las elevaciones más pronunciadas.

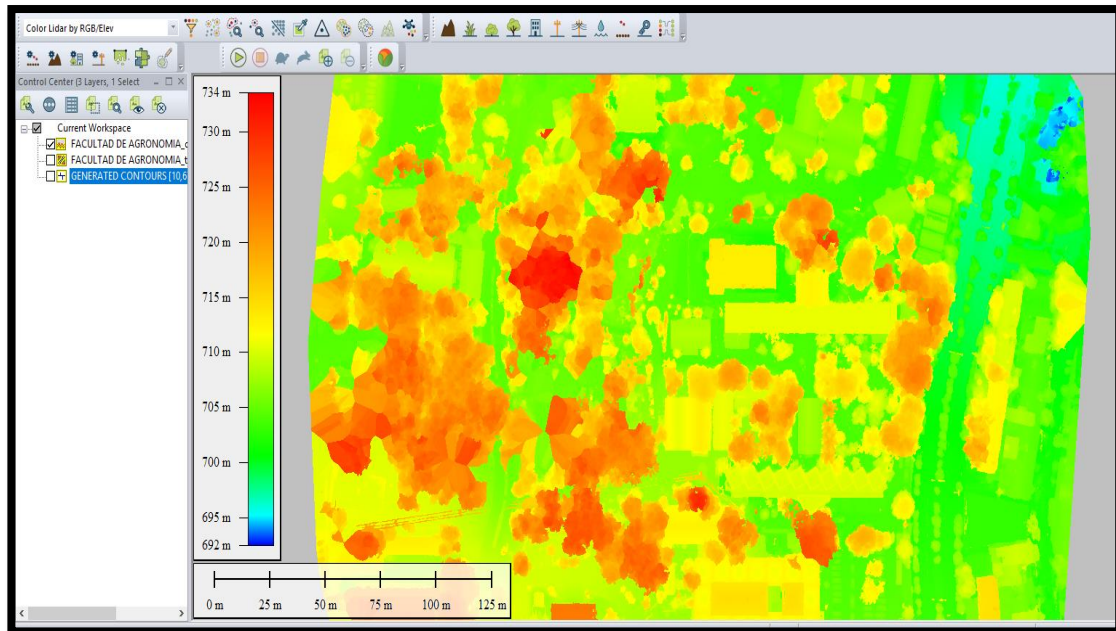


FIGURA 81: MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE EN GLOBAL MAPPER. FUENTE: PROPIA

- Este mismo modelo de superficie nos sirve para generar las curvas de nivel, que en nuestro caso no son tan precisas por la alta vegetación de la zona.

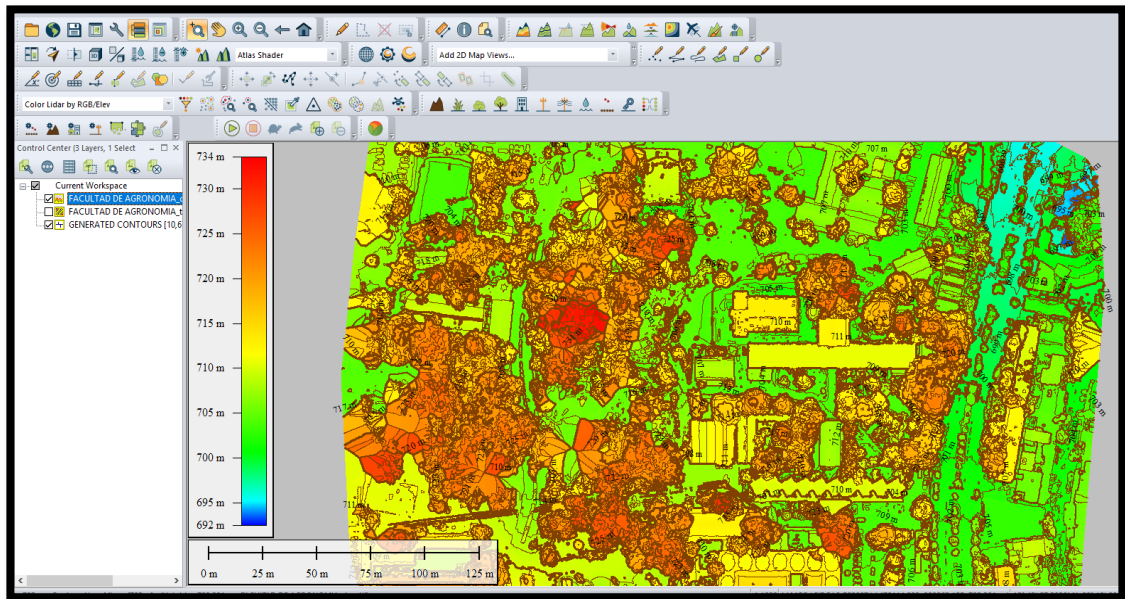


FIGURA 82: CURVAS DE NIVEL GENERADAS EN GLOBAL MAPPER BASADO EN MDS. FUENTE: PROPIA

- Por último, teniendo como referencia la imagen anteriormente cargada y corroborada se exporta a formato ECW que es compatible con software de dibujo (civil 3D).

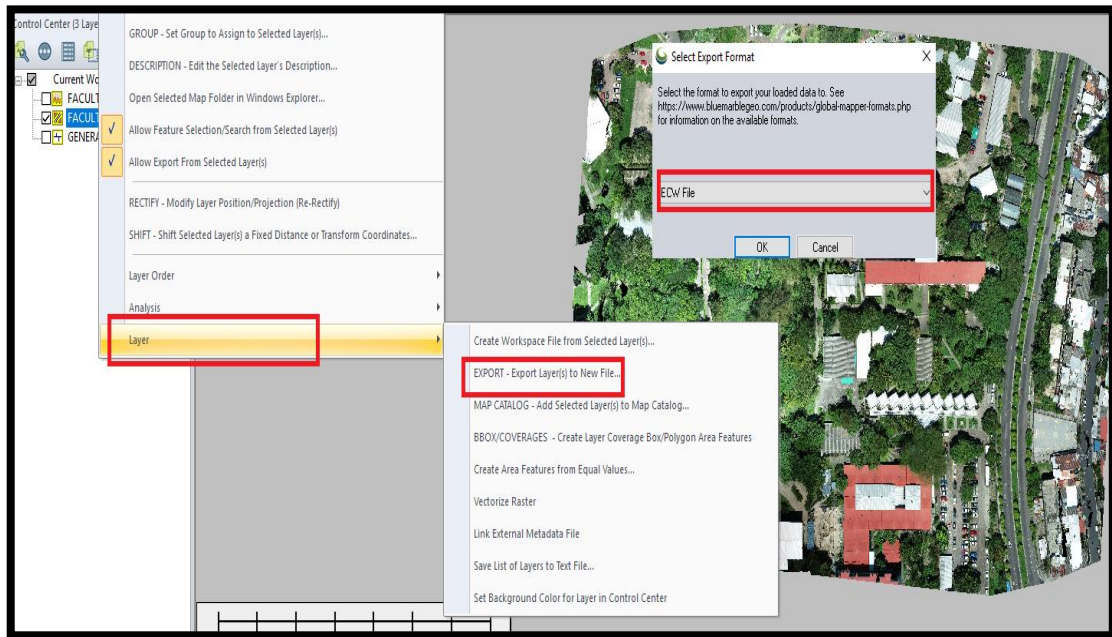


FIGURA 83: IMAGEN GENERADA EN FORMATO ECW COMPATIBLE CON CIVIL 3. FUENTE: PROPIA

5.10 PROCEDIMIENTO REALIZADO EN SOFTWARE DE DIBUJO (CIVIL 3D)

Civil 3D, es una herramienta de trabajo creado por AUTODESK con el objetivo de facilitar los procesos de dibujo, es un software diseñado para crear funciones adicionales que automatizan y simplifican las tareas dentro de AutoCAD, cubriendo diversas necesidades del profesional de la Ingeniería Civil y Topografía; utilizado por dependencias de gobierno, constructoras y universidades.

Civil 3D como herramienta dispone de una completa gama de funciones para crear todo tipo de diseños civiles. Puede crear levantamientos, carreteras, rotondas, ferrocarriles, urbanizaciones, redes de drenaje pluvial, redes de

alcantarillado y servicios públicos subterráneos, entre otros. Algunas de las herramientas clave que utiliza para generar los diseños en 3D son:

- Superficies: son elementos 3D, generalmente formados por triángulos que representan una superficie determinada. Por ejemplo, se puede crear una superficie a partir de un levantamiento topográfico para representar el terreno existente.
- Alineaciones: son elementos horizontales en 2D, generalmente compuestos por rectas, curvas y transiciones. Son el punto de partida de la mayoría de los proyectos de infraestructuras lineales, incluidas las carreteras y los ferrocarriles.
- Perfiles: se adjuntan a alineaciones específicas y contienen datos verticales relativos a las cotas. Por lo general, se empieza con un perfil de referencia generado a partir de la superficie del terreno existente. A continuación, podría crear un perfil de diseño para su carretera, siguiendo las normas adecuadas, como el Manual de Diseño de Carreteras y Puentes.
- Conjuntos: son formas que representan secciones transversales típicas. Un conjunto puede contener varios subconjuntos. Por ejemplo, puede tener un subconjunto para cada capa de pavimento, bordillos, aceras, arcenes, movimientos de tierra, etc.

- Corredores: aquí es donde ocurre la magia. Civil 3D toma las alineaciones, los perfiles verticales y los conjuntos y los une para crear corredores. Son elementos 3D que contienen superficies y volúmenes. Pueden dirigirse a otros elementos, como las superficies de suelo existentes, para crear huellas de movimiento de tierras. Los corredores representan, en esencia, la infraestructura lineal propuesta.

5.11 ARCHIVO ECW

Los archivos ECW pueden alcanzar grandes niveles de compresión, logrando relaciones de hasta 1:100. Son perfectos para tomar fotografías a gran escala desde distancias muy largas, por ejemplo, desde el cielo, en el caso de la fotografía aérea, o el espacio, en el caso de la fotografía satelital; lo que los convierte en uno de los archivos favoritos de los meteorólogos y oceanógrafos.

ECW es la sigla de “Enhanced Compression Wavelet” (compresión wavelet mejorada). Los archivos ECW se pueden comprimir y descomprimir con una cantidad mínima de RAM, y sus procesos son tan rápidos que se pueden transferir y gestionar como si fueran archivos convencionales.

El formato ECW permite mostrar imágenes enormes (de muchos gigabytes de tamaño) sin que se pixeles, es más, los archivos ECW no requieren mucha potencia informática como se podría esperar.

Este formato de archivo tiene varios usos y es más habitual en sectores de las ciencias de la Tierra, la cartografía satelital y el medio ambiente.

- **FOTOGRAFÍA AÉREA:** Los archivos ECW pueden emplear para tomar fotografías aéreas, incluidas las fotos paisajísticas desde las cimas de las montañas y los pisos superiores de los rascacielos, así como las vistas aéreas que toman los drones de bajo vuelo y los aviones de alto vuelo.
- **IMÁGENES SATELITALES:** Los archivos ECW también pueden capturar objetos de enormes dimensiones desde el espacio, desde las costas y las subdivisiones de las ciudades, hasta los ríos en toda su extensión, estados enteros y mucho más.
- **CIENCIAS DE LA TIERRA:** Con los archivos ECW, también se captan imágenes de georradar en el sistema solar, datos geospaciales obtenidos a partir de espacios en 3D y asignación de ubicaciones, que permiten a los científicos observar los cambios que se producen en el tamaño, la forma y la ubicación de formas complejas y extensas.

5.12 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL FORMATO ECW

Una vez hecho el procesamiento de las fotos tomadas por el dron en el área de la Facultad de Ciencias Agronómicas mediante el software Pix4D- Mapper, herramienta que ayudo a obtener un orto mosaico, como su nombre lo indica consiste en una imagen con vista a 90 grados de toda el área donde se realiza el vuelo fotogramétrico.

Posteriormente se procedió a realizar la construcción del plano de la Facultad de Ciencias Agronómicas teniendo como herramienta el software Civil

3D, apoyándose sobre el orto mosaico generado por el software PIX4D de la siguiente manera.

- Se carga el orto mosaico de la Facultad de Ciencias Agronómicas en el software Civil 3D de la siguiente manera. En la barra de tareas se selecciona la pestaña planificación y análisis.

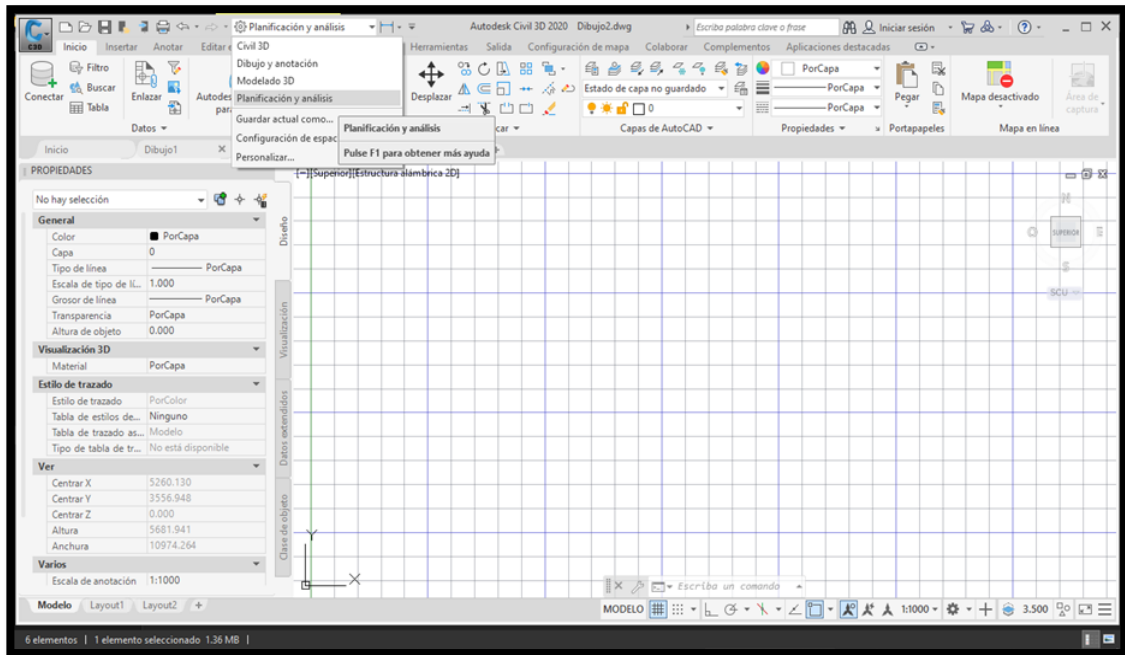


FIGURA 84: PROCESO DE CARGA DE UN ORTO MOSAICO, PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS. FUENTE: PROPIA

- Luego de seleccionar la pestaña planificación y análisis, en la pestaña insertar de la barra de tareas se selecciona la pestaña imagen, para cargar la imagen georreferenciada generada en Pix4D.

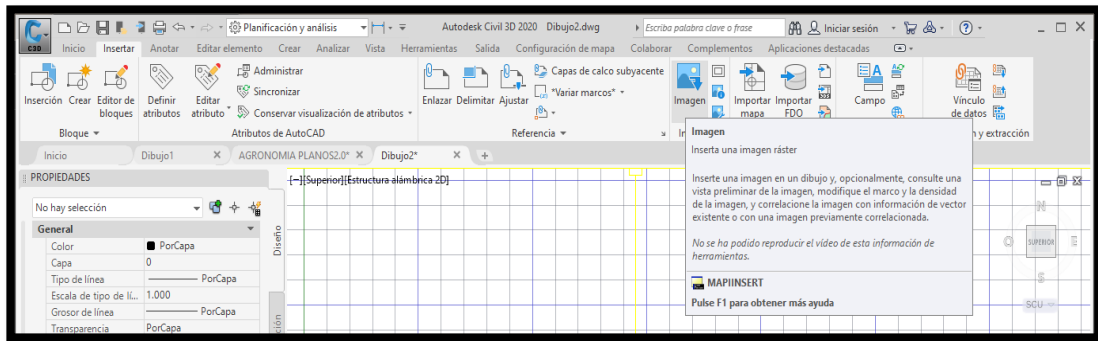


FIGURA 85: PASO DOS PARA CARGAR UN ORTO MOSAICO. FUENTE: PROPIA

- En el siguiente paso se buscó el archivo del orto mosaico en formato GeoTif para luego cargar en el espacio modelo de la interfaz de civil 3D y poder trabajar el plano.

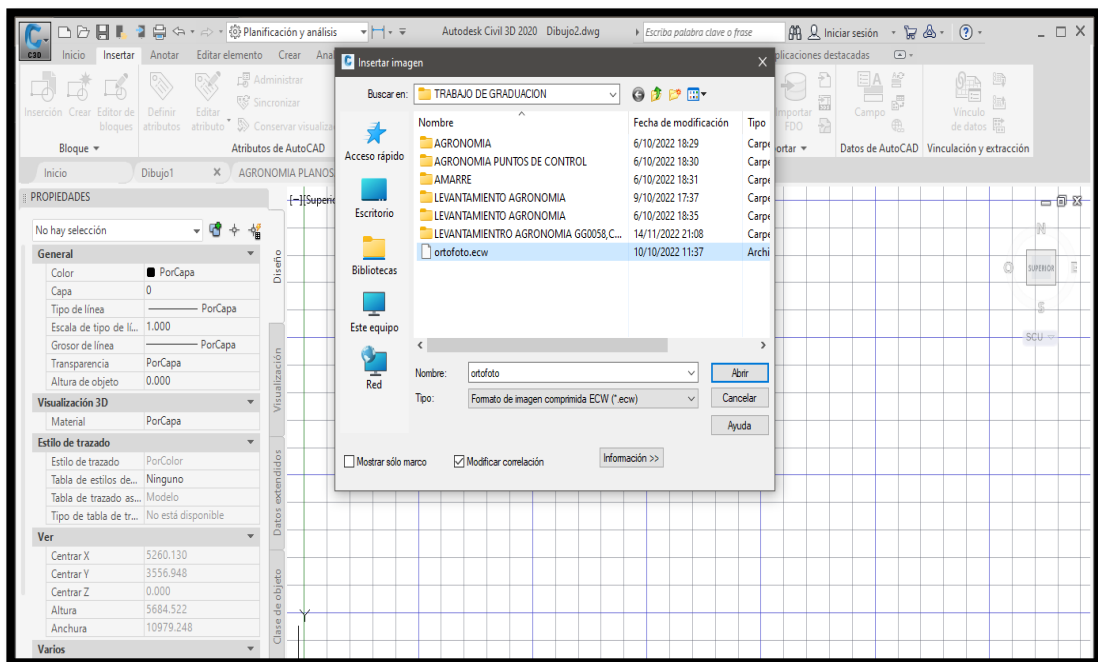


FIGURA 86: SELECCIÓN DE ARCHIVO GEOTIF. FUENTE: PROPIA

- Al seleccionar la imagen o el archivo del orto mosaico en formato GeoTif se presenta el cuadro de dialogo donde le informa que el archivo cuenta con una georreferencia, procediendo a seleccionar en la pestaña aceptar.

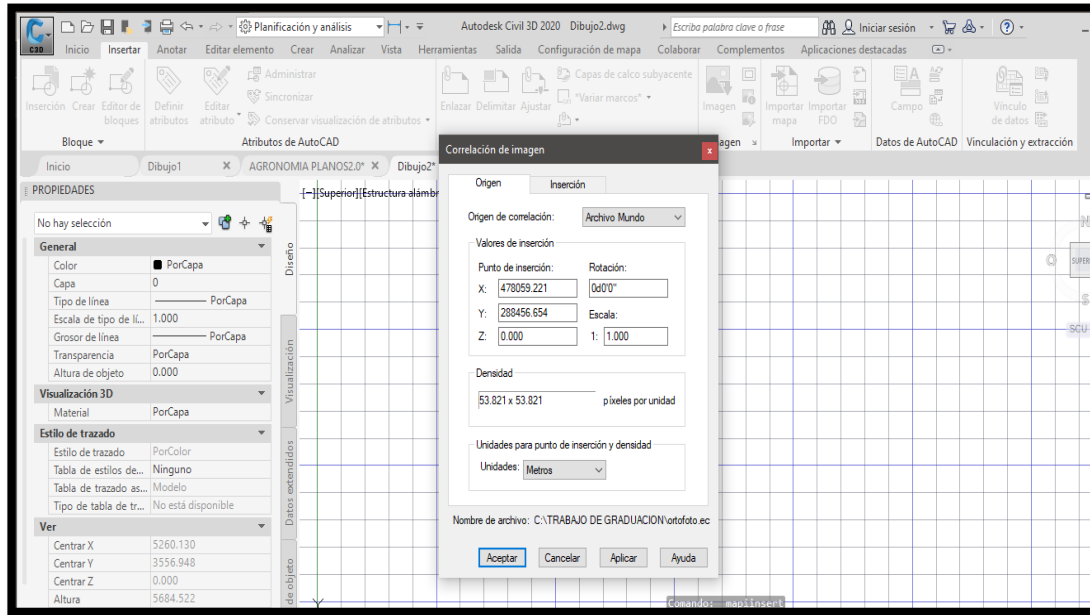


FIGURA 87: CUADRO DE DIALOGO QUE CONFIRMA UNA IMAGEN GEORREFERENCIADA. FUENTE: PROPIA

- Luego de haber seleccionado el archivo como imagen GeoTif, se presenta el orto mosaico generado en Pix4D-Mapper en el espacio modelo del civil 3D, listo para poder trabajar sobre la imagen y crear un plano que sea representativo con coordenadas reales y precisas del área donde se hizo el levantamiento mediante Drones.

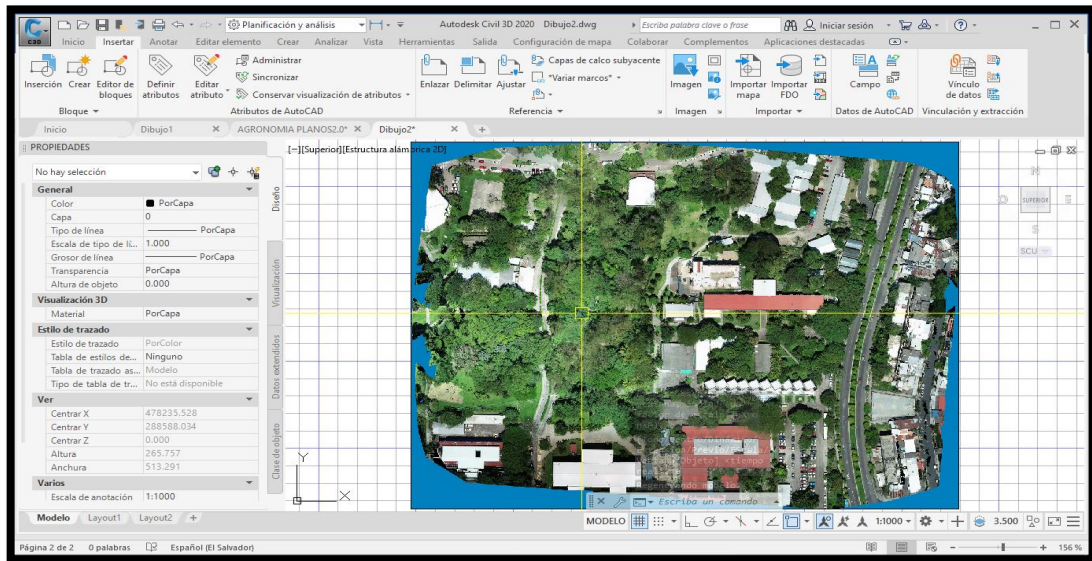


FIGURA 88: PRESENTACIÓN DEL ORTO MOSAICO CARGADO CORRECTAMENTE EN CIVIL 3D.
FUENTE: PROPIA

- En el siguiente paso mediante el comando de poli-línea, se trabajó sobre el orto mosaico, procedimiento mediante el cual se realizó el plano de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la siguiente manera.

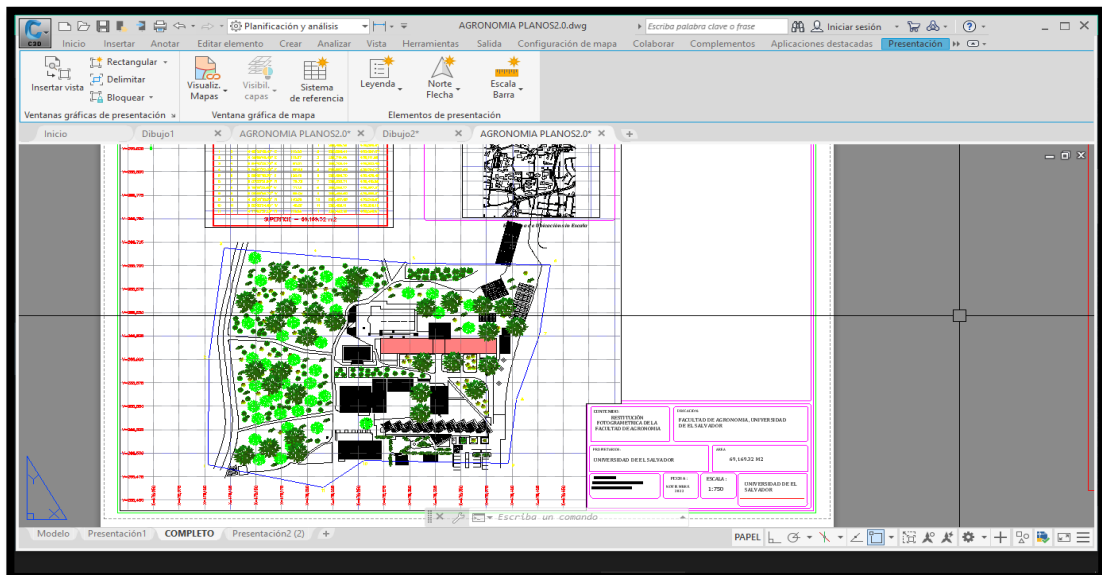


FIGURA 89: RESULTADO FINAL DEL PROCESO DE CREACIÓN DEL PLANO TOPOGRÁFICO.
FUENTE: PROPIA


6 CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

La fotogrametría considerada como una solución adecuada para las exigencias de la inspección, ya sea para generar modelos en 2D y 3D para proyectos futuros, para analizar el terreno o para crear mapas precisos, las soluciones de Pix4D cuentan con una serie de productos diseñados especialmente para la inspección. PIX4Dmapper es un software multipropósitos para profesionales del mapeo. Permite generar resultados con precisión milimétrica y brinda un control total del proyecto. Se puede adaptar el flujo de trabajo a las necesidades del equipo y del cliente para generar los resultados que necesita.


Luego de realizar la secuencia de pasos de manera ordenada y adaptado a los parámetros de referencia conocidos de El Salvador, Pix4D-Mapper proporciona un reporte de calidad en el cual se detalla información relevante y precisa del respectivo vuelo realizado sobre el área en estudio, para nuestro caso la Facultad de Ciencia Agronómicas de la Universidad de El Salvador.



Dicho reporte de calidad en la parte inicial presenta un resumen en el cual podemos apreciar detalles como nombre del proyecto, fecha en la que se realizó el procesamiento, nombre del modelo de la cámara con la que se realizó el vuelo, área cubierta por el vuelo, en nuestro caso el dron realizó un recorrido en un área de 0.083 km².


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	FACULTAD DE AGRONOMA
Processed	2022-10-23 22:25:18
Camera Model Name(s)	FC6310_8,8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1,86 cm / 0.73 in
Area Covered	0,083 km ² / 8,3198 ha / 0,03 sq. mi. / 20,5694 acres

FIGURA 90: RESUMEN INICIAL DEL NUESTRO REPORTE DE CALIDAD. FUENTE: PROPIA

Como segundo resultado se presenta un control de calidad dentro del cual podemos conocer el error, para este proyecto se tiene un error de 0.037 m, que se considera esta dentro de lo permitido, generalmente un error por debajo de los 0.05 m se considera aceptable.

Quality Check		
Images	median of 63303 keypoints per image	✓
Dataset	180 out of 180 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	1,21% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 13828.3 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0,037 m	⚠

FIGURA 91: ERROR QUE SE COMETIÓ DURANTE EL PROCESAMIENTO. FUENTE: PROPIA

También se presenta una previa del resultado de la orto fotografía y el modelo digital de terreno, así mismo nos confirma el número de imágenes calibradas (180/180) y numero de imágenes geo localizadas (180/180).

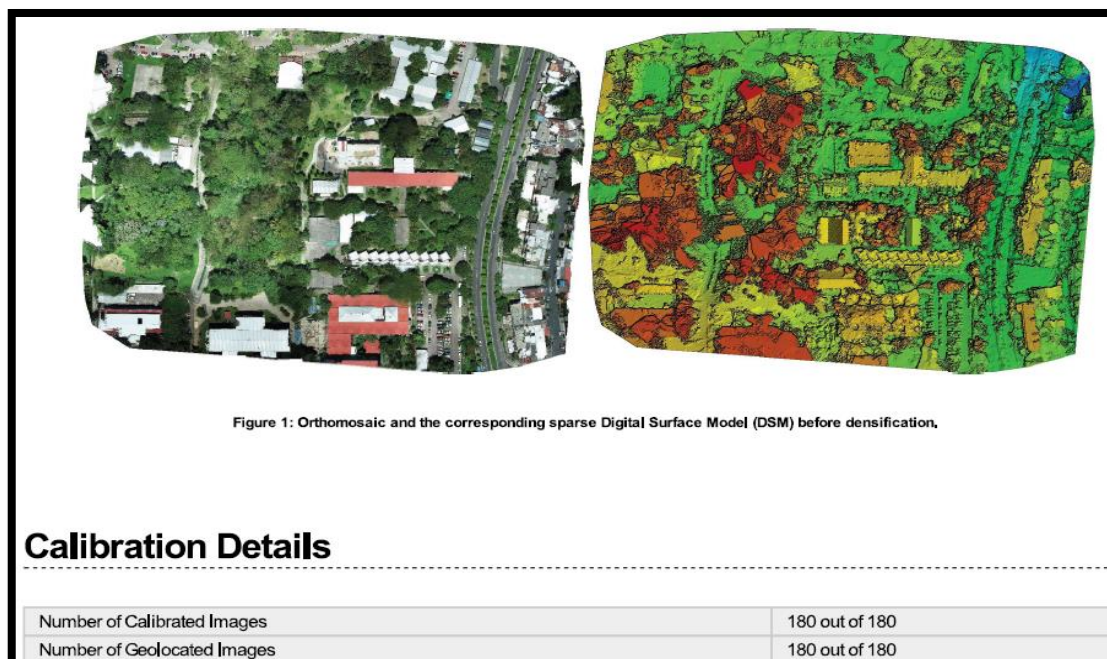


FIGURA 92: COMPROBACIÓN DE IMÁGENES CALIBRADAS Y GEO LOCALIZADAS. FUENTE: PROPIA

Detalles de procesamiento inicial, en el cual describe aspectos como las características de la computadora en la cual se realizó el procesamiento, sistema de referencia, entre otros.

Initial Processing Details	
System Information	
Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz RAM: 8GB GPU: Intel(R) HD Graphics 5500 (Driver: 20,19,15,4835)
Operating System	Windows 10 Pro, 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: 1
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

FIGURA 93: CARACTERÍSTICAS DE LA COMPUTADORA Y SISTEMA DE REFERENCIA. FUENTE: PROPIA

Detalles de densificación de nubes de puntos.

Point Cloud Densification details	
Processing Options	
Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Mnimum 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
Results	
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	22261254
Average Density (per m ³)	392.76

FIGURA 94: DETALLES DE DENSIFICACIÓN DE NUBES DE PUNTOS. FUENTE: PROPIA

Como último punto Pix4D-Mapper presenta en su reporte de calidad datos sobre Modelo Digital de Superficie (DSM), Orto mosaico, índice de detalles.

DSM, Orthomosaic and Index Details i	
Processing Options i	
DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1,86 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1,86 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20

FIGURA 95: DSM, ORTO MOSAICO, ÍNDICE DE DETALLES. FUENTE: PROPIA

Se puede asegurar que el resultado obtenido mediante el procesamiento en Pix4D-Mapper es satisfactorio, el orto mosaico obtenido se muestra en una resolución óptima, permitiendo apreciar correctamente detalles como edificios, aceras entre otros. Con dicho orto mosaico y con ayuda de civil 3D, herramienta de diseño, se pudo realizar el respectivo plano topográfico, en el cual la precisión es muy buena, cualquier medida tomada en campo coincide con las dimensiones del diseño, esto gracias al posicionamiento de los puntos de control mediante la técnica de RTK que se realizó previa al vuelo fotogramétrico.

7 CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- La técnica para la elaboración de un plano topográfico basado en una toma de datos con fotografías aéreas, es una técnica moderna que ha facilitado el trabajo de campo y oficina, dicha técnica puede presentar variaciones milimétricas al momento de realizar el trazado de líneas sobre la orto foto, esto dependerá del juicio propio del dibujante.
- Tener conocimiento del uso y aplicaciones que podemos realizar con GPS es de suma importancia, tal es el caso de la técnica de medición por RTK que consiste en tener dos antenas GPS (BASE Y ROVER) que permite ubicar puntos claves dentro del área que se desea estudiar con coordenadas reales tomadas a partir de un punto de referencia conocido.
- El avance tecnológico es notable, antes era necesario contar con una cuadrilla topográfica y un nivel para poder representar las curvas de nivel de un área determinada, dicha actividad era consumo de tiempo y recursos, hoy en día software como Pix4D-Mapper Y Global Mapper son herramientas que facilitan el trabajo, permiten representar las curvas de nivel de manera rápida y confiable, en nuestro caso el área en estudio contiene una vegetación densa por lo cual la representación de las curvas no es tan confiable ya que el programa toma la parte más alta de los arboles al utilizar un Modelo Digital de Elevación.

- La correcta utilización de drones requiere un mínimo de dos miembros de la tripulación, aunque tres miembros mejoran la eficacia, cada uno de estos miembros tiene una función específica, por ejemplo, piloto, observador visual, gestor de datos.
- Tomar nota de toda la información sobre el vuelo, cualquier ocurrencia inusual durante el vuelo, como incidentes de vuelo, cambios inesperados en el clima que puedan afectar la calidad de las imágenes y comportamientos anómalos del dron.
- EL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES REMOTOS APLICADOS A PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL, es un tema de interés tanto para la empresa privada como para instituciones de gobierno, es por ello que la Universidad de El Salvador pone a disposición esta especialidad para promover los conocimientos teóricos y prácticos y desarrollar nuevas habilidades en cada profesional.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que un día antes de realizar cualquier tipo de levantamiento topográfico, se verifique que el equipo se encuentre en buenas condiciones y que cada equipo cuente con su batería completamente cargada.
- Se recomienda que antes de iniciar un levantamiento topográfico se realice un recorrido en el área que se desea estudiar, con el fin de identificar zonas

que puedan generar algún tipo de problemas como accesos, alturas de árboles, antenas entre otros.

- Se recomienda que en zonas donde el orto mosaico resultado del procesamiento presente vegetación densa, se utilice un levantamiento con estación total a fin de representar la mayor cantidad de detalles en el plano.
- Se recomienda una correcta instalación y manipulación del equipo a utilizar, así mismo que el equipo este correctamente calibrado para evitar errores.
- Se recomienda tener presente las condiciones del clima (lluvias, vientos, luz solar) ya que son factores que influyen en obtener datos certeros.
- Se recomienda colocar los puntos de control fotogramétricos (PCF) en lugares visibles, así asegurar que el dron tome fotografía de esos puntos en diferentes direcciones.
- Se recomienda que al momento de realizar el trabajo de oficina este presente una de las personas que se dedicó a realizar el levantamiento, esto para tener una mejor ubicación del área que se desea levantar.
- Se recomienda que al ejecutar la técnica de RTK siempre se verifique que se esté recibiendo la señal correctamente para la toma de datos, además no alejarse de un radio de influencia alrededor de la base de 20 km

BIBLIOGRAFÍA

- Zelaya, I. W. (2021). Guiones de clases del Curso de especialización. El Salvador.
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía – sistemas geodésicos de referencia – conceptos básicos.
- Videos tutoriales Impartidos por el docente Ing. Wilfredo Amaya de los programas de procesamiento y complementarios.
- ROBOTIC AIR SYSTEM - Informe: Fotogrametría aérea con Drones - Pedro Grijalva Luna
- Manual de vuelo para drones - https://escholarship.org/content/qt5s73q0hj/qt5s73q0hj_noSplash_e31dbd9ac3108358135a34a7379e0647.pdf?t=qaii94

ANEXOS

