

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**

PRESENTADA POR:

JONATHAN STANLEY CASTRO RIVAS

LUIS EDUARDO CORTEZ HERNÁNDEZ

CARLOS ADONAY MELGAR PORTILLO

RONALD EDUARDO SALGUERO FLORES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

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

Curso de Especialización previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

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

Presentado por:

**JONATHAN STANLEY CASTRO RIVAS
LUIS EDUARDO CORTEZ HERNÁNDEZ
CARLOS ADONAY MELGAR PORTILLO
RONALD EDUARDO SALGUERO FLORES**

Curso de Especialización Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, noviembre de 2021

Curso de Especialización aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4. ALCANCES	7
1.5. LIMITACIONES.....	9
1.6. JUSTIFICACIÓN	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICO	12
2.1.1. ELIPSOIDE	12
2.1.1.1. EL GEOIDE	14
2.1.2. DATUM	17
2.1.3. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.....	20
2.1.3.1. PROYECCIONES PLANAS O ACIMUTALES.	21
2.1.3.2. PROYECCIONES CILÍNDRICAS.	23
2.1.3.3. PROYECCIONES CÓNICAS	25
2.1.3.4. PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM).	27
2.1.3.5. PROYECCIÓN UTM WGS-84	30
2.1.3.6. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT	31
2.1.3.7. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT.....	32
2.1.4. SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS-ES2007.....	34
2.1.5. LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS CON GNSS	38
2.1.5.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS	39
2.1.5.2. CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA GPS.	40
2.1.5.2.1. Segmento Espacial	40
2.1.5.2.2. El Segmento de Control.....	42
2.1.5.2.3. El Segmento de Usuario	44
2.1.5.3. TIPOS DE RECEPTORES GPS.....	45
2.1.5.4. NAVEGADORES.	45
2.1.5.4.1. Receptores de GPS de una frecuencia	46
2.1.5.4.2. Receptores de GPS de doble frecuencia.	47
2.1.6. MÉTODO REAL KINEMATIC TIME (RTK)	48
2.2. TOPOGRAFÍA.....	51
2.2.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	52
2.2.1.1. MÉTODO POR RADIACIÓN	53
2.2.1.2. MÉTODO POR POLIGONACIÓN	54
2.3. FOTOGRAMETRÍA CON DRON	55
2.4. TIPOS DE MODELO DIGITALES	57
2.4.1. MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIE	57
2.4.2. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	57

2.4.3. MODELOS DIGITALES DE TERRENO	58
CAPÍTULO III: OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO.	60
3.1. OBTENCIÓN DE DATOS CON ESTACIÓN TOTAL.....	60
3.2. OBTENCIÓN DE DATOS CON TÉCNICAS GNSS.	67
3.2.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN LOCAL	69
3.2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	73
3.3. PLAN DE VUELO	85
3.4. LEVANTAMIENTO DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRONE.....	91
3.4.1. CREACIÓN LAMBERT SIRGAS-ES2007 GLOBAL MAPPER.	92
CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO	97
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	129
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
6.1. CONCLUSIONES.....	134
6.2. RECOMENDACIONES	134
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA NO. 1. ELIPSOIDE	13
FIGURA NO. 2. COMPARACIÓN ENTRE ELIPSOIDES Y LA FORMA DE LA TIERRA.	14
FIGURA NO. 3. EL GEOIDE	15
FIGURA NO. 4. DIFERENTES SUPERFICIES DE LA TIERRA.	16
FIGURA NO. 5. RELACIÓN ENTRE LAS SUPERFICIES DEL ELIPSOIDE, GEOIDE Y TOPOGRAFÍA	16
FIGURA NO. 6. DATUM GLOBAL.....	18
FIGURA NO. 7. ESTACIÓN DE TRIANGULACIÓN MEADES RANCH, EE.UU.....	19
FIGURA NO. 8. DATUM LOCAL.	19
FIGURA NO. 9. PROYECCIÓN DE LA TIERRA A UN PLANO.	20
FIGURA NO. 10. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS PRINCIPALES.	21
FIGURA NO. 11. DISTORSIONES EN PROYECCIONES PLANAS.	22
FIGURA NO. 12. ORIENTACIONES DE PROYECCIONES PLANAS.	22
FIGURA NO. 13. PROYECCIONES PLANAS CON DIFERENTE PUNTO DE PERSPECTIVA.....	23
FIGURA NO. 14. PROYECCIÓN CILÍNDRICA	24
FIGURA NO. 15. DISTORSIONES EN PROYECCIONES CILÍNDRICAS.	24
FIGURA NO. 16. PROYECCIONES CÓNICAS.	25
FIGURA NO. 17. DISTORSIONES EN PROYECCIONES CÓNICAS.....	26
FIGURA NO. 18. PROYECCIONES CÓNICAS SECANTES Y TANGENTES.	26
FIGURA NO. 19. SISTEMA UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM)	28
FIGURA NO. 20. CONFIGURACIÓN DE UNA ZONA UTM.....	29
FIGURA NO. 21. CILINDRO TANGENTE TRANSVERSALMENTE AL ELIPSOIDE WGS-84.	31
FIGURA NO. 22. PROYECCIÓN DE MERCATOR.	32
FIGURA NO. 23. SUPERPOSICIÓN DEL CONO SOBRE EL GLOBO TERRÁQUEO. PROYECCIÓN CONICA CONFORMAL DE LAMBERT.....	32
FIGURA NO. 24. PROYECCIÓN LAMBERT CONFORME CÓNICA.	33
FIGURA NO. 25. EL SALVADOR ENMARCADO POR LOS PARALELOS Y MERIDIANOS REQUERIDO PARA TRANSFORMAR COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS-84 A COORDENADAS PLANAS LAMBERT SIRGAS-ES2007.....	38
FIGURA NO. 26. DISTRIBUCIÓN DEL SEGMENTO ESPACIAL.	41
FIGURA NO. 27. ESTACIONES DE CONTROL.	43
FIGURA NO. 28. RECEPTORES DE NAVEGACIÓN.	46
FIGURA NO. 29. RECEPTOR BASE Y MOVIL DE GPS GEODÉSICO DE UNA FRECUENCIA.	47
FIGURA NO. 30. RECEPTOR GPS GEODÉSICO DE DOBLE FRECUENCIA.....	48
FIGURA NO. 31. UBICACIÓN RECOMENDADA PARA RECEPTOR BASE Y MÓVIL EN TÉCNICA RTK.	49
FIGURA NO. 32. MÉTODO POR RADIACIÓN.	54
FIGURA NO. 33. EJEMPLO DE MODELO TIPO DE MODELO UTILIZADO.	59
FIGURA NO. 34. CENTRADO Y NIVELADO DE ESTACIÓN TOTAL.....	60
FIGURA NO. 35. CREACIÓN DE NUEVO TRABAJO.....	61
FIGURA NO. 36. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.	61
FIGURA NO. 37. INTRODUCIR COORDENADAS DE AMARRE.	62
FIGURA NO. 38. INTERFAZ LOCACIÓN.....	63
FIGURA NO. 39. OBTENCIÓN DE COORDENADAS DE AMARRE.....	63
FIGURA NO. 40. GUARDADO DE INFORMACIÓN.....	64
FIGURA NO. 41. CONFIGURACIÓN VISTA ATRÁS.....	65
FIGURA NO. 42. DESCRIPCIÓN DE ALTURA DE PRISMA Y NÚMERO DE PUNTOS A UTILIZAR.	66
FIGURA NO. 43. ELECCIÓN DE NÚMEROS PARA UN MEJOR CONTROL DE PUNTOS.....	66
FIGURA NO. 44. GUARDAR INFORMACIÓN PARA MOVER LA ESTACIÓN A UN NUEVO PUNTO.	67

FIGURA NO. 45. CENTRADO DE TRÍPODE Y NIVELACIÓN	68
FIGURA NO. 46. ACOPLE DE EXTENSIÓN DE ANTENA A RECEPTOR	68
FIGURA NO. 47. COLOCACIÓN DE ANTENA.....	69
FIGURA NO. 48. COLOCACIÓN DE GPS EN EL TRÍPODE.....	69
FIGURA NO. 49. ELECCIÓN DEL TIPO DE DRON.....	86
FIGURA NO. 50. TIPOS DE CUADRÍCULA.....	86
FIGURA NO. 51. ACTIVAR GPS.....	87
FIGURA NO. 52. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INTERÉS.....	87
FIGURA NO. 53. ELECCIÓN DE ALTURA DE VUELO.....	88
FIGURA NO. 54. IR A LA CONFIGURACIÓN DEL DRON.....	88
FIGURA NO. 55. VERIFICAR EL ÁNGULO DE LA CÁMARA Y EL TRASLAPE A UTILIZAR.....	89
FIGURA NO. 56. INICIO DEL VUELO.....	89
FIGURA NO. 57. GUARDAR LAS FOTOS.....	90
FIGURA NO. 58. EXPORTACIÓN DE LAS FOTOS.....	90
FIGURA NO. 59. ÁREA TOTAL DE ESTUDIO.....	91
FIGURA NO. 60. ÁREA TOTAL DE ESTUDIO.....	91
FIGURA NO. 61. INTERFAZ DEL PROGRAMA GLOBAL MAPPER.....	92
FIGURA NO. 62. INTERFAZ DE LA OPCIÓN CONFIGURACIÓN, DENTRO DE LA PESTAÑA DE HERRAMIENTAS.....	93
FIGURA NO. 63. INTERFAZ DE LA OPCIÓN PROYECCIÓN.....	93
FIGURA NO. 64. SELECCIÓN DE LA PROYECCIÓN “CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT”.....	94
FIGURA NO. 65. INTRODUCCIÓN DE DATOS, DENTRO DE LA INTERFAZ DE CREAR NUEVO DATUM. ...	95
FIGURA NO. 66. INTRODUCCIÓN DE PARÁMETROS.....	96
FIGURA NO. 67. GUARDAR EL ARCHIVO DEL SISTEMA DE REFERENCIA RECIÉN CREADO.....	96
FIGURA NO. 68. INTERFAZ PIX4D.....	97
FIGURA NO. 69. INTERFAZ PARA CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO.....	98
FIGURA NO. 70. INTRODUCCIÓN DE RUTA DE GUARDADO DE NUEVO PROYECTO.....	98
FIGURA NO. 71. FORMA DE AÑADIR LAS IMÁGENES A PROCESAR.....	99
FIGURA NO. 72. RUTA DE ALMACENAMIENTO A SELECCIONAR.....	100
FIGURA NO. 73. FOTOS A PROCESAR.....	100
FIGURA NO. 74. INFORMACIÓN DE IMÁGENES.....	101
FIGURA NO. 75. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS.....	102
FIGURA NO. 76. SELECCIÓN DEL ARCHIVO. PRJ.....	102
FIGURA NO. 77. SELECCIONAR COORDENADAS VERTICALES EMG 2008.....	103
FIGURA NO. 78. ELECCIÓN DE PLANTILLA.....	103
FIGURA NO. 79. INTERFAZ AL CARGAR LAS FOTOGRAFÍAS.....	104
FIGURA NO. 80. PROCESAMIENTO INICIAL.....	104
FIGURA NO. 81. PROCESAMIENTO INICIAL.....	105
FIGURA NO. 82. VERIFICACIÓN DE SELECCIÓN DE PROCESAMIENTO INICIAL.....	105
FIGURA NO. 83. PROCESAMIENTO DEL PRIMER PASO.....	106
FIGURA NO. 84. PROPORCIÓN DE REPORTE DE CALIDAD.....	106
FIGURA NO. 85. FINALIZACIÓN DEL PASO 1.....	107
FIGURA NO. 86. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE PASOS.....	108
FIGURA NO. 87. AJUSTES DE LOS PUNTOS DE PASOS.....	108
FIGURA NO. 88. AJUSTAR LOS PUNTOS DE PASO EN LOS 17 PUNTOS SELECCIONADOS.....	109
FIGURA NO. 89. VERIFICACIÓN QUE EL PUNTO DE PASO ESTÁ DENTRO DEL PROYECTO.....	110
FIGURA NO. 90. SELECCIONAR REEMPAREJAR Y OPTIMIZAR.....	110
FIGURA NO. 91. ARCHIVO .TXT CON LAS COORDENADAS DE PUNTO DE CONTROL.....	111
FIGURA NO. 92. IMPORTACIÓN DE ARCHIVO .TXT.....	112
FIGURA NO. 93. IMPORTACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	112

FIGURA NO. 94. EXPORTAR ARCHIVOS EN .TXT	113
FIGURA NO. 95. EXPORTAR ARCHIVOS EN .TXT	113
FIGURA NO. 96. CARGAR PUNTOS DE CONTROL.	114
FIGURA NO. 97. ACEPTACIÓN DE LA CARGA DE PUNTOS DE CONTROL.	114
FIGURA NO. 98. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PIX4D.	115
FIGURA NO. 99. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PIX4D.	115
FIGURA NO. 100. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PIX4D.	116
FIGURA NO. 101. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PIX4D.	116
FIGURA NO. 102. OPCIÓN DE REEMPAREJAR Y OPTIMIZAR.....	117
FIGURA NO. 103. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PIX4D.	117
FIGURA NO. 104. VERIFICAR QUE SÓLO EL PASO 2 ESTE SELECCIONADO.	118
FIGURA NO. 105. PARÁMETROS PARA EL PASO 2.	118
FIGURA NO. 106. PROCESAMIENTO PASO 2	119
FIGURA NO. 107. REPORTE DE CALIDAD.	119
FIGURA NO. 108. VERIFICACIÓN DE UN PUNTO CONOCIDO.	120
FIGURA NO. 109. INICIO PASO 3.	120
FIGURA NO. 110. PARÁMETROS PARA PASO 3.	121
FIGURA NO. 111. PARÁMETROS PARA PASO 3.	121
FIGURA NO. 112. VERIFICACIÓN DE SELECCIÓN PASO 3.	122
FIGURA NO. 113. REPORTE AL FINALIZAR EL PASO 3.	122
FIGURA NO. 114. ORTOFOTO.	123
FIGURA NO. 115. INTERFAZ GLOBAL MAPPER	123
FIGURA NO. 116. CARGA DE ARCHIVO CON EXTENSIÓN .TIF.....	124
FIGURA NO. 117. VERIFICACIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA EN PARTE INFERIOR DERECHA.....	124
FIGURA NO. 118. EXPORTAR ARCHIVOS.	125
FIGURA NO. 119. SELECCIÓN DEL ARCHIVO KML/KMZ PARA EXPORTAR.	125
FIGURA NO. 120. SELECCIÓN DEL ARCHIVO KML/KMZ PARA EXPORTAR.	126
FIGURA NO. 121. SELECCIÓN DEL ARCHIVO KML/KMZ PARA EXPORTAR ORTOMOSAICO.....	126
FIGURA NO. 122. RUTA DONDE SE ALMACENARÁ LA ORTOFOTO.....	127
FIGURA NO. 123. ABRIR ARCHIVO EN GOOGLE EARTH.	127
FIGURA NO. 124. ABRIR ARCHIVO EN GOOGLE EARTH.	128
FIGURA NO. 125. ABRIR ARCHIVO EN GOOGLE EARTH.	128

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1. DIFERENTES PARÁMETROS UTILIZADOS PARA OBTENER COORDENADAS PLANAS BAJO LA PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT ADAPTADA PARA EL SALVADOR.	37
TABLA 2. COORDENADAS UTILIZADAS.	64
TABLA 3. DATOS DE PUNTOS DE CONTROL FOTOGRAMÉTRICO.....	85

INTRODUCCIÓN.

El estudio de la tecnología GPS y sensores remotos en proyectos de ingeniería civil es importante debido a lo amplio y ventajoso que resulta su aplicación en distintas áreas de la ingeniería. En este trabajo en particular, se presentan distintos conceptos y ventajas que se tiene para realizar un levantamiento topográfico en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Todo este proceso se lleva a cabo a través de distintos métodos utilizando la tecnología GPS, por lo cual es importante conocer antecedentes y múltiples conceptos para comprender más a fondo las bases del funcionamiento y aplicación de esta tecnología.

Además, es importante conocer los equipos y herramientas que nos permitirán poder realizar el trabajo de la manera más eficiente posible, los cuales van desde el equipo de campo hasta el procesamiento a través de software especializados en esta área. Es por ello que se presenta una guía a modo de “manual de usuario” para que se demuestre de la mejor manera posible todo el procedimiento y ajustes que se deben realizar en el equipo y en los softwares utilizados para poder tomar los datos en campo y posteriormente procesarlos digitalmente.

Además, se realizó un levantamiento fotogramétrico con dron en toda el área de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, el cual se complementará con el levantamiento topográfico que se realizó con GPS y en algunas partes, con estación total.

Por último, se muestran los resultados obtenidos y el levantamiento fotogramétrico aplicando las tecnologías previamente mencionadas, presentando una ortofoto de toda el área de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, y el levantamiento topográfico, con sus respectivas áreas y elevaciones de una zona específica de dicha facultad.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1.ANTECEDENTES

En la actualidad nos encontramos en una época donde el avance acelerado de la tecnología permite aplicar métodos alternativos de obtención de datos. En el caso particular de la topografía se han investigado estos métodos alternativos a los ya estudiados y demostrados, con el propósito de llegar a resultados óptimos en lo referente a modelaciones de terrenos.

El levantamiento topográfico es la primera fase del estudio técnico y descriptivo de un terreno. Se trata de examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también las alteraciones existentes de éste y que se deban a la intervención del hombre (construcción de taludes, excavaciones, cantera, etc.)

La topografía es una ciencia que se utiliza en diferentes aplicaciones de la Ingeniería Civil, utilizando instrumentos y procedimientos con cuales se determinan las características topográficas, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre. También compete a la topografía el replanteo y control geométrico en obras civiles.

Los equipos topográficos y las técnicas de medición han evolucionado en el tiempo, lo cual se debe a diversos factores que han contribuido a mejorar la forma de

realizar las mediciones topográficas, los avances de la informática, electrónica, fotogrametría y el posicionamiento por satélite, que son sin duda los aspectos más relevantes que han influido en el proceso de desarrollo. Las entidades que contratan servicios topográficos exigen mayor precisión en las mediciones, en paralelo al avance de la tecnología y a la precisión que permiten los instrumentos.

Equipos como el Teodolito, el Nivel Fijo y los Distanciómetros, facilitaron grandemente los procedimientos de mediciones topográficas, la Estación Total incorporó una nueva función; la de almacenar la información automáticamente a medida se realiza el trabajo de medición. Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) hicieron posible determinar la posición de un punto en la tierra usando las señales emitidas por satélites que se encuentran girando alrededor de la Tierra.

A lo largo de la historia, diversos países han adoptado nuevas tecnologías y métodos de medición en topografía y geodesia, con el fin de establecer y actualizar aspectos limítrofes y geográficos. En El Salvador se han desarrollado diversos trabajos orientados a la determinación de la forma y dimensiones del territorio nacional, logrando establecer la primera Red Geodésica Nacional, que estaba constituida por tres arcos principales de triangulación: Arco Norte, Central y Costero. Estas redes geodésicas fueron levantadas con base a observaciones astronómicas, con equipos modernos en su época como lo eran los teodolitos en donde se tenían líneas base de longitud de 20 a 70 km, de las cuales se derivan cadenas de segundo y tercer orden.

En la actualidad estas redes geodésicas son observadas a través de GPS, que permiten la determinación de posiciones en cualquier lugar del globo terrestre en un sistema mundial de coordenadas, con precisiones absolutas de metros hasta precisiones relativas al nivel del centímetro.

En el país la institución encargada de administrar y actualizar las redes geodésicas nacionales es el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN), que en el año 1998 establece la primera Red Geodésica Nacional de primer orden con equipo satelital GPS, enmarcándola en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), densificando posteriormente redes departamentales y municipales. En el 2007 se levanta una nueva Red Geodésica, denominada SIRGAS-ES2007, la cual está compuesta por 38 estaciones distribuidas homogéneamente sobre el territorio nacional, el objetivo principal de esta nueva Red Geodésica es suministrar una plataforma de referencia moderna, precisa y confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país, garantizando que estas coordenadas estén definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para el cálculo de las orbitas de los satélites GPS, distribuidas por el Servicio Internacional del Sistema Global de Navegación por Satélite (IGS), de esta manera, los vértices de la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007, pueden ser utilizadas como estaciones de referencia y sus coordenadas junto a las efemérides satelitales del IGS, permiten obtener posiciones geodésicas referidas directamente al Marco de Referencia Terrestre Internacional o The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) vigente.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad de El Salvador posee equipos GPS de doble frecuencia y software para procesamiento de datos, sin embargo, no son utilizados en beneficio de ésta y de la comunidad estudiantil de la carrera de Ingeniería Civil, debido a que carece de personal capacitado para su enseñanza, y es necesario que se realicen investigaciones sobre la utilización de estos de manera fácil y práctica.

El propósito del estudio es conocer las ventajas que nos ofrecen las nuevas tecnologías, tales como rapidez, precisión, eliminación de errores derivados de la intervención humana en procesos como registro, anotación y traspaso de información, almacenamiento y posibilidad de modificación del resultado final. No se puede dejar de lado la importancia del criterio del profesional en la selección acertada de la ubicación de puntos de control.

La topografía ha estado evolucionando y mejorando sus resultados a pasos agigantados con el avance tecnológico en sus equipos; desde un teodolito y jalón, pasando por la estación total y prismas, hasta los GPS geodésicos; además, apoyándose con la introducción y evolución de técnicas como la fotogrametría.

Desde sus inicios la fotogrametría fue de gran apoyo para la topografía en extensas áreas de terreno o de difícil acceso, esta consistía en tomar fotos aéreas con inclinación cenital del terreno y puntos de control terrestre ubicados estratégicamente, para luego, pasar por un proceso de restitución fotográfica en gabinete hasta la obtención de la representación del terreno georreferenciado.

En la actualidad, la fotogrametría ha reemplazado la toma de fotos en avionetas tripuladas por la tecnología de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) o más conocidos como drones y el proceso de restitución fotográfica por programas de computadora de manejo intuitivo.

Los VANT fueron creados para el uso militar y con el pasar del tiempo fueron adaptándose al uso civil para la toma de fotos y videos orientados a la industria audiovisual o a la diversión; sin embargo, algunos usuarios le encontraron otros usos como la topografía y apoyándose con puntos de control terrestres y programas especializados en fotogrametría lograron obtener la representación del terreno en curvas de nivel y ortofotos georreferenciadas.

Existe un gran catálogo de modelos de VANT, pero en general, para el uso en ciencia e ingeniería se utilizan drones de menos de 25 kg, de dimensiones cercanas al metro de diámetro o inferior y típicamente con una camera para la toma de fotografías, estos disponen de un sistema de posicionado satelital y de un programa que les permite pilotarse de forma autónoma, realizando recorridos y tareas programadas. Existen dos grandes tipologías de drones: los de ala fija y los multirotores. Los multirotores, aunque tienen menor tiempo de vuelo que los de ala fija, pueden ser preferibles al poder mantenerse quietos en el aire y trasladarse lateralmente realizando fotografías frontales y oblicuas.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Generar planos topográficos de un área asignada a partir de la restitución fotogramétrica con dron, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que se encuentra en la Universidad de El Salvador.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar modelo digital de terreno a partir de las fotografías asignadas de un área de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
- Especificar los conceptos básicos de sistemas de referencia.
- Exponer los métodos de levantamiento topográfico utilizados en la generación de modelo digital de terreno.

1.4. ALCANCES

La adquisición de topografía es un elemento común e indispensable en cualquier proyecto de ingeniería civil y más aún en el caso específico de la ingeniería de vías, donde es el insumo principal tanto para el diseño geométrico como para el cálculo de volúmenes en el movimiento de tierras. Además, se utiliza en otras disciplinas complementarias como la geotecnia vial, hidrología, hidráulica y geología entre otras.

Por esta razón es importante tener en cuenta el método de adquisición de la información del terreno y la exactitud requerida para llevar a cabo los levantamientos. Actualmente se pueden identificar diversas herramientas para la captación de datos topográficos como la estación total, GPS de doble frecuencia, escáneres laser, además de imágenes satelitales y vuelos con dron, siendo los dos primeros los más utilizados en nuestro medio.

Sin embargo, con el continuo mejoramiento de la tecnología en la captación y procesamiento de imágenes aéreas, la fotogrametría digital ha tenido una evolución importante. Lo anterior se ve reflejado en la accesibilidad a vehículos aéreos no tripulados y software para el procesamiento de imágenes usadas en la construcción de ortomosaicos y elaboración de modelos digitales de elevaciones (MDE) útiles para la Ingeniería de vías en actividades tales como;

- Obtención de cartografía para el diseño vial.
- Actualización de topografía existente.

- Elaboración de modelos Geotécnicos para el análisis de estabilidad de taludes.
- Reconocimiento del terreno en lugares de difícil acceso
- Estimación rápida de movimientos de tierras.
- Seguimiento de obras viales, entre otros.

No obstante, se requiere de un rango válido de exactitud de la información dependiendo de la actividad requerida. En respuesta al problema planteado esta propuesta está orientada a establecer la calidad posicional de una restitución aerofotogramétrica usando un vehículo aéreo no tripulado y comparándola con un método convencional de mayor exactitud como lo es el levantamiento con estación total, valiéndose de estándares de calidad posicional fundamentados en procesos estadísticos.

1.5.LIMITACIONES

- Normativas vigentes (permisos, seguros, reglamentos)
- Condiciones atmosféricas no favorables (viento, temperatura, nubes, etc)
- Volar con luz Diurna solamente
- Altura de vuelo restringida, no se puede volar a más de 120 m.
- Cobertura de vuelo restringida (dependiendo del área a cubrir y tiempo de vuelo del dron a utilizar)
- En el país son pocos los profesionales capacitados en la tecnología GPS y con disponibilidad de tiempo para contribuir con asesorías técnicas en el desarrollo de la investigación.
- La toma de los PCF y la realización del vuelo fotogramétrico se dieron de forma no continua.

1.6.JUSTIFICACIÓN

La tecnología GPS ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que esta presenta en todos sus campos de aplicación resultados rápidos y eficaces. Estos campos de aplicación son fundamentales para el desarrollo humano y van desde la navegación aérea y marítima, monitoreo de actividades sísmicas, hasta las obras más vanguardistas de ingeniería.

Los dispositivos de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) han surgido como alternativa para llevar a cabo diversas aplicaciones topográficas y geodésicas de manera rápida y precisa, entre ellos los GPS de doble frecuencia que logran determinar la posición de un punto, con precisiones hasta debajo del centímetro, debido a que realiza correcciones en tiempo real partiendo de un sistema de referencia.

Dichos GPS diferenciales presentan elevados costos de adquisición y requieren personal calificado para su operación, por ende, son pocas las instituciones o empresas que cuentan con estos dispositivos, y son utilizados principalmente para aplicaciones geodésicas, mientras que los beneficios que éstos ofrecen son amplios y de mucha utilidad para levantamientos topográficos y replanteo en obras.

Los topógrafos tradicionales también pueden complementar su trabajo con un modelo topográfico generado por un Dron, el cual consiste en cambiar la forma de trabajar, no es necesario definir una serie de puntos a medir, se modela de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo.

Esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas. Se puede generar este modelo al principio del proyecto, obteniendo una escena 3D realista que se integra sin problemas en herramientas de software estándar como ArcGIS o Civil 3d.

En pocos años los Dron han revolucionado el sector, semana tras semana encontramos vídeos espectaculares de lugares remotos que habrían sido imposibles de capturar con métodos tradicionales. Han contribuido a expandir el mercado y son un complemento perfecto para los productores tradicionales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICO

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

Dentro de estos cabe distinguir los llamados sistemas locales, que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado.

2.1.1. ELIPSOIDE

Como bien se sabe, la tierra no es plana ni esférica, sino una figura geométrica que se asemeja a un elipsoide de revolución, achatado en los polos, donde el hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte, de ahí surgen conceptos como:

Elipsoide: Figura matemática que más se asemeja a la verdadera forma de la Tierra (Figura No. 1) y responde a fórmulas analíticas de manera que resulta útil para hacer cálculos geodésicos apoyándose en ella. El elipsoide es la base de la planimetría.

Los parámetros que definen un elipsoide son los siguientes:

- Semieje ecuatorial o mayor (a): longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
- Semieje polar o menor (b): longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos.

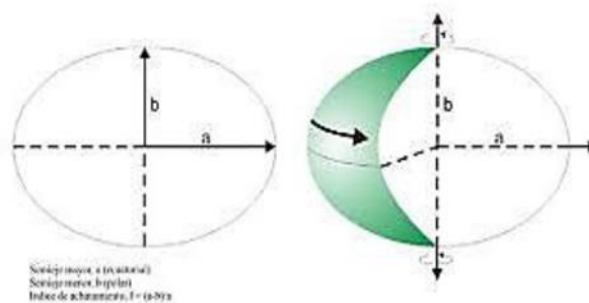


Figura No. 1. Elipsoide. Fuente: (Oviedo, 2017)

En El Salvador el elipsoide de referencia que se utilizó hasta febrero de 2017 fue el Elipsoide Clarke 1866, pero a partir de marzo del mismo año se cambió al elipsoide WGS-84.

En la actualidad el elipsoide de referencia más utilizado es el descrito en el sistema World Geodetic System 84 (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los EEUU, y que tiene como origen el centro de masas de la Tierra. Su popularidad se

debe a que es el utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite GPS. Este elipsoide es el que más se asemeja a la forma de la tierra (Figura No. 2)

Los parámetros fundamentales del elipsoide WGS-84 son los siguientes:

- **Nombre:** WGS-84
- **Origen:** Centro de masas de la tierra
- **Radio ecuatorial “a”:** 6378137.0000 metros
- **Radio polar “b”:** 6356752.3142 metros
- **Achatamiento “f”:** 1/298.257223563
- **Región de uso:** Uso mundial

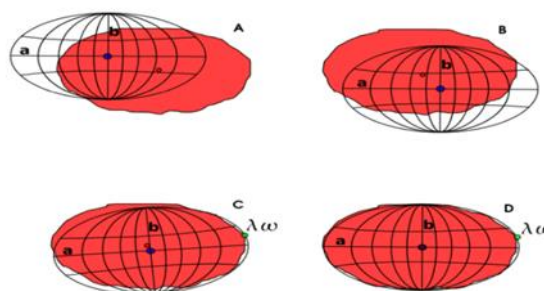


Figura No. 2. Comparación entre elipsoides y la forma de la tierra. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.1.1. EL GEOIDE

Si se desean conocer coordenadas planas de puntos sobre la tierra el elipsoide es la figura de referencia indicada, sin embargo, si lo que se desea medir son altitudes, el elipsoide no es adecuado. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70,8 %) entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio. Es por esto que se introduce una nueva figura llamada Geoide, definida como: “La superficie equipotencial del campo gravitatorio de la

Tierra que mejor se ajusta, al nivel medio global del mar”. (Ayala, A. y Bardales, M. 2012).

Geoide: Superficie (de nivel) equipotencial que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad resultante de la atracción terrestre y la fuerza centrífuga originada por la rotación terrestre (Figura No. 3), coincide con el nivel medio del mar (NMM) en un océano abierto sin perturbaciones o su extensión hipotética por debajo de las masas continentales. El geoide es la base de la altimetría.

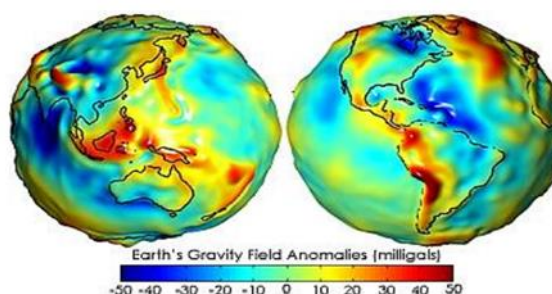


Figura No. 3. El Geoide. Fuente: (Granados, 2019)

Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geoide. (En la imagen, las zonas en color rojo son por tanto regiones del geoide con mayor elevación y las azules son las más profundas).

Además del elipsoide y el geoide existe una tercera superficie (Figura No. 4), llamada topográfica u ondulación del geoide, esta toma en cuenta el relieve de la tierra, incluyendo montañas y valles, para conocer la altura ortométrica de cualquier punto sobre la superficie topografía, se relacionan las tres superficies mediante la siguiente expresión $h = H + N$ (Figura No. 5).

Donde:

h : es la altura de un punto con respecto al elipsoide (altura elipsoidal).

N : es la altura del geoide respecto al elipsoide (ondulación del geoide).

H : la altura del punto con respecto al geoide (llamada altura ortométrica).

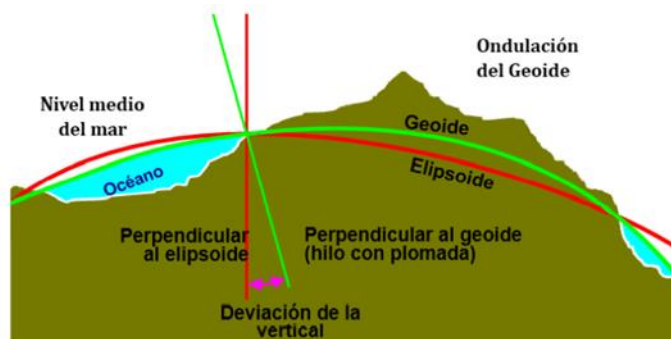


Figura No. 4. Diferentes superficies de la Tierra. Fuente: Levantamiento de campo con GPS submétrico. Fuente: (Flores, 2016)

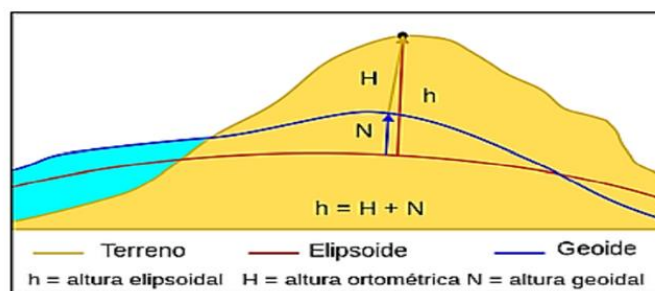


Figura No. 5. Relación entre las superficies del Elipsoide, Geoide y topografía. Fuente: (Flores, 2016)

2.1.2. DATUM

Un datum geodésico es un sistema de referencia espacial que describe la forma y el tamaño de la tierra y establece un origen para los sistemas de coordenadas.

Dos tipos principales de datum son los horizontales y los verticales.

Cada Datum está compuesto por:

- a. Un elipsoide de referencia, definido por sus parámetros a , b y f .
- b. Un punto llamado “fundamental” en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. Este punto fundamental se le define por sus coordenadas geográficas, además del acimut de una dirección con origen en el punto fundamental.
 - η : desviación en la vertical
 - ξ : desviación en el meridiano

Los Datum pueden ser globales y locales:

Datum geodésico Global: 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. (Figura No. 6).

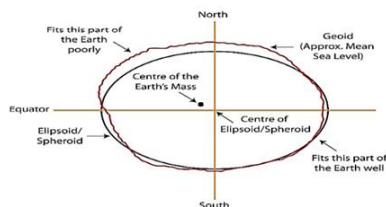


Figura No. 6. Datum global. Fuente: (Granados, 2019)

Datum geodésico Local: Existen 2 tipos de datums locales: horizontales y los verticales. Los puntos de referencia o Datums horizontales se utilizan para describir lo que típicamente pensamos que son las coordenadas X e Y.

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

Datum Local horizontal. Es el Sistema Geodésico que se usa oficialmente en una región. Emplea un elipsoide determinado que pasa por un punto específico del cual se conocen con exactitud su deflexión astronómica y su gravedad, es decir un punto del elipsoide coincide con un punto de la superficie terrestre (por ejemplo, el Datum Norteamericano de 1927 cruza la superficie terrestre en el Rancho Meades en Kansas)

Datum norteamericano de 1927

North American DATUM 1927 (NAD27): establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU) referidas el elipsoide Clarke de 1866, utilizado en la mayoría de los países de Centroamérica hasta la fecha.



Figura No. 7. Estación de triangulación Meades Ranch, EE.UU. Fuente: (Granados, 2019)

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

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente este DATUM NAD27, asociado al Elipsoide de Clarke 1866 y toda la información Geodésica y Cartográfica antigua esta referida ha dicho Datum. Es un punto en donde se hace coincidir el elipsoide y el geode (Figura No. 8), o bien en donde es conocida la desviación de la vertical y la ondulación del geode.

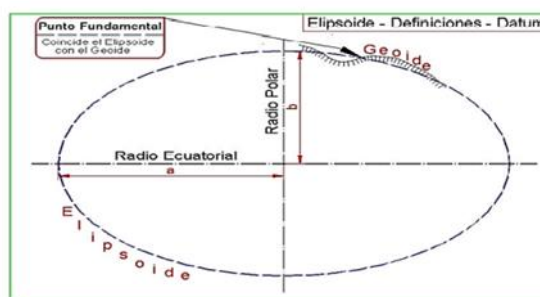


Figura No. 8. Datum local. Fuente: (Lorente, 2007)

Los Datum también se clasifican en:

Datum Horizontal: Utilizado como punto de partida para coordenadas planas de una región.

Datum Vertical: se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes.

2.1.3. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

La transformación de un espacio tridimensional en uno bidimensional es lo que se conoce como “proyección” (Figura No. 9). Las fórmulas de proyección son expresiones matemáticas que se utilizan para convertir los datos de posiciones geográficas (latitud y longitud) sobre una esfera o esferoide en posiciones sobre un plano (X, Y). Este proceso distorsiona al menos una de las siguientes propiedades: forma, distancia, superficie o dirección.



Figura No. 9. Proyección de la Tierra a un plano. Fuente: (Lorente, 2007)

El proceso de proyección conlleva distorsiones de la superficie original en tres dimensiones, al convertirse a una superficie plana de dos dimensiones. Las distorsiones ocurren con respecto a: forma, distancia, dirección y área.

Existen diversos tipos de proyecciones y se usaran cada una de ellas dependiendo de los siguientes factores:

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

La mayoría de los sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo con el tipo de superficie de proyección a utilizar: cónica, cilíndrica y plana. Las proyecciones cartográficas principales son: planas cilíndricas y cónicas (Figura No. 10).

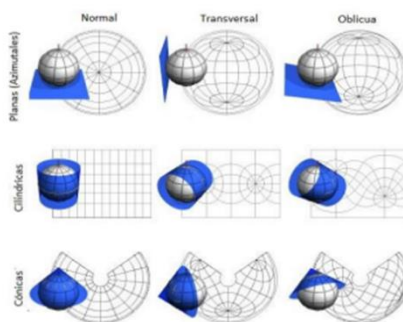


Figura No. 10. Proyecciones cartográficas principales. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.3.1. PROYECCIONES PLANAS O ACIMUTALES.

Se obtienen proyectando la superficie terrestre desde un punto llamado vértice de proyección, sobre un plano tangente a un punto de la Tierra llamado centro de proyección. La proyección mantiene sus propiedades geométricas alrededor del centro de proyección y las distorsiones aumentan conforme nos alejamos de dicho punto (Figura No. 11).

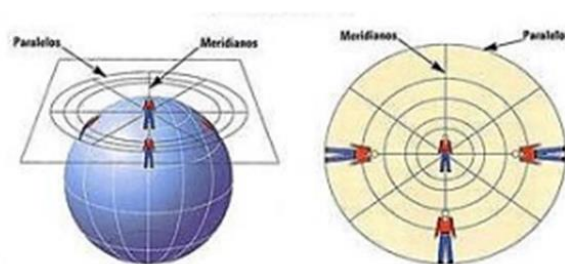


Figura No. 11. Distorsiones en proyecciones planas. Fuente: (Amaya, 2021)

El punto de contacto puede ser el Polo Norte, el Polo Sur, un punto sobre el Ecuador, o algún punto intermedio. Este punto determina el foco de proyección que definirán la orientación y las funciones a utilizar. El foco se identifica por una longitud y latitudes centrales, y las orientaciones posibles son: polar, ecuatorial y oblicuo (Figura No. 12).

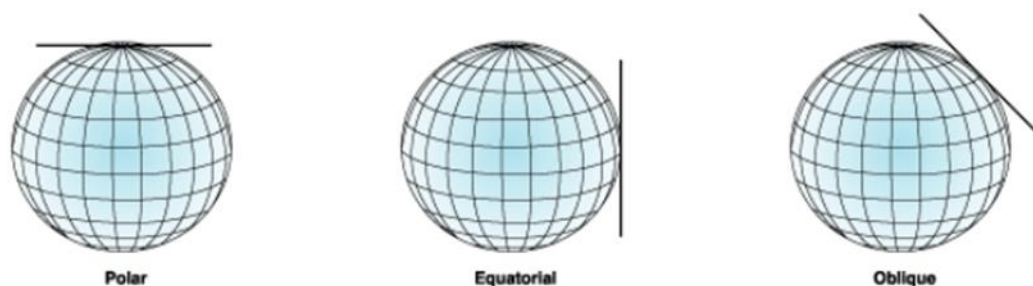


Figura No. 12. Orientaciones de proyecciones planas. Fuente: (Amaya, 2021)

Los patrones de distorsión de área y de forma son de tipo circular cerca del foco. Por esta razón, las proyecciones acimutales se acomodan mejor para la representación de regiones polares. Las proyecciones planas son de uso frecuente en la cartografía de las regiones cercanas a los polos.

Las proyecciones acimutales son diferenciables entre ellas, en parte a la utilización de diferentes focos, y en algunos casos por el punto de perspectiva. La Figura No. 13 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 No. 13. Proyecciones planas con diferente punto de perspectiva. Fuente: (Ronaldo, 2015)

2.1.3.2. PROYECCIONES CILÍNDRICAS.

Utilizan el cilindro como figura de proyección, tangente o secante a la esfera. El eje del cilindro coincide con la línea de los polos, estableciendo análogamente entre los puntos de la esfera y el cilindro una correspondencia biunívoca.

Al desarrollar el cilindro, se obtiene una representación en la que los meridianos estarán representados por rectas paralelas equidistantes y los paralelos por rectas

perpendiculares a las anteriores que se van espaciando a medida que aumenta la latitud (Figura No .14).

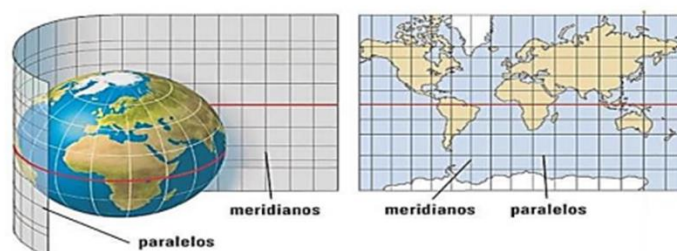


Figura No. 14. Proyección cilíndrica. Fuente (Amaya, 2021)

La proyección cilíndrica más famosa es la Proyección de Mercator que revolucionó la Cartografía, en ella se proyecta el globo terrestre sobre un cilindro.

Es una de las más utilizadas aun cuando por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones en las zonas de latitud elevada (Figura No. 15), cosa que impide apreciar en sus verdaderas proporciones a las regiones polares.

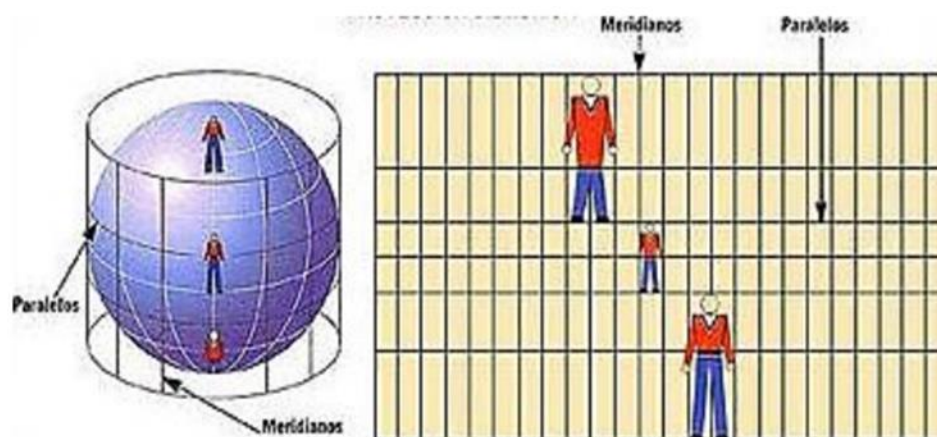


Figura No. 15. Distorsiones en proyecciones cilíndricas. Fuente (Amaya, 2021)

Las proyecciones cilíndricas también pueden ser: normales, transversales y oblicuas, como se vio en la Figura No. 10.

2.1.3.3. PROYECCIONES CÓNICAS

En este tipo, el centro de proyección es el centro de la Tierra, pero el plano de proyección es ahora la superficie interna de un cono tangente a la esfera, como si se introdujera una pelota dentro de un vaso cónico de papel. El caso más simple es el de un cono tangente a lo largo de un cierto paralelo de referencia.

Después de proyectar, se corta el cono a lo largo de una generatriz y se desarrolla, obteniéndose el patrón indicado en la Figura No. 16, en donde los meridianos son líneas rectas convergentes uniformemente espaciadas y los paralelos son círculos concéntricos alrededor del vértice del cono, con un espaciamiento variable que aumenta a medida que se avanza (en este caso) hacia las latitudes menores.

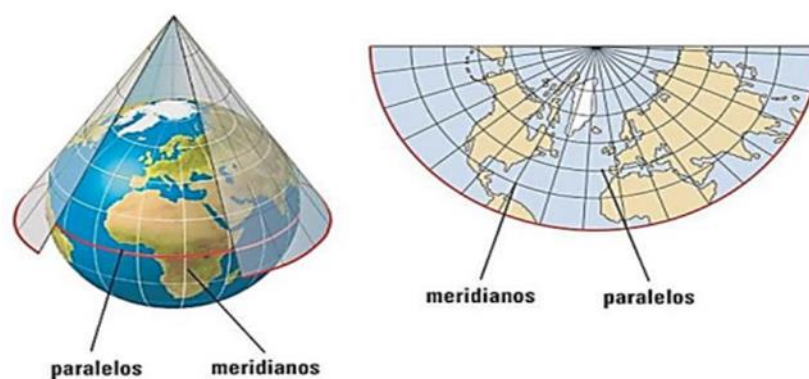


Figura No. 16. Proyecciones cónicas. Fuente (Amaya, 2021)

En general, las distorsiones aumentan al norte y al sur del paralelo de tangencia, (Figura No. 17).

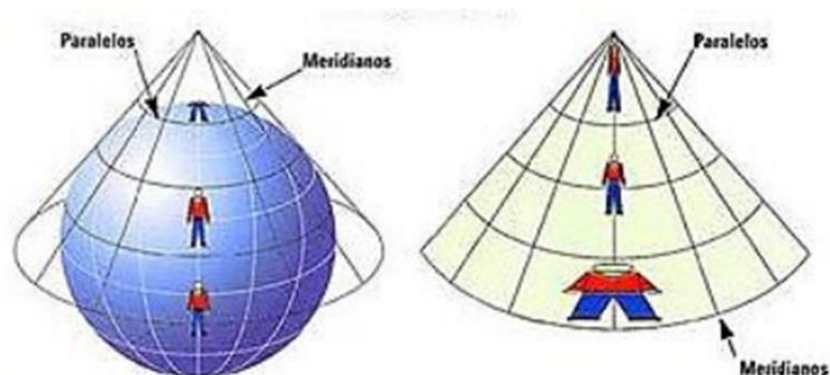


Figura No. 17. Distorsiones en proyecciones cónicas. Fuente (Amaya, 2021)

Las proyecciones cónicas pueden ser: tangentes y secantes (Figura No. 18).

Cónica tangente: La proyección cónica más simple es aquella en que el plano cónico es tangente al globo a lo largo de una línea de latitud. En una proyección dada esta línea es llamada paralelo estándar. Los meridianos se proyectan en la superficie y se unen en el ápice.

Cónica secante: Dos líneas de contacto para la superficie cónica. Estas proyecciones son llamadas secantes cónicas y están definidas para dos paralelos estándar.

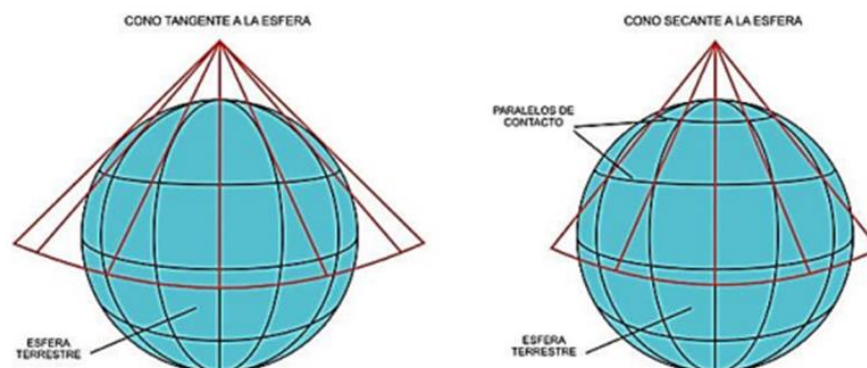


Figura No. 18. Proyecciones cónicas secantes y tangentes. Fuente (Amaya, 2021)

La proyección cónica más famosa es la Proyección Cónica Conforme de Lambert, que es una proyección secante con dos paralelos de referencia a lo largo de los cuales la escala es correcta.

2.1.3.4. PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM).

El sistema de Mercator es actualmente la base de la mayoría de la cartografía disponible para las regiones de la Tierra comprendidas entre los 84° N y los 80°S. En este sistema, la posición de cualquier punto puede ser referenciada en base al sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator System). Las coordenadas UTM pueden ser transformadas a coordenadas geográficas, de manera que un punto puede ser localizado por cualquiera de los dos sistemas.

Las coordenadas UTM son un sistema de referencia cartográfico basado en la proyección de Mercator. El sistema UTM es una construcción totalmente artificial. El mapa correspondiente a este sistema divide el globo terrestre en 60 Zonas o Husos de longitud (Figura No. 19). Cada zona se extiende desde el paralelo 84° N hasta el 80° S y tiene como límites laterales dos meridianos que distan entre sí un arco de 6 grados. Las zonas están numeradas comenzando por la Zona 1 (que comprende el huso localizado entre los 180 y los 174 grados, con referencia en Greenwich), y su numeración progresa en dirección W-E. (Andrés, P. y Rodríguez, R. 2008.)

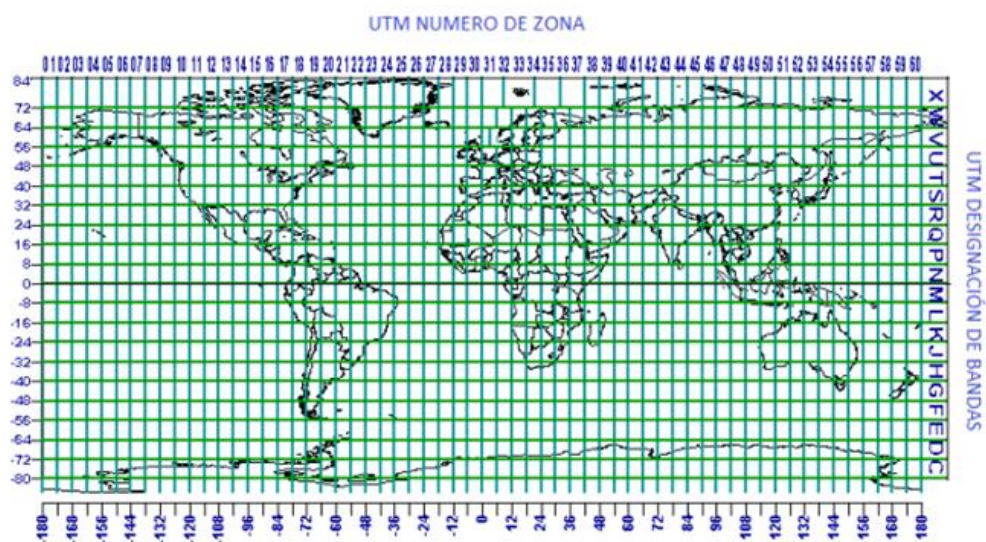


Figura No. 19. Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM). Fuente (Amaya, 2021)

En la Figura No. 19 se observa también una red de Bandas de latitud, perpendiculares a las zonas e identificadas por letras ordenadas desde la A (en el Polo Sur) hasta la Z (en el Polo Norte). Como ya se ha dicho, la proyección más adecuada para las zonas polares es la estereográfica polar, de manera que las zonas A, B o C no aparecen representadas en el mapa. No existen las letras O, I, LL, CH ni Ñ. Las bandas C a M están en el hemisferio sur y las bandas N a X en el hemisferio norte. A diferencia de las zonas de longitud, que tienen todas las mismas anchuras, las bandas de latitud son de dimensión variable, las bandas centrales tienen una altura de 8 grados cada una, mientras que la X mide 12 grados.

Para cada Zona o huso, la anchura máxima se encuentra en el ecuador y es de aproximadamente 668 Km ($6^\circ \times 111 \text{ km/grado}$). La línea central de cada zona coincide con un meridiano del sistema geodésico tradicional, que se denomina Meridiano Central (Figura 2.20). El origen de coordenadas UTM en cada zona es el punto de intersección

entre su meridiano central y el ecuador. Este origen de coordenadas recibe un valor de longitud de 500 km Este. Para la latitud, el valor asignado al origen de coordenadas es de 0 km en el hemisferio norte y de 10,000 km en el hemisferio sur. Conforme nos desplazamos desde el ecuador hacia el norte, los valores de latitud aumentan (de 0 a 10 000 km.), mientras que cuando nos desplazamos desde el ecuador hacia el sur, los valores de latitud disminuyen (de 10 000 a 0 km).

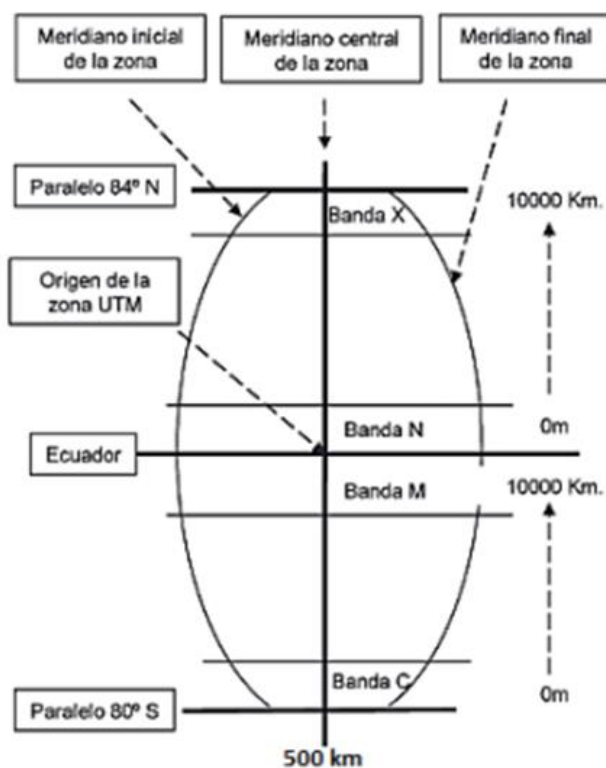


Figura No. 20. Configuración de una zona UTM. Fuente: (Rosillo, 2015)

2.1.3.5. PROYECCIÓN UTM WGS-84

El sistema de coordenadas UTM fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y el Servicio de Defensa de Estados Unidos lo estandariza para su empleo mundial en la década de 1940.

El sistema se basó en un modelo elipsoidal de la Tierra. Para esto inicialmente se usó el elipsoide Clarke 1866 como modelo de base de proyecciones UTM en 48 estados del país Norte Americano. En la actualidad se utiliza el elipsoide WGS-84 como modelo de base de proyecciones UTM, por lo que este sistema es totalmente compatible con el Sistema de Posicionamiento Global GPS.

Este sistema se basa en la proyección del Elipsoide WGS-84 a un sistema cilíndrico (Figura No. 21). Este cilindro es tangente en un meridiano origen (meridiano central) y los puntos del elipsoide se proyectan sobre dicho cilindro, de forma que, al desarrollar el cilindro, el Ecuador se transforma en una recta que se toma como eje X, y el meridiano central se transforma en otra recta perpendicular a la anterior que será el eje Y.

El resultado de este sistema de proyección es una cuadrícula que permite referenciar puntos sobre la superficie terrestre. La unidad de medida básica de esta CUADRÍCULA es el metro.

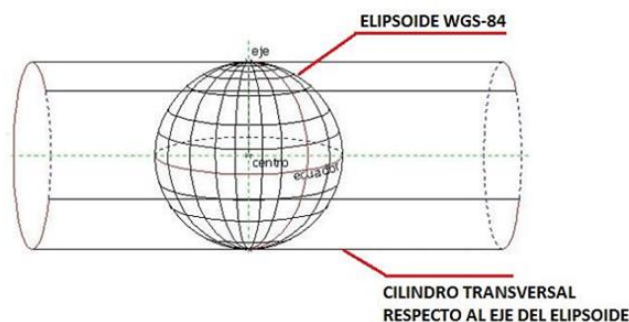


Figura No. 21. Cilindro tangente transversalmente al elipsoide WGS-84. Fuente: (Granados, 2019)

2.1.3.6. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT

Proyección Conforme

La proyección conforme se caracteriza por mantener la forma de los objetos o superficies que se muestran en un mapa. En esta proyección las relaciones angulares no son distorsionadas y por lo tanto los objetos o superficies mantienen en el mapa la forma que tienen en la superficie terrestre. Las proyecciones de tipo conforme tienen meridianos y paralelos que se cruzan en ángulo recto, tal y como sucede en el globo terráqueo.

La desventaja de este tipo de proyecciones es que distorsionan fuertemente el tamaño de las superficies proyectadas cartográficamente y como consecuencia la escala no es constante a lo largo y ancho del mapa.

Por ejemplo, en un mapa mundi las superficies en altas latitudes se muestran más grandes de lo que realmente son. Por ejemplo, en la proyección cilíndrica de Mercator Groenlandia aparece mucho más grande que África, Australia y América del Sur. Sin

embargo, en la realidad África es 14 veces más grande que Groenlandia, América del sur 9 veces más grande y Australia 3.5 veces más grande (Figura No. 22). (Fallas, J. 2008).

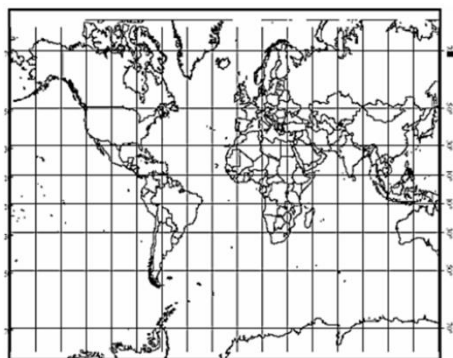


Figura No. 22. Proyección de Mercator. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.3.7. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

Esta proyección cartográfica fue presentada por Johann Heinrich Lambert en 1772, y consiste en la superposición de un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo (Figura No. 23). En esta proyección se muestran los meridianos como líneas rectas equidistantes que convergen en uno de los polos.

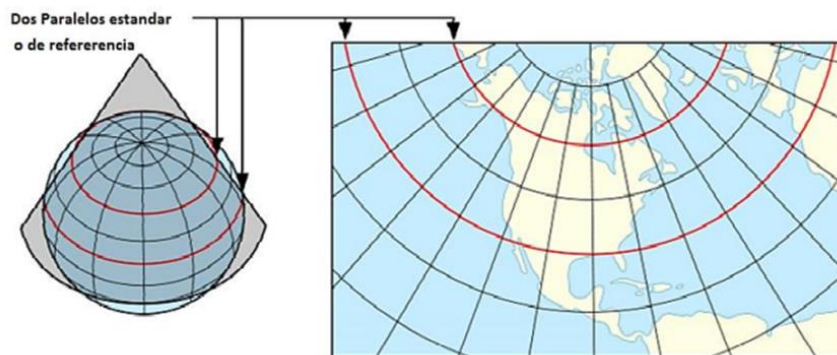


Figura No. 23. Superposición del cono sobre el globo terráqueo. Proyección Cónica Conforme de Lambert. Fuente: (Amaya, 2021).

Los ángulos entre los meridianos en la proyección son más pequeños que los ángulos correspondientes en el globo terráqueo.

Los paralelos son arcos circulares concéntricos desigualmente espaciados y centrados en el Polo, de tal forma que el espaciamiento entre los paralelos aumenta según se alejan del polo. En la Figura No. 24 se ilustra la proyección cartográfica de la tierra utilizando este sistema de proyección.

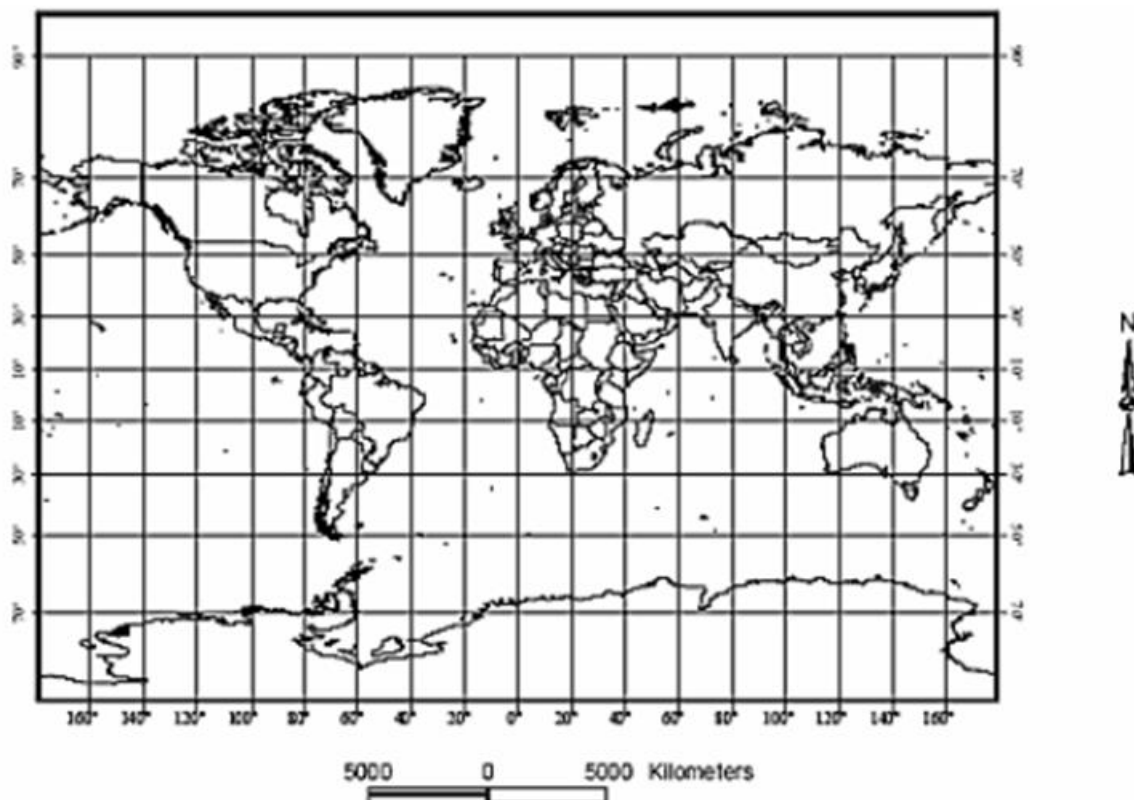


Figura No. 24. Proyección Lambert Conforme Cónica. Fuente: (Amaya, 2021)

Al utilizar esta proyección cartográfica, que utiliza un cono, el cual se superpone sobre la esfera terrestre y la intercepta en dos paralelos de la misma, se minimiza la distorsión proveniente de proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los dos paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos. Como el nombre lo indica, esta proyección es conforme.

La escala es verdadera a lo largo de dos paralelos estándar, y es constante a lo largo de cualquier paralelo determinado. La proyección cónica conforme de Lambert se utiliza ampliamente para la cartografía a gran escala de las regiones con un eje Este-Oeste pronunciado y en regiones de latitud media. Es habitual en muchos países para mapas a escala 1:500.000, así como para las cartas aeronáuticas a una escala similar.

En cuanto al método de proyección se puede decir que es pseudo-geométrico pues los paralelos se representan por arcos de circunferencia concéntricos en el polo, y los meridianos por rectas convergentes al mismo, pero la ley de la proyección supone expresiones matemáticas complejas, y en la actualidad el procedimiento para realizar los cálculos matemáticos que conllevan estas proyecciones cartográficas consiste en utilizar software computacional avanzado.

2.1.4. SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS-ES2007

El Salvador al adoptar el sistema de referencia mundial WGS-84 a través de una red de densificación nacional SIRGAS-ES 2007, al realizar mediciones con GPS y obtener coordenadas geográficas WGS-84, ya no será necesario tomar en cuenta parámetros fundamentales de transformación Molodensky (T_x, T_y, T_z), debido a que las mediciones

satelitales usan el Datum WGS-84 (Global) y la cartografía de nuestro país estuvo referida al Datum NAD-27 (Local) asociado al elipsoide Clark 1886, dichos parámetros ayudaban a pasar de un Datum Global a uno Local, fueron calibrados logrando obtener una proyección Lambert NAD27 3 parámetros El Salvador, pero actualmente estos parámetros adoptan el valor de $T_x=0$, $T_y=0$, $T_z=0$ ya que por la entrada en vigencia de SIRGAS-ES2007 toda nuestra cartografía debe estar referenciada al datum WGS-84 y la proyección a utilizar es la Cónica Conformal de Lambert (2 paralelos). Ver tabla 1.

Como se expuso anteriormente dicha proyección resulta ventajosa para países orientados de Este- Oeste y cercanos al ecuador, y esta viene acompañada de ciertos parámetros para obtener coordenadas planas. Es importante resaltar que gracias a SIRGAS-ES2007 el país cuenta con un marco de referencia que permite obtener mediciones más precisas y por ende las proyecciones deben tomar en cuenta dicho marco de referencia para evitar algunas distorsiones.

Para realizar las transformaciones de coordenadas geográficas a planas Lambert es necesario definir:

- El datum WGS-84
- El elipsoide WGS-84 con sus parámetros fundamentales.
- Falso Norte y Falso Este, estos valores se refieren a un sistema de coordenadas ficticio con el fin de evitar valores negativos en las coordenadas planas. El eje y es asumido y el eje x representado por el ecuador.
- Sistema de coordenadas cartográficas resultante.

Este último requisito se refiere a las coordenadas resultantes de la transformación, es decir donde se definen los requerimientos para emplear la proyección cónica conforme de Lambert.

En la tercera columna de la Tabla 1 se presentan todos los valores de los parámetros adaptados al país bajo la proyección Lambert SIRGAS-ES2007 a utilizar para la conversión de coordenadas, los cuales son indispensables en cualquier software que se utilice para dicho fin.

Tabla 1. Diferentes parámetros utilizados para obtener coordenadas planas bajo la proyección cónica conforme de Lambert adaptada para El Salvador. Fuente: (Amaya, 2021)

Proyección	Lambert NAD-27 Centro América	Lambert NAD-27 3 parámetros ES	Lambert SIRGAS- ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a NAD27	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a NAD27	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a SIRGAS-ES2007/ITRF/WGS84
Elipsoide Semieje mayor Semieje menor Achatamiento Excentricidad	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e ² = 0.006 768 657 997 291	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e ² = 0.006 768 657 997 291	GRS80/WGS-84 a = 6 378 137 m b = 6 356 752.314 14 m 1/f = 298.257 222 101 e ² = 0.006 694 380 0229
Parámetros de la proyección Falso Este Falso Norte Paralelo origen Meridiano Origen 1-Paralelo Estándar	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27). 13° 19' N (valor en NAD27).	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27). 13° 19' N (valor en NAD27).	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS) 88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS). 13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS).
2-Paralelo estándar Factor de escala en meridiano origen.	14° 15' N (valor en NAD27). 0.99996704	14° 15' N (valor en NAD27). 0.99996704	14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS). 0.99996704
Datum	NAD 27 Centro América Tipo Molodensky: (bidimensional) Tx= 0 Ty= 125 Tz= 194	NAD 27 Tipo Molodensky: (bidimensional) Tx= 0 Ty= 105.5 Tz= 197.2	WGS-84 Tipo Molodensky: (Tridimensional Geocéntrico) Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0
Resultados	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 Centro América	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 3 Parámetros ES	Coordenadas planas N y E referidas a SIRGAS-ES2007.8

Es importante destacar que los paralelos y meridianos de origen se refieren, aquellos que pasan por nuestro país y los paralelos estándares son los que se determinaron para formar el marco de referencia (Figura No. 25) y obtener coordenadas horizontales más precisas, dichas coordenadas se denominan Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007 (X, Y).

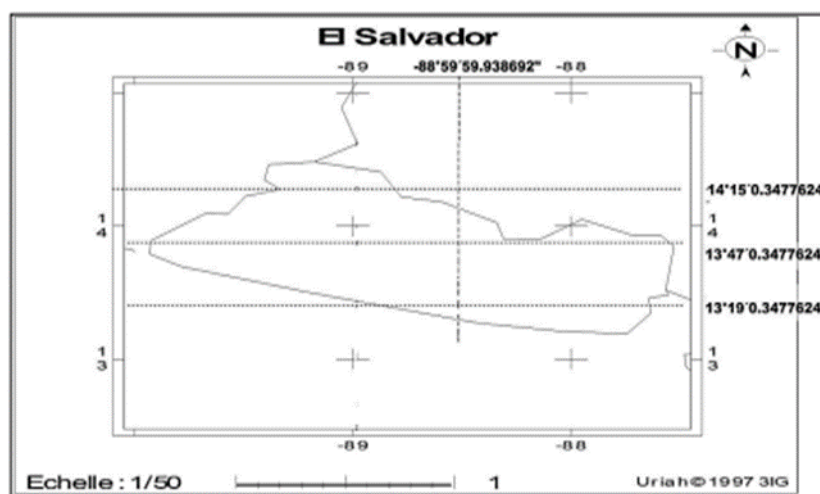


Figura No. 25. El Salvador enmarcado por los paralelos y meridianos requerido para transformar coordenadas geográficas WGS-84 a Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007. Fuente: (Granados, 2019)

2.1.5. LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS CON GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite, como los son el GPS, GLONASS y el reciente GALILEO, quienes proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma, es decir, que son sistemas capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y tiempo. Estos sistemas de navegación por satélite constituyen, hoy por hoy, unos de los sistemas más usados y con mayores expectativas de futuro.

2.1.5.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

La era de la Geodesia Espacial fue motivada por la competencia a nivel de tecnología espacial entre la URSS y USA. Sin embargo, fue la URSS quien la dio por iniciada el 04 de octubre de 1957 con el lanzamiento y puesta en órbita del primer satélite artificial de la Tierra, el Sputnik I. Posteriormente se observó que analizando el desplazamiento Doppler de las señales radiodifundidas por el Sputnik I desde estaciones de posición conocida, era posible establecer la órbita del satélite. Esto permitió el planteo inverso, es decir, si la órbita era conocida previamente, sería posible obtener la posición de un receptor en una ubicación cualquiera. Para ello habría que analizar las señales recibidas de observaciones realizadas durante diferentes y suficientes pasos del satélite. Durante la década siguiente las investigaciones se orientaron a desarrollar y perfeccionar los métodos básicos de observaciones satelitales y de cálculo de órbitas, encaminados a implementar sistemas de posicionamiento y de determinación del campo de gravedad terrestre, lo que permitió crear el primer sistema de posicionamiento geodésico.

El sistema GPS o Sistema de Posicionamiento Global es un sistema compuesto por una red de 24 satélites denominada NAVSTAR (Navigation System Time and Ranging), situados en una órbita a unos 20,200 kilómetros de la Tierra, y unos receptores GPS. Su objetivo fundamental es la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto a un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse bajo cualquier condición meteorológica y en cualquier momento del día.

La red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América y está gestionado por su Departamento de Defensa.

2.1.5.2. CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA GPS.

El programa NAVSTAR GPS, está compuesto por tres segmentos que son:

- Segmento Espacial.
- Segmento de Control.
- Segmento de Usuario.

2.1.5.2.1. Segmento Espacial

Está constituido por la constelación de satélites NAVSTAR. Dicha constelación se compone de una red de 24 satélites en órbita sobre el globo, a una altura de 20,200 kilómetros y con trayectorias sincronizadas de tal manera, que proporciona cobertura con 4 a 8 satélites por encima de cualquier horizonte, a cualquier hora del día y en cualquier parte del mundo. Para ello la constelación se reparte en 6 planos orbitales.

En cada órbita se sitúan 4 satélites con una separación de 90° entre cada uno de ellos. Las órbitas están orientadas de forma que hay una a nivel del Ecuador, dos órbitas formando 55° con el Ecuador y las 3 restantes son polares y equidistantes entre sí.

El periodo de revolución es de 12 horas siderales o sea 11 horas 58 minutos. Cada satélite hace dos veces la vuelta de la Tierra en 24 horas siderales, o sea 23 horas 56 minutos en nuestra percepción temporal.

Para poner en órbita los satélites se utilizan cohetes Atlas F y MLV Delta 2.

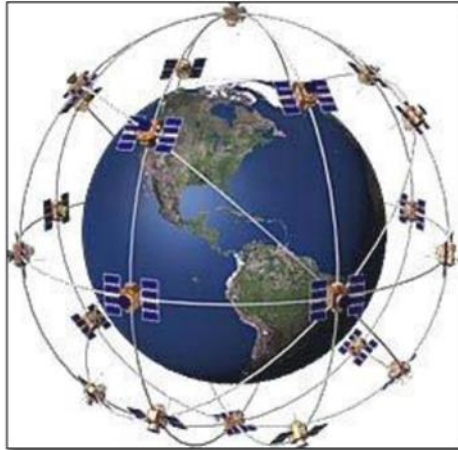


Figura No. 26. Distribución del Segmento Espacial. Fuente: (Amaya, 2021)

La identificación de los satélites puede hacerse de varias formas: Por el número NAVSTAR, que es el número de orden de lanzamiento, por el número de órbita y la posición que ocupa en ella, por el número de catálogo NASA, por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento, el número de lanzamiento en el año y una letra según tipo. Pero la forma generalizada de identificarlos es por su PRN o Ruido Pseudo-Aleatorio, que es característico y exclusivo de cada satélite.

Las funciones que tienen que asegurar estos satélites GPS son las siguientes:

- Mantener una escala de tiempo muy precisa.
- Emitir dos señales a baja potencia y secuencias de código de Ruido PseudoAleatorio, sobre las dos frecuencias específicas del sistema: $L1 = 1575.42$ MHz y $L2 = 1227.60$ MHz.
- Recibir y almacenar las informaciones que vienen del segmento de Control.

Efectuar maniobras orbitales limitadas en función de las órdenes emitidas por el Segmento de Control. Retransmitir informaciones a la Tierra.

2.1.5.2.2. El Segmento de Control

Denominado internacionalmente como OCS por sus siglas en inglés, el Segmento de Control Operacional, es el encargado de realizar las funciones de operación y monitorización del GPS. A través del seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR. El monitoreo constante y riguroso de la constelación, garantiza que las inconsistencias sufridas por las órbitas a causa de fuerzas irregulares como la variación del campo gravitatorio, variaciones en la presión de radiación solar, etcétera, serán corregidas oportunamente.

Este segmento está integrado por una Estación de Control Maestra (MCS), Estaciones Monitoras (MS) y Antenas Terrestres (GA). Para la constelación NAVSTAR, en un principio había cinco estaciones de seguimiento, distribuidas homogéneamente en longitud por la superficie terrestre. Dichas estaciones eran: Falcon en Colorado Springs, Hawaii, Kwajalein, Diego García e Isla Ascensión. Posteriormente se incluyó la estación de Cabo Cañaveral en la Florida, y en septiembre de 2005 se añadieron seis estaciones más pertenecientes al NIMA (National Imagery and Mapping Agency): Quito, Washington, Buenos Aires, Hermitage, Bahrain y Smithfield (figura No. 27).

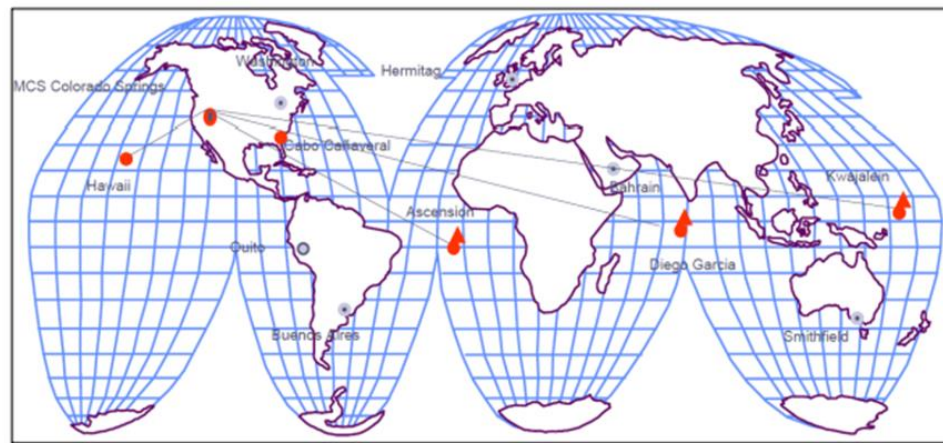


Figura No. 27. Estaciones de Control. Fuente: (Amaya, 2021)

ESTACIÓN MAESTRA DE CONTROL (MCS).

Localizada en la base aérea Falcon en Colorado Springs, se mantiene en operación permanente y es responsable de todos los aspectos de control de la constelación, entre los que incluye:

- Monitorización y control de todos los satélites.
 - Mantenimiento y solución de problemas en los distintos satélites.
 - Monitorización y control del cumplimiento del estándar de posicionamiento GPS.
- Actualización de los mensajes de navegación necesarios para mantener los requisitos de precisión en el sistema.

2.1.5.2.3. El Segmento de Usuario

Está constituido por todos los receptores GPS y sus programas para procesamiento de datos Debido al continuo desarrollo y evolución que ha experimentado la tecnología GPS, actualmente es posible encontrar en el mercado un número ilimitado de receptores, lo cual dificulta la realización de una descripción general de los mismos, sin embargo, todo receptor debe poseer de manera imprescindible los siguientes elementos:

Antena: Verdadero "sensor". Tiene como objetivo convertir la radiación electromagnética procedente de los satélites en señal eléctrica y viceversa. La misión de la antena con su preamplificador es convertir la señal electromagnética recibida en una corriente eléctrica y amplificarla para que pueda ser tratada en la etapa de radiofrecuencia.

Sección de Radiofrecuencia RF: Comúnmente conocida con el nombre de "canales". Su objetivo es recoger la señal eléctrica de los satélites que llega desde la antena y seguirla en todo momento por uno o varios canales.

Microprocesador: Controla la operación del receptor incluyendo adquisición y procesamiento de la señal y decodificación del mensaje de navegación. Otras funciones adicionales son el cálculo de posiciones absolutas, velocidades, rumbos y distancias, conversiones de datums o sistemas de referencias etc.

Oscilador: Es el encargado de generar la frecuencia patrón para el control del reloj y réplica de códigos y longitudes de onda GPS.

Fuente de alimentación: Elemento encargado de aportar la energía eléctrica para los demás componentes del receptor.

2.1.5.3. TIPOS DE RECEPTORES GPS

Para realizar una clasificación de los diversos tipos de receptores, se deben tomar en cuenta dos factores sumamente importantes y que están íntimamente relacionados; estos factores son: La finalidad –es decir la naturaleza del trabajo o actividad para la que serán utilizados y la precisión con que se necesite obtener los resultados.

Atendiendo a estos factores podemos clasificar los receptores en: Navegadores, Geodésicos de una frecuencia y Geodésicos de doble frecuencia.

2.1.5.4. NAVEGADORES.

Son receptores pequeños, portátiles y autónomos que resultan extraordinariamente útiles para cualquier tarea de navegación, orientación, seguimiento de rutas, almacenamiento de puntos para posteriores estudios, etc. (Figura No. 28).

Miden distancias a partir de la medición del tiempo de trayecto de la onda del emisor al receptor, lamentablemente esta medición es poco precisa, a causa de la poca estabilidad de los relojes de los receptores y a las variaciones de la velocidad de propagación de las ondas. Proporcionan en tiempo real la posición del receptor con una precisión de entre 5 y 10 metros. Debe tenerse en cuenta que no son aptos para la aplicación de ninguna técnica de tipo diferencial.



Figura No. 28. Receptores de Navegación. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.5.4.1. Receptores de GPS de una frecuencia

También conocidos como receptores GPS geodésicos de una frecuencia. Son dispositivos de posicionamiento que operan en modo diferencial, es decir, con dos receptores al mismo tiempo; uno conocido como BASE y el otro como ROVER o MOVIL (Figura No. 29). Se dice que son de mono frecuencia debido a que estos receptores procesan la señal de código y reciben únicamente la onda portadora L1, la precisión aumenta considerablemente respecto a los anteriores alcanzando hasta el orden del centímetro, lo que nos permite utilizarlo en aplicaciones topográficas. Otras de las características que poseen este tipo de receptores son:

- Llegan a precisiones submétricas en distancias de 5 km a 10 km entre los dos receptores.
- Tiempos altos de observación.
- Con o sin opción RTK.

- Utilizado en trabajos topográficos como densificaciones de redes, apoyos fotogramétricos, levantamiento de puntos.



Figura No. 29. Receptor BASE y MOVIL de GPS geodésico de una frecuencia. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.5.4.2. Receptores de GPS de doble frecuencia.

También llamados receptores geodésicos de doble frecuencia (Figura No. 30), son dispositivos que poseen similares características al anterior, estos procesan la señal de código, así como ambas portadoras L1 y L2, logrando corregir ciertos errores, especialmente aquellos que se refieren a la dispersión de la señal en la Ionósfera.

Trabajan en tiempo real o en post proceso alcanzando precisiones del orden de $5\text{mm}+1\text{ppm}$ y disminuyendo los tiempos de observación.

Se utilizan en redes topográficas y geodésicas, redes de control de deformaciones y control fotogramétrico, con tiempos de observación más cortos que en el caso anterior y distancias mayores de 20 km.



Figura No. 30. Receptor GPS geodésico de Doble Frecuencia. Fuente: (Amaya, 2021)

2.1.6. MÉTODO REAL KINEMATIC TIME (RTK)

La metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de dar precisiones aceptables.

El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo se sitúa sobre un punto de coordenadas conocidas. Este vértice se denomina como vértice de referencia.

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades o errores en el mismo instante de la toma de datos. A partir de la observación satelital de la estación de referencia se calculan los errores de la medición y las correcciones se envían de forma instantánea al receptor móvil, por lo que las coordenadas obtenidas en tiempo real en este receptor son las definitivas y no es necesario el postproceso.

La comunicación entre el receptor de referencia y el receptor móvil es posible gracias al sistema de telecomunicaciones de radio frecuencia. Para evitar problemas de comunicación entre receptores es recomendable elevar la antena del receptor de referencia lo máximo posible, por lo que se recomienda previamente establecer un punto de referencia de primer orden con la técnica de medición estática en sitios elevados cercanos a la zona donde posteriormente se realizará la medición con la técnica RTK (Azoteas de edificios, lomas, etc.) (Figura No. 31).



Figura No. 31. Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK. Fuente: (Amaya, 2021)

El procedimiento para efectuar el levantamiento con equipos GPS en tiempo real requiere de estacionar el equipo fijo (base) en la estación de referencia y se introducen las coordenadas de esta. El receptor enviará las correcciones al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

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

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

- **Distancia entre equipos receptores GPS:**

La longitud de las líneas bases no debe exceder de 10 km, dependiendo de la potencia o alcance del radio.

- **Tiempo de medición:**

De 1 a 5 segundos cuando la señal de radio frecuencia entre el receptor móvil y el fijo se transmita sin interferencias.

- **Precisión:**

1 a 2 cm + 2 ppm

- **Parámetros por considerar en esta técnica de medición:**

- ✓ Intervalo de Grabación: 1 Seg.
- ✓ Máscara: 10°
- ✓ Mínimo de Satélites: 4
- ✓ Tiempo mínimo de Observación: de 1 a 5 seg.

2.2. TOPOGRAFÍA

La topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. La topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Sin su conocimiento no podría el ingeniero o arquitecto realizar sus proyectos. Sin un buen plano topográfico no es posible proyectar debidamente un edificio o trazar un fraccionamiento, ya que en principio la topografía ayuda a determinar los linderos de propiedad con sus divisiones interiores, la localización de vialidades y servicios municipales; la configuración del relieve del terreno con sus montes, valles, barrancos,

bosques, pantanos, etc. y en general del conocimiento de todas aquellas particularidades del terreno necesarias para la implantación de un proyecto en el sitio designado.

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

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

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

2.2.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Se define como tal el conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfico a plano. Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico. Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota. Para realizar levantamientos topográficos se necesitan varios instrumentos, como el nivel y la estación total. El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, deslindes, amojonamientos y demás.

2.2.1.1. MÉTODO POR RADIACIÓN

La radiación es un método Topográfico que permite determinar coordenadas (X, Y, H) desde un punto fijo llamado polo de radiación. Para situar una serie de puntos A, B, C,... se estaciona el instrumento en un punto O y desde él se visan direcciones OA, OB, OC, OD..., tomando nota de las lecturas acimutales y cenitales, así como de las distancias a los puntos y de la altura de instrumento y de la señal utilizada para materializar el punto visado.

Los datos previos que requiere el método son las coordenadas del punto de estación y el acimut (o las coordenadas, que permitirán deducirlo) de al menos una referencia. Si

se ha de enlazar con trabajos topográficos anteriores, estos datos previos habrán de ser proporcionados antes de comenzar el trabajo, si los resultados para los que se ha decidido aplicar el método de radiación pueden estar en cualquier sistema, estos datos previos podrán ser arbitrarios.

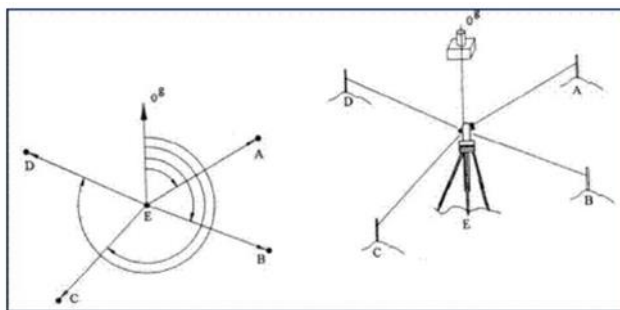


Figura No. 32. Método por radiación. Fuente: (Amaya, 2021)

2.2.1.2. MÉTODO POR POLIGONACIÓN

El método de Poligonación consiste en el levantamiento de una poligonal. Una poligonal es una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones de la poligonal) y lados que unen dichos vértices. Los vértices adyacentes deben ser intervisibles. El levantamiento de la poligonal comprende la medición de los ángulos que forman las direcciones de los lados adyacentes (o los rumbos de estos lados) y las distancias entre los vértices.

Si las coordenadas de la primera estación son las mismas que las de la última, entonces la poligonal es cerrada. En cambio, si la primera estación no es la misma que la última, la poligonal es abierta. Una poligonal cerrada tiene controles angulares y lineales y por lo tanto los errores de las mediciones pueden corregirse o compensarse. Lo mismo

sucede en una poligonal abierta cuando la primera y la última estación tienen coordenadas conocidas o están vinculadas a puntos de coordenadas conocidas. En cambio, si las coordenadas del primer y último vértice son desconocidas, la poligonal no se puede controlar ni compensar. Si se conocen las coordenadas solamente del primer vértice de una poligonal abierta, se dice que la poligonal está vinculada, pero no ofrece controles.

2.3. FOTOGRAMETRÍA CON DRON

La fotogrametría es una disciplina que permite obtener información métrica de un objeto a partir de su fotografía. Básicamente consiste en establecer relaciones geométricas entre un objeto, su posición y su imagen, apoyándose en la formación de modelos 3D generados a partir de fotografías en 2D. Fundamentalmente consiste en establecer relaciones matemáticas de la geometría proyectiva apoyándose en el sentido de visión estereoscópica que posee el ser humano. Desde sus inicios, hasta la actualidad, la fotogrametría ha evolucionado a la par con la tecnología, empezando desde la fotogrametría analógica, pasando posteriormente a la fotogrametría analítica y llegando a lo que conocemos actualmente como fotogrametría digital. La fotogrametría se clasifica en dos tipos; terrestre y aérea (McGlone et al., 2004): La fotogrametría terrestre tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología, mientras que en la fotogrametría aérea se utilizan fotografías tomadas mediante cámaras abordo de una aeronave o plataforma orbital. Las fotografías se clasifican de acuerdo al ángulo de inclinación de la cámara, pueden ser oblicuas o verticales (Lillesand et al., 1987). En una fotografía oblicua el plano de la imagen está inclinado, mientras que en una fotografía vertical el plano de la

imagen es aproximadamente horizontal, éstas últimas son las más utilizadas en fotogrametría aérea.

Otra clasificación que puede tener la fotogrametría es de acuerdo al tipo de tratamiento o el tipo de instrumental utilizado, así se tiene: Fotogrametría analógica, la cual se basa en la utilización de aparatos de restitución analógicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. También se tiene la fotogrametría analítica, la cual da inicio con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Por último, se tiene la fotogrametría digital, la cual es la que se utiliza actualmente y emplea el uso de computadores y softwares para dar origen a los modelos digitales del terreno, 3D, etc.

La información generada a partir de una restitución fotogramétrica, se representa como datos de elevación en un formato digital (DEMs), los cuales son la representación digital del terreno y existen en diferentes formatos, los más comunes son: redes irregulares trianguladas (TIN – Triangular Irregular Network), mallas regulares, curvas de nivel, entre otros. Un DEM suele describirse como una matriz de imagen en la cual el valor de cada pixel es asociado a una altura topográfica específica (Sulebak, 2000). Generalmente los DEM sirven como base de referencia en los sistemas de información geográfica (SIG).

Hoy en día existen diferentes tecnologías capaces de adquirir información del relieve del terreno, entre éstas se cuentan, por ejemplo, la tecnología LiDAR (Light

Detection And Ranging) y la interferometría de radar (IFSAR), así como el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicles) los cuales pueden estar equipados con cámaras digitales no calibradas y tecnología GPS Sin embargo algunas de estas tecnologías presentan desventajas en cuanto a costos de operación y limitaciones en su aplicación, realizaron estudios y encontraron que los datos derivados de UAV pueden alcanzar mayores resoluciones espaciales en el terreno, así como una precisión adecuada y muy cercana a la obtenida por el método GPS Tiempo Real Cinemático (RTK).

El objetivo es producir una nube densa de puntos 3D georreferenciados que cubran toda la zona traslapada. La restitución tiene como propósito acelerar el método de ejecución y la calidad con que se lleva a cabo un levantamiento topográfico tradicional.

2.4. TIPOS DE MODELO DIGITALES

2.4.1. MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIE

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la (Tierra desnuda) 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.

2.4.2. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

El DEM se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie terrestre Los mapas derivados de estos trabajos son creados generalmente utilizando softwares de la familia CAD es decir dibujo

asistido por computadora (por sus siglas en inglés Computer Assisted Drawing), éstos son la solución a los problemas de datos e información geoespacial. Se debe mencionar que la calidad del DEM depende directamente de la precisión del equipo y el número de puntos medidos. Para lograr un levantamiento preciso y detallado es necesario recopilar el mayor número de puntos sobre la superficie, lo que consume tiempo y requiere de mucho esfuerzo. Por lo general estos productos no alcanzan un buen nivel de detalle ni la calidad de la superficie es suficiente realista para describir el terreno mapeado. Las aplicaciones más comunes de estos levantamientos en ingeniería son en estudios para proyectos de rutas, autopistas, presas, canales, acueductos, oleoductos, gasoductos, obras de arquitectura, relajamientos catastrales, estudios geológicos, predios agrícolas, caracterización de uso de suelo.)

En este trabajo se propone hacer uso de técnicas de restitución fotogramétrica digital para generar información altimétrica mediante el uso de DEM, así como de información planimétrica mediante la generación de ortofotos digitales. Estos levantamientos se apoyan en el uso de la fotografía aérea vertical y en la implementación de procesos de restitución fotogramétrica digital

2.4.3. MODELOS DIGITALES DE 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

Los MDT se pueden dividir según el tipo de red utilizado:

- red cuadrada/rectangular;
- red hexagonal;
- red triangular regular;
- red triangular de otro tipo.

En función del tipo de red, varía la representación informática del MDT. En el caso de redes rectangulares, se pueden utilizar cuadros, pero en el resto de casos, las estructuras de datos son más complejas. Datos topográficos. 1.-La numeración 2.-Norte 3.-Este 4.-Cota 5.-Descripción

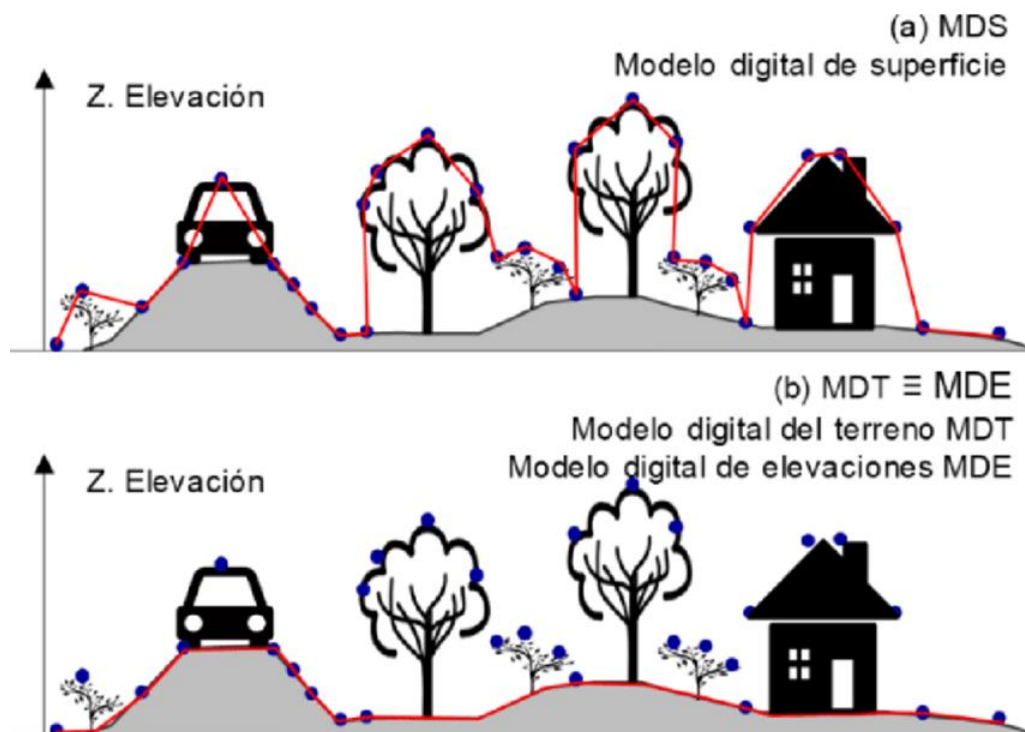


Figura No. 33. Ejemplo de modelo tipo de modelo utilizado. Fuente: (Amaya, 2021)

CAPÍTULO III: OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO.

3.1. OBTENCIÓN DE DATOS CON ESTACIÓN TOTAL

De manera auxiliar, se optó por realizar un levantamiento con estación total para complementar el levantamiento fotogramétrico obtenido mediante drones. En este caso, los puntos que se consideraron en el levantamiento topográfico fueron los senderos, arriates, etc., de la zona estudiada. El procedimiento llevado a cabo se describe a continuación:

El primer paso es centrar y nivelar la estación total en un punto con coordenadas conocidas.

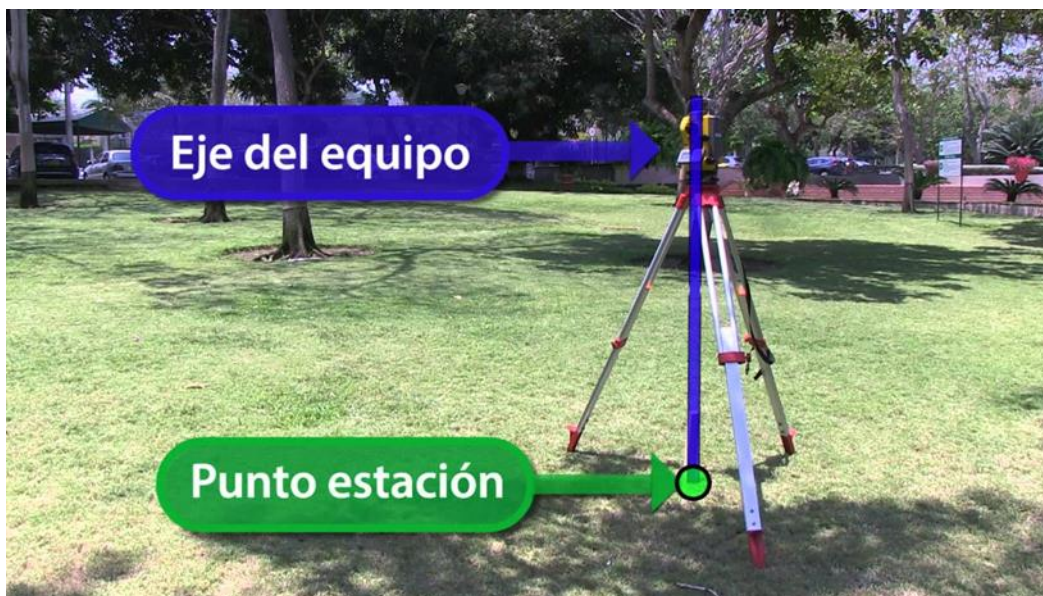


Figura No. 34. Centrado y nivelado de estación total. Fuente: (Amaya, 2021)

Posteriormente se conecta una colectora de datos. Dentro de la colectora, se crea un trabajo nuevo, lo cual se realiza en la pestaña “File” y posteriormente se presiona en la opción “Open/New Job”. Dentro de esta opción se presenta la siguiente interfaz, en donde se presiona en el botón “New...” y luego se coloca el nombre del trabajo a realizar. Una vez hecho esto, se presiona en “Next>”

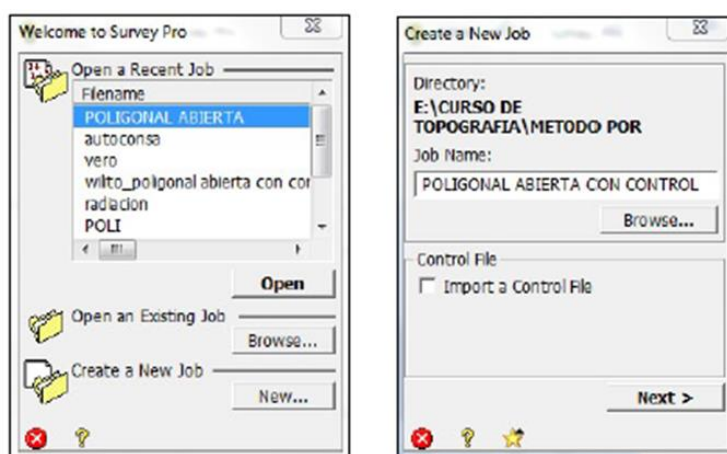


Figura No. 35. Creación de nuevo trabajo. Fuente: (Amaya, 2021)

Luego se configuran los parámetros del trabajo y se presiona en “Next>”



Figura No. 36. Configuración de parámetros. Fuente: (Amaya, 2021)

En la siguiente interfaz se deben introducir las coordenadas de amarre. El primer punto corresponde a la coordenada a la cual se dará vista atrás, y el punto No. 2 corresponde al primer sitio en donde se ubicará la estación total. Luego de introducir las coordenadas del punto No. 1, se presionará en la pestaña “Job” y se seleccionará la opción de “Edit Points”.



Figura No. 37. Introducir coordenadas de amarre. Fuente: (Amaya, 2021)

Se presentará la siguiente interfaz, en donde se presionará sobre el botón “Insert...”, y luego se mostrarán las opciones para introducir el nombre del punto y su descripción. Una vez hecho esto se presiona sobre la pestaña “Location”.

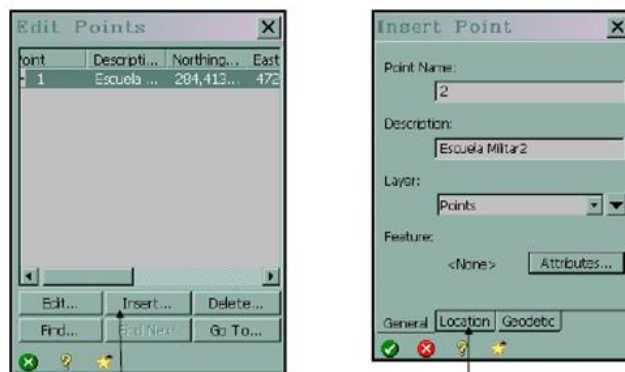



Figura No. 38. Interfaz locación. Fuente: (Amaya, 2021)

Dentro de la pestaña “Location” se introducen las coordenadas del segundo punto y se presiona sobre el ícono . A continuación, tenemos las coordenadas que se usarán de amarre.

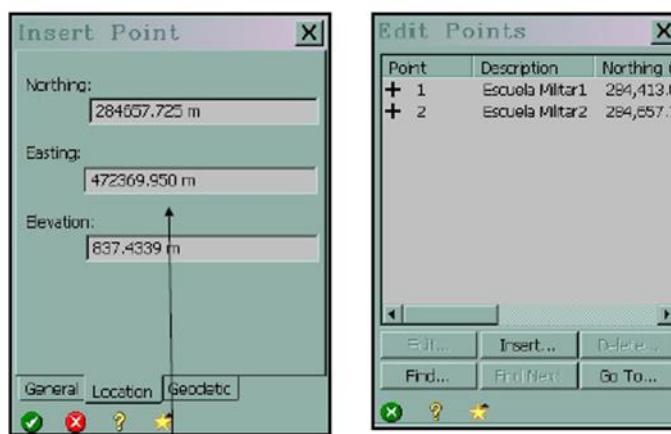


Figura No. 39. Obtención de coordenadas de amarre. Fuente: (Amaya, 2021)

Las coordenadas que se utilizaron específicamente en este trabajo se describen a continuación (tabla 2):

Tabla 2. Coordenadas utilizadas. Fuente: Elaboración propia

Punto No. 1		Punto No. 2	
Este (m):	478175.2582	Este (m):	478219.0844
Norte (m):	288770.3145	Norte (m):	288793.7119
Elevación (m):	704.787	Elevación (m):	705.136

Una vez se realicen los pasos anteriores, se procede a la configuración del cadenamiento, por lo que se presiona en la pestaña “Survey”, en la opción “Backsight Setup”. Dentro de esta opción primero se selecciona el punto ocupado (2), y luego el punto atrás (1), en las cuales se debe introducir la altura del instrumento y del prisma. Para seleccionar los puntos previamente mencionados se opta por la opción de “Choose from list...”. Luego se presiona sobre el botón “Solve...” para guardar la configuración.

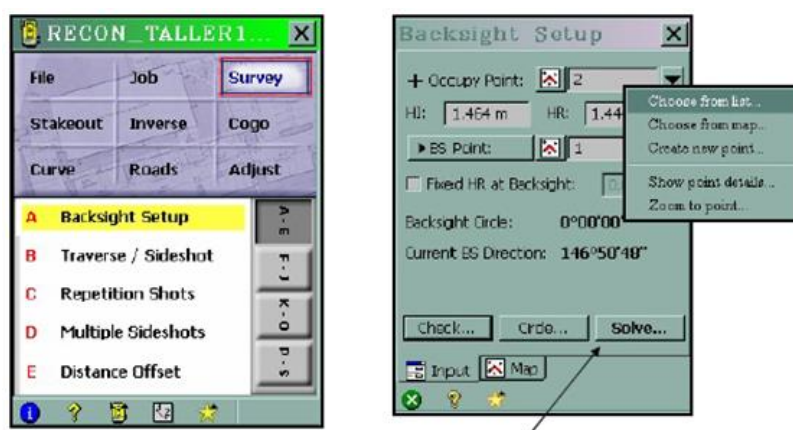


Figura No. 40. Guardado de información. Fuente: (Amaya, 2021)

Al guardar la configuración del punto ocupado y punto atrás, se selecciona “Send Circle”, para configurar la vista atrás en 0.000 grados y se presiona en “Ok”. Al presionar sobre la pestaña “Map”, se muestra el vector generado entre el Punto ocupado y el punto atrás.

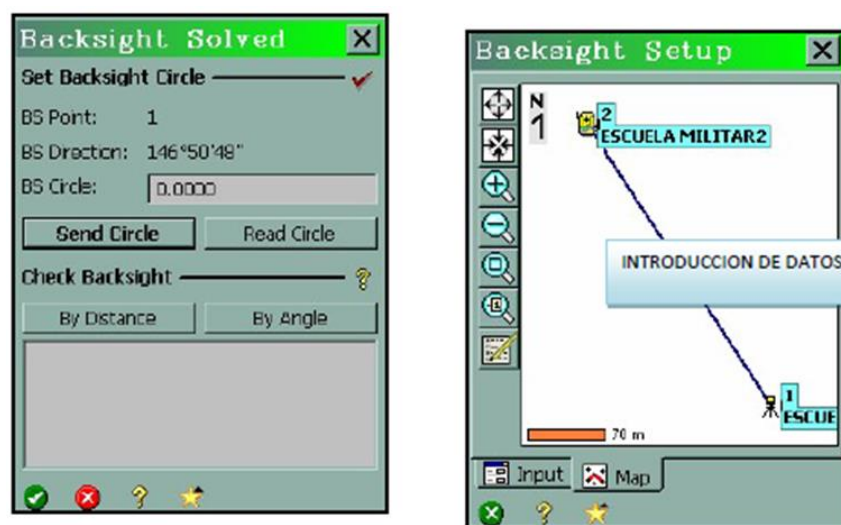


Figura No. 41. Configuración vista atrás. Fuente: (Amaya, 2021)

Después de realizar lo anterior, para iniciar con el levantamiento de detalles se presiona en la pestaña “Survey”, en la opción “Traverse / Sideshot”, en donde se introduce la información del número de punto, descripción y la altura del prisma para cada punto levantado. Posteriormente se presiona en la opción “Sideshot”.

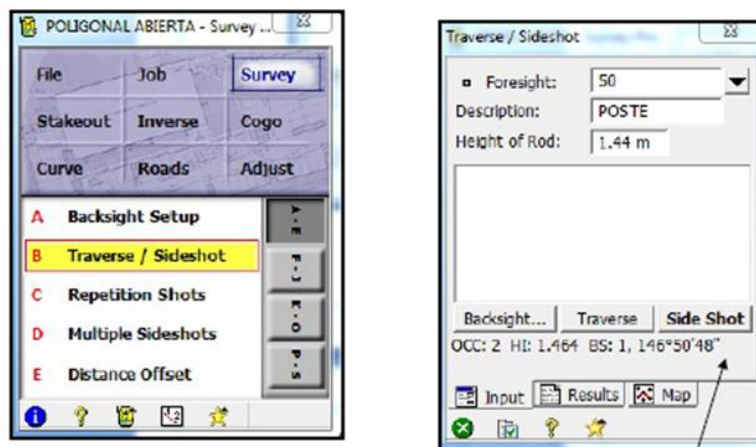


Figura No. 42. Descripción de altura de prisma y número de puntos a utilizar. Fuente: (Amaya, 2021)

Este procedimiento se realiza para cada detalle que se pueda observar desde el punto ocupado. Cuando ya no se puedan tomar más detalles, se procede a levantar un punto de poligonal. Se debe tener cuidado al momento de la descripción del punto, ya que, para llevar un mejor control del levantamiento, se sugiere que los puntos de detalle se numeren a partir del número 51 en adelante, y los puntos de poligonal iniciando desde el número 1.

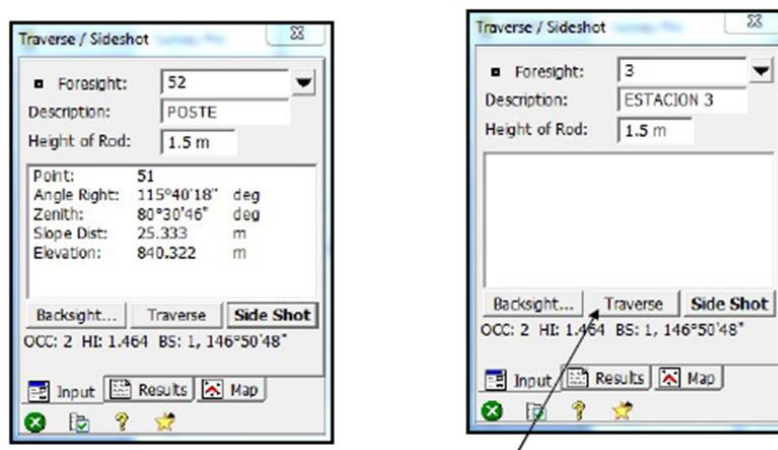


Figura No. 43. Elección de números para un mejor control de puntos. Fuente: (Amaya, 2021)

Para tomar este punto de poligonal se presiona sobre el botón “Traverse”. La estación tomará el punto y seleccionaremos en la opción “Traverse Now”, en donde se pide la información de la nueva altura del instrumento. Luego se apaga el equipo y se coloca en el tercer punto de poligonal.

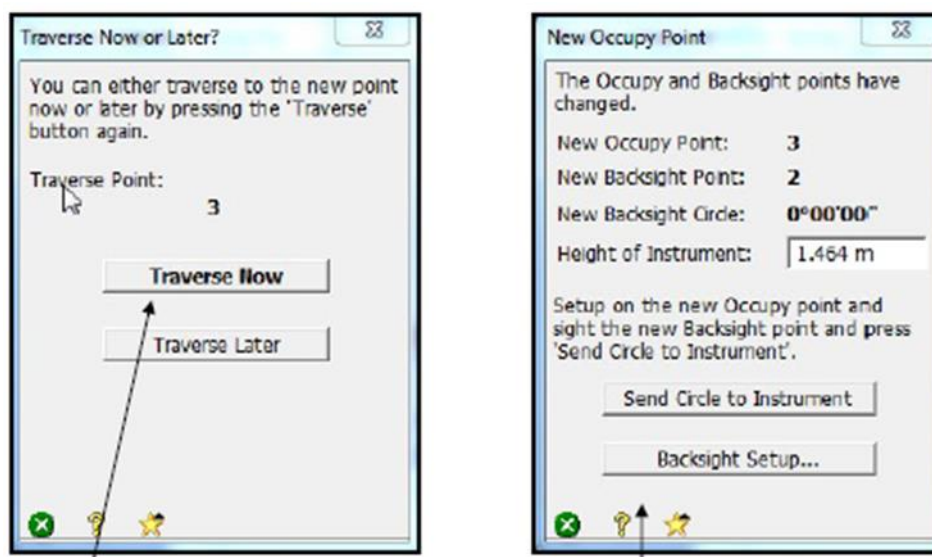



Figura No. 44. Guardar información para mover la estación a un nuevo punto. Fuente: (Amaya, 2021)

Luego de colocar la estación total en el punto nuevo se repiten los pasos desde la configuración del cadenamiento hasta que se termine el trabajo realizado. Al llegar al último punto, solamente se presiona en el ícono  para finalizar el trabajo.

3.2. OBTENCIÓN DE DATOS CON TÉCNICAS GNSS.

Luego de tener ubicada el área del levantamiento topográfico lo que procede es el obtener los puntos de control en este caso se realizó con la técnica de medición RTK o método cinemático en tiempo real para ello se utilizarán GPS de doble frecuencia, luego

se procede a identificar los puntos que serán los puntos de control y posteriormente a instalar el equipo.

- 1- Fijar el soporte o trípode correctamente centrado y nivelado en el punto de coordenadas conocidas.



Figura No. 45. Centrado de trípode y nivelación. Fuente: Elaboración propia.

- 2- Fijar el soporte y enroscar la extensión de la antena al receptor base y al móvil (Figura No. 46).



Figura No. 46. Acople de extensión de antena a receptor. Fuente: Elaboración propia.

- 3- Enroscar la antena al soporte en cada receptor (Figura No. 47)



Figura No. 47. Colocación de antena. Fuente: Elaboración propia.

- 4- Luego se procede a colocar el GPS en el trípode.



Figura No. 48. Colocación de GPS en el trípode. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. 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, para obtener coordenadas planas (x,y) reales. El procedimiento para realizar esta configuración se describe a continuación.

1)

En el menú configuración, seleccionar la opción 6 "Localización".



2)

En la pestaña "Sistema" dar clic en "Editar Lista Proyecciones".



3)

Introducir el nombre del sistema de proyección, seleccionar el sistema de proyección, introducir todos los parámetros que lo definen, finalmente seleccionar la opción "Editar/Ver Datum" para configurar el datum.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Cor

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen: 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

4)

En esta ventana ingresar el nombre del datum y seleccionar el elipsoide. Finalmente dar clic en Aceptar.

Defini..oordenadas

Nombre: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Elipsoide: WGS84~1

a: 6378137 m

1/f: 298.257223562776

F.Escala (ppm): 0

dX: 0 m rot X: 0"

dY: 0 m rot Y: 0"

dZ: 0 m rot Z: 0"

Fichero GSF respecto a WGS84

5)

Verificar que todos los parámetros estén configurados correctamente y dar clic en Aceptar.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Cor

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

6)

En esta ventana aparecerá el sistema de proyección creado recientemente, seleccionarlo y dar clic en Aceptar.

Coordenadas Proyección



Nombre	Fue...
SV	Usuario
USA/NAD83/KY North	Carlson
SIRGAS-ES2007	Usuario


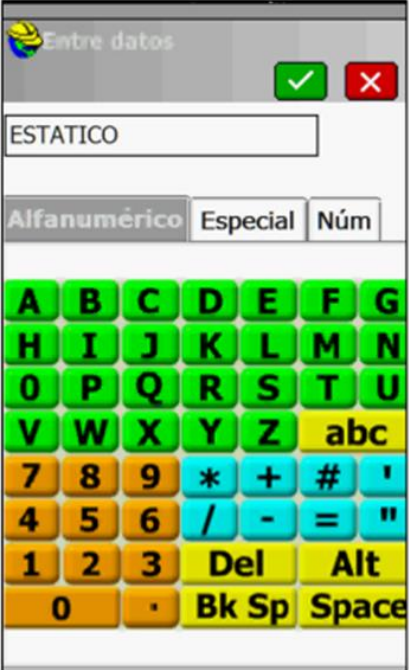

Borrar Añad. Predefinida

Edita Añad.Defind. p/Usuario

3.2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Luego de tener identificado cada uno de los puntos de control fotogramétricos (PCF) se procede a la toma de datos, para llevar a cabo la medición en esta técnica, se debe configurar el equipo en dos partes, primeramente, se configura el Receptor BASE en el colector con todos los parámetros relevantes; como la altura de la antena, la máscara de elevación y el tipo de conexión entre colector y receptor.

<p>1) Encender el bluetooth en el colector e ingresar a la aplicación SurvCE.</p>	<p>2) Al ingresar a la aplicación SurvCE aparecerá el siguiente cuadro de dialogo y seleccionar la opción "Trabajo Nuevo/Existente".</p>
	

<p>3)</p> <p>Ingresar el nombre del trabajo y dar clic en Aceptar. </p>	<p>4)</p> <p>En la siguiente pantalla, en la pestaña Sistema, verificar las unidades de medida de distancias y ángulos, finalmente clic en Aceptar.</p>
	

5)

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



6)


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

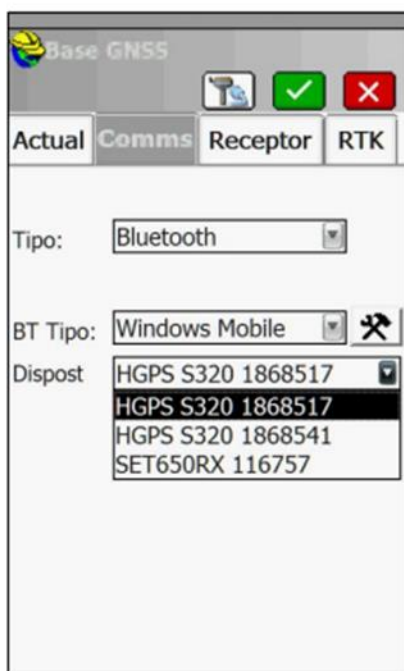


7)

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

7.1-A

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

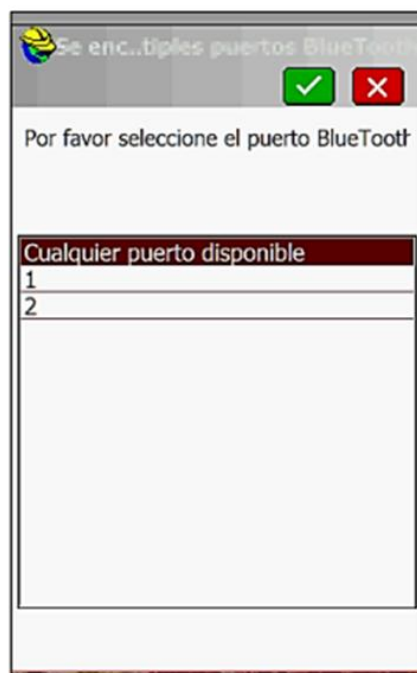


7.1-B

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

**7.1-C**

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



7.2

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



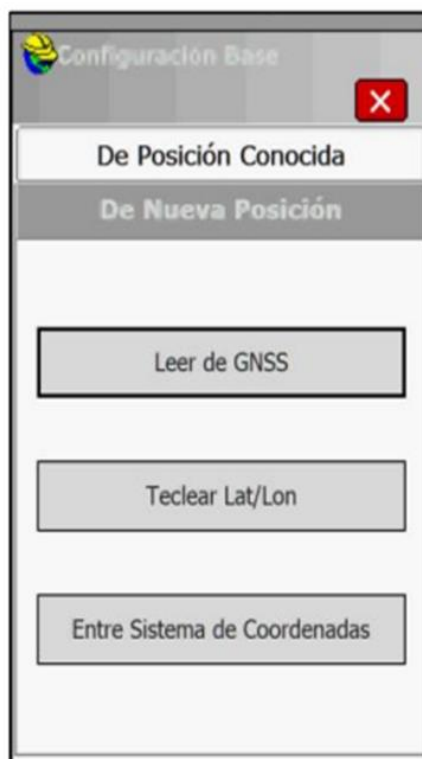
8)

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



9)

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



10)

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

Introd. Lat/Lon

Use formato gg.mm.ss

Latitud: N 13°43'17.37107

Norte Sur

Longitud: W 89°12'11.2390

Oeste Este

Alt.: 704.722 m

Elipsoide Ortométrica

11)

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

Configuración Base

RTK ID Emisora: 0

Latitud: N 13°43'17.37107"

Grabar Punto

ID. Punto: UES

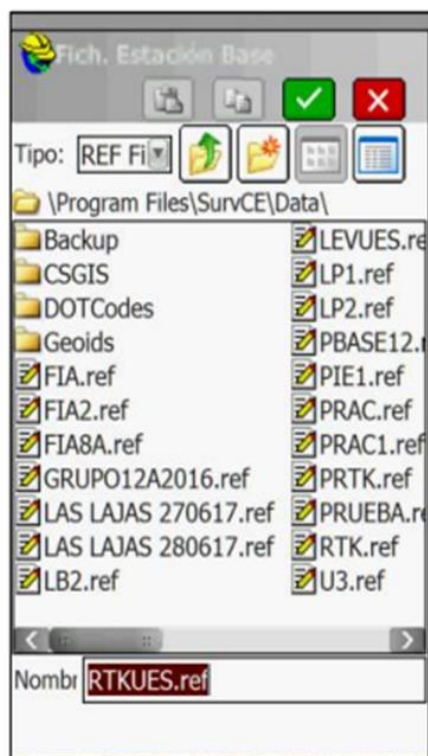
Descripción: VG

¿Continuar con Arranque de Base?

Si No

12)

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



13)

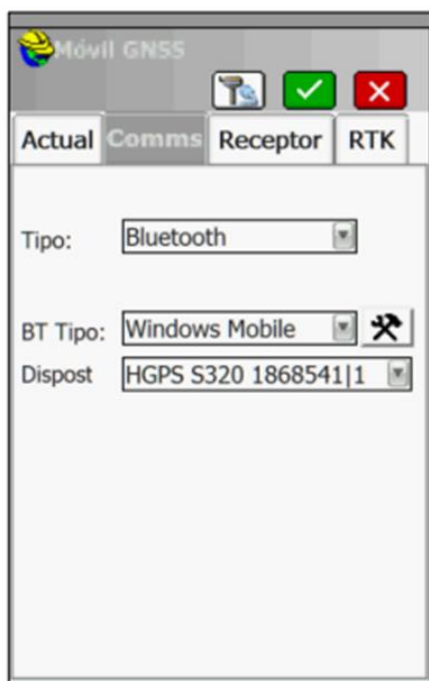
Seleccionar la opción "Movil GNSS" para configurar los parámetros del equipo que funcionara como Rover (Movil).



14)

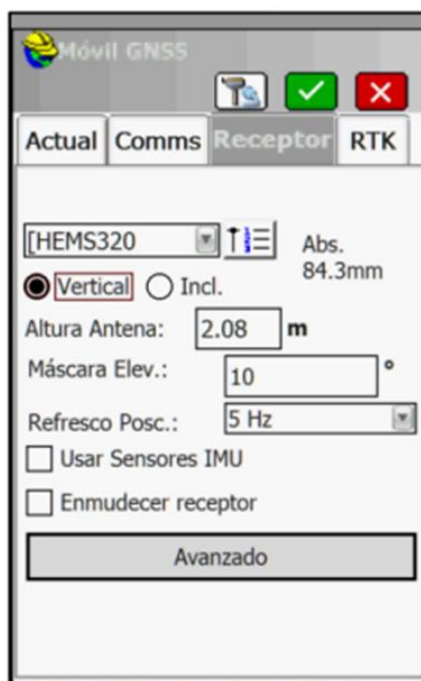
En la pestaña "Comms", seleccionar el tipo de comunicación entre el receptor y colector, para la técnica RTK se recomienda que sea mediante bluetooth. Seleccionar el equipo correspondiente al Rover.

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

**15)**

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

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



16)

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



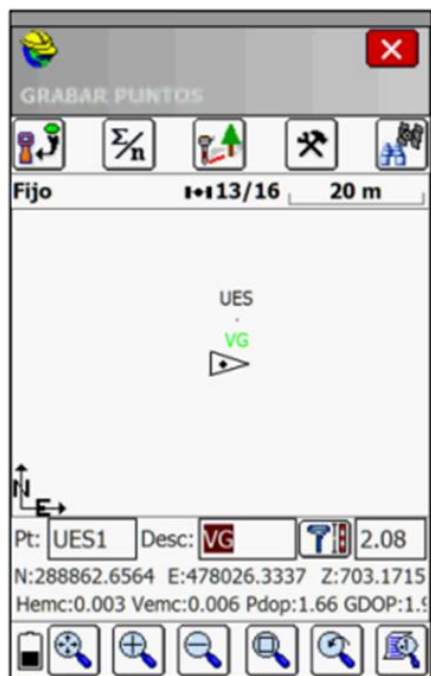
17)

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




18)

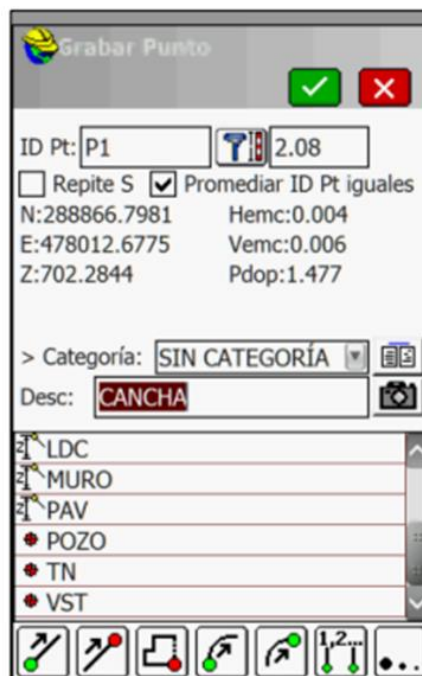
En la pantalla se observa la estación de referencia, las coordenadas planas del punto donde se encuentra el Rover y parámetros de precisión vertical y horizontal (Vemc y Hemc respectivamente)



19)

Para guardar un punto en particular, basta con dar clic en la opción  cuando aparezca la palabra "fijo" bajo esta opción.

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



Los datos obtenidos del levantamiento con GPS fueron los siguientes ver tabla 3.2.

Tabla 3. Datos de puntos de control fotogramétrico. Fuente: Elaboración propia.

ID Puntos	Este	Norte	Elevación
PC1	478252.23	288781.13	706.70
PC2	478275.12	288798.73	705.84
PC3	478286.75	288717.29	703.89
PC4	478283.93	288724.45	704.60
PC5	478339.62	288727.39	702.76
PC6	478352.33	288737.25	702.83
PC7	478370.94	288836.99	702.67
PC8	478217.22	288795.19	705.30

3.3. PLAN DE VUELO

Para empezar el plan de vuelo con dron es necesario conectar el dron con un dispositivo que permita manipular el dron a la vez que tome fotografías, para esto es necesario que el fabricante del dron nos proporcione software para nuestro caso en particular el dron tiene soporte para dispositivos móviles el cual permite enlazar un teléfono inteligente (Android e IOS) con el dron marca Dji.

Después con otro software complementario Pix4D capture permite configurar el plan de vuelo y otras opciones como se describe a continuación.

Primero seleccionamos el tipo de dron que disponemos y con el que Pix4D capture cuenta en su base de datos.

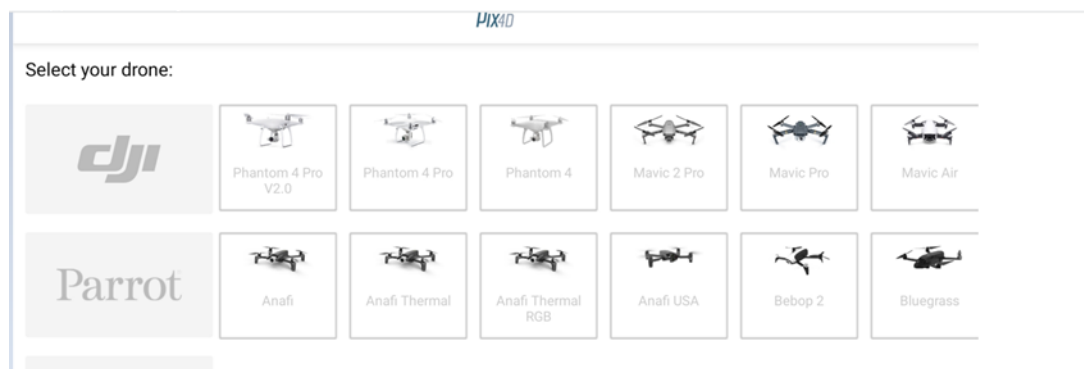


Figura No. 49. Elección del tipo de Dron. Fuente: Elaboración propia.

Ahora seleccionamos la opción CUADRÍCULA simple (Grid misión) aunque si se requiere más detalle y cálculo de volúmenes se selecciona doble CUADRÍCULA.

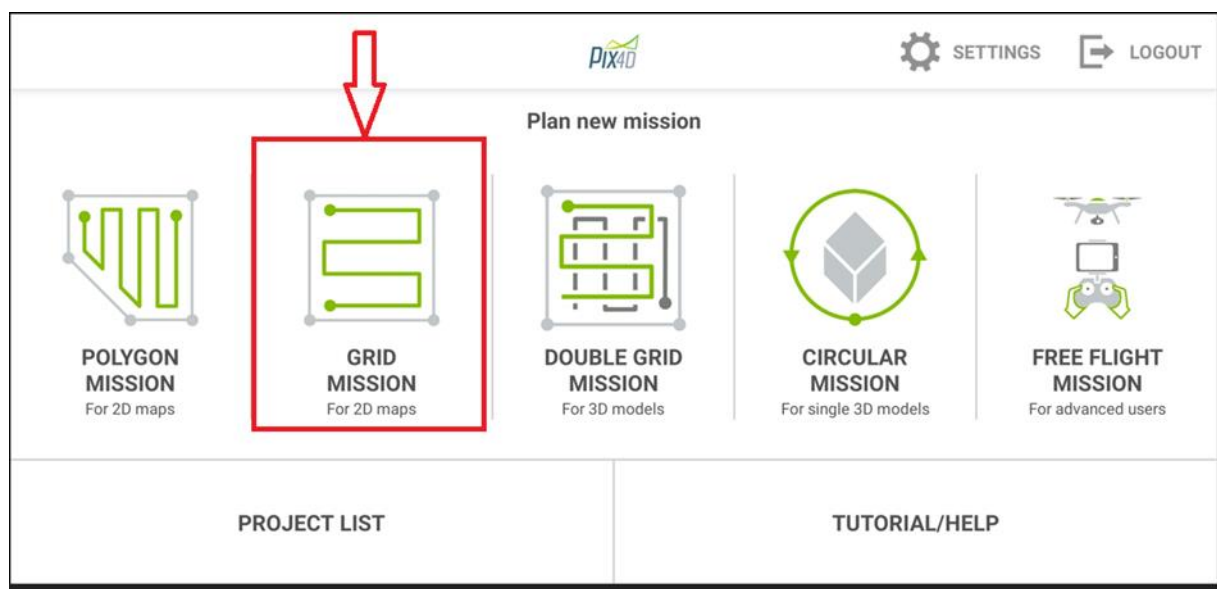


Figura No. 50. Tipos de CUADRÍCULA. Fuente: Elaboración propia.

Seleccionamos el botón de ubicación, en el que ubicaremos nuestro proyecto en un mapa satelital es importante el activar el GPS de nuestro dispositivo.



Figura No. 51. Activar GPS. Fuente: Elaboración propia.

Delimitamos el área de nuestro proyecto con el rectángulo verde que nos permite rotar y mover el área a fotografiar, y en un cuadro aparece el área y tiempo de vuelo aproximado.

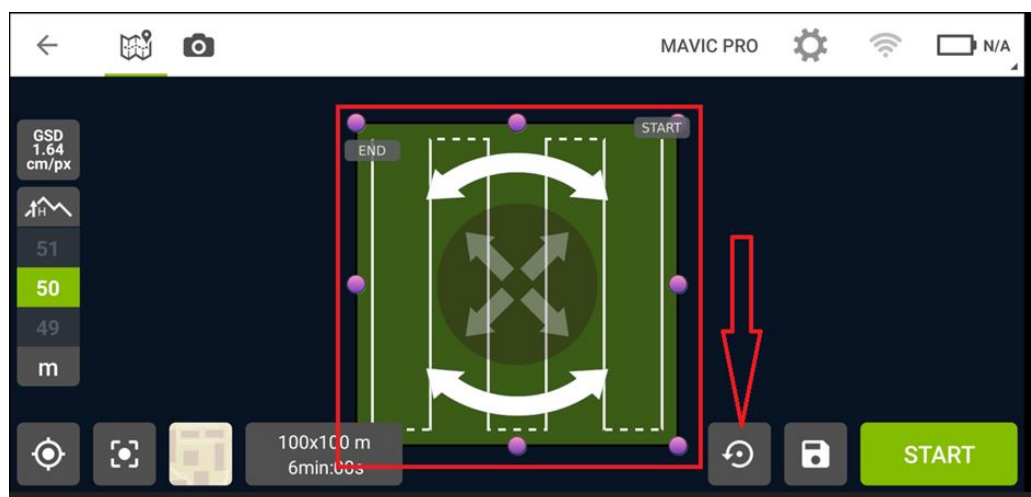


Figura No. 52. Delimitación del área de interés. Fuente: Elaboración propia.

Como paso siguiente indicamos la altura de vuelo teniendo en cuenta que el programa muestra el GSD (que es un indicador de cada centímetro representa cada pixel) para la altura solicitada por lo cual es necesario seleccionar la que mejor se adecue a nuestro trabajo.

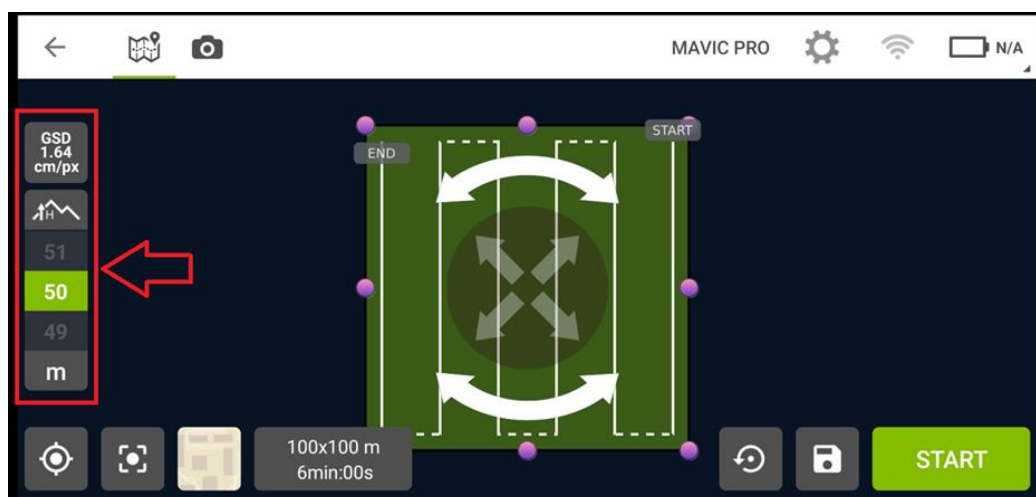


Figura No. 53. Elección de altura de vuelo. Fuente: Elaboración propia.

Ahora seleccionamos el botón de configuración de dron



Figura No. 54. Ir a la configuración del dron. Fuente: Elaboración propia.

De estos parámetros únicamente nos aseguramos que al ángulo de la cámara esta perpendicular (a 90°) y que el traslape sea mayor al 70%.



Figura No. 55. Verificar el ángulo de la cámara y el traslape a utilizar. Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente que hacemos es dar al botón inicio, el cual hará que el dron comience el plan de vuelo de manera automática y tomará las fotografías de la misma manera.



Figura No. 56. Inicio del vuelo. Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el vuelo podremos guardar y exportar las fotografías del dron y a la vez poder enviarlas a nuestro dispositivo.



Figura No. 57. Guardar las fotos. Fuente: Elaboración propia.

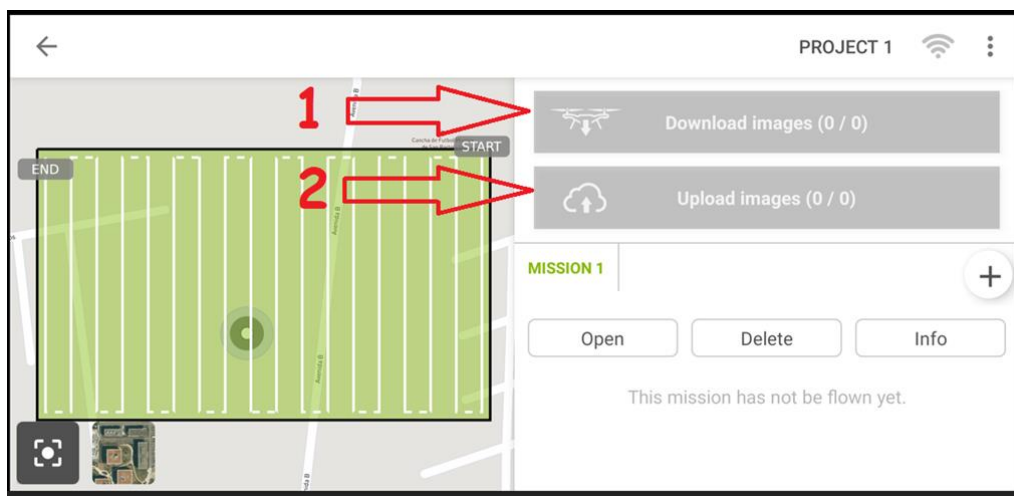


Figura No. 58. Exportación de las fotos. Fuente: Elaboración propia.

3.4. LEVANTAMIENTO DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRONE

Como primer paso es el identificar la zona de estudio en nuestro caso es la “zona de restitución N° 4”, luego se procede a obtener las fotografías aérea y estas se obtiene por la realización de un vuelo fotogramétrico, es decir, un vuelo en el que un aeroplano (DRON) sobrevuela una zona tomando repetidas fotos para componer toda la superficie.

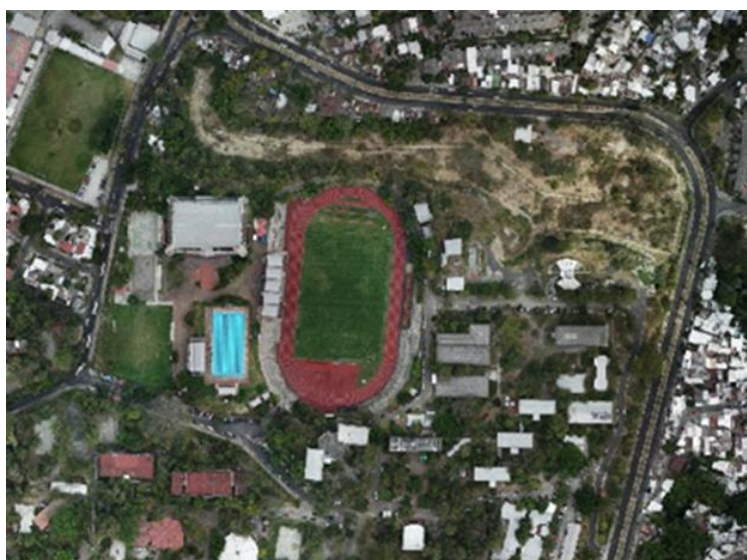


Figura No. 59. Área total de estudio. Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 60. Área total de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Luego de tener cada una de las coordenadas de los puntos de control fotogramétrico se procede al análisis y procesamientos de los resultados con el programa PIX4D MAPPER el procesamiento de los datos se muestra a continuación, además para ello será necesario crear un archivo de extensión PRJ en el Programa de Global Mapper para poder introducir el sistema de referencia.

3.4.1. CREACIÓN LAMBERT SIRGAS-ES2007 GLOBAL MAPPER.

Para introducir el sistema de referencia en el programa Pix4DMapper se debe crear un archivo con extensión .prj, por lo que se utilizará el software Global Mapper para la creación del mismo. Los pasos a seguir se presentan a continuación:

1. Luego de abrir el software, se presiona la pestaña *Tools (Herramientas)* y se busca la opción *Configure (Configurar)*



Figura No. 61. Interfaz del programa Global Mapper. Fuente: Elaboración propia.

2. Dentro de la opción *Configure* (*Configurar*) se debe seleccionar la pestaña de *Projection* (*Proyección*), en donde se empezará a configurar el sistema de referencia.

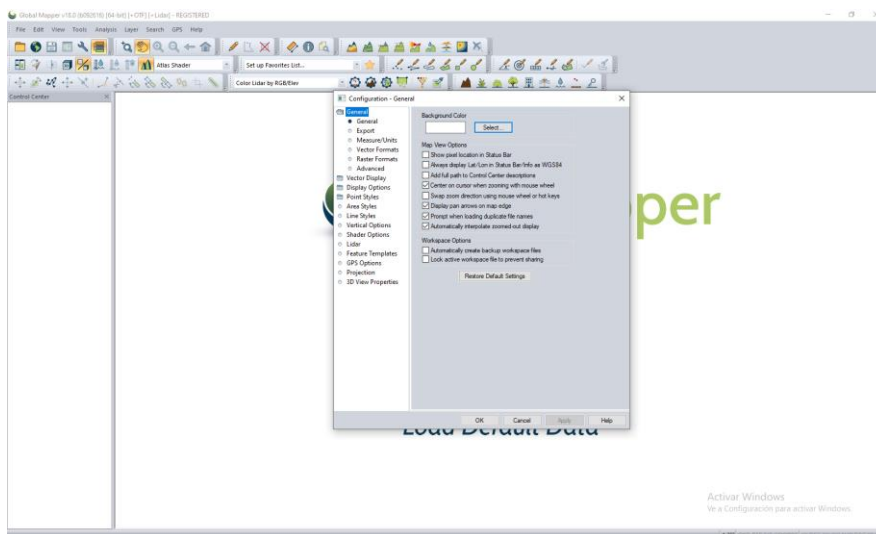


Figura No. 62. Interfaz de la opción configuración, dentro de la pestaña de herramientas. Fuente: Elaboración propia.

3. Al seleccionar la pestaña de *Projection* (*Proyección*) se mostrará la siguiente interfaz.

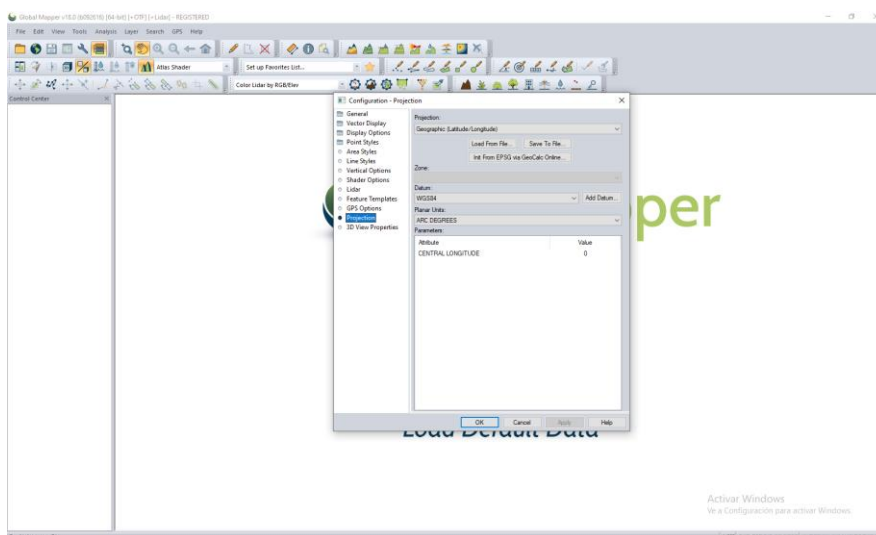


Figura No. 63. Interfaz de la opción proyección. Fuente: Elaboración propia.

4. En la parte superior derecha se observa que se puede colocar la proyección que nos interesa, por lo tanto, seleccionaremos la proyección *Lambert Conformal Conic* (*Cónica conformal de Lambert*).

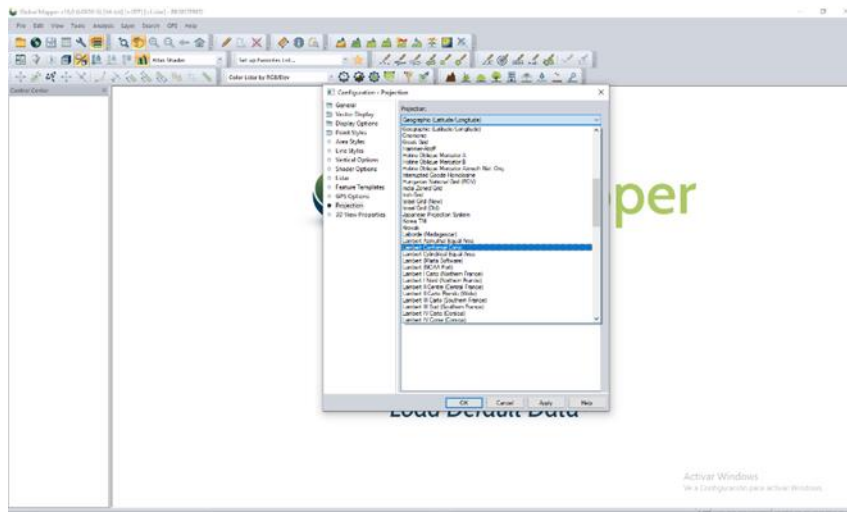


Figura No. 64. Selección de la proyección “Cónica conformal de Lambert”. Fuente: Elaboración propia.

5. Posteriormente, en la interfaz de la Figura No. 65, seleccionaremos la opción *Add Datum* (*Agregar Datum*), en donde aparece la siguiente interfaz. Ahí colocaremos la información que se describe a continuación:

Datum Name (Nombre del Datum): SIRGAS-ES2007

Abbreviation (Abreviación): SIRGAS-ES2007

Ellipsoid Selection (Selección del Elipsoide): GRS 1980

Para los demás datos, se mantiene la información predeterminada que propone el software

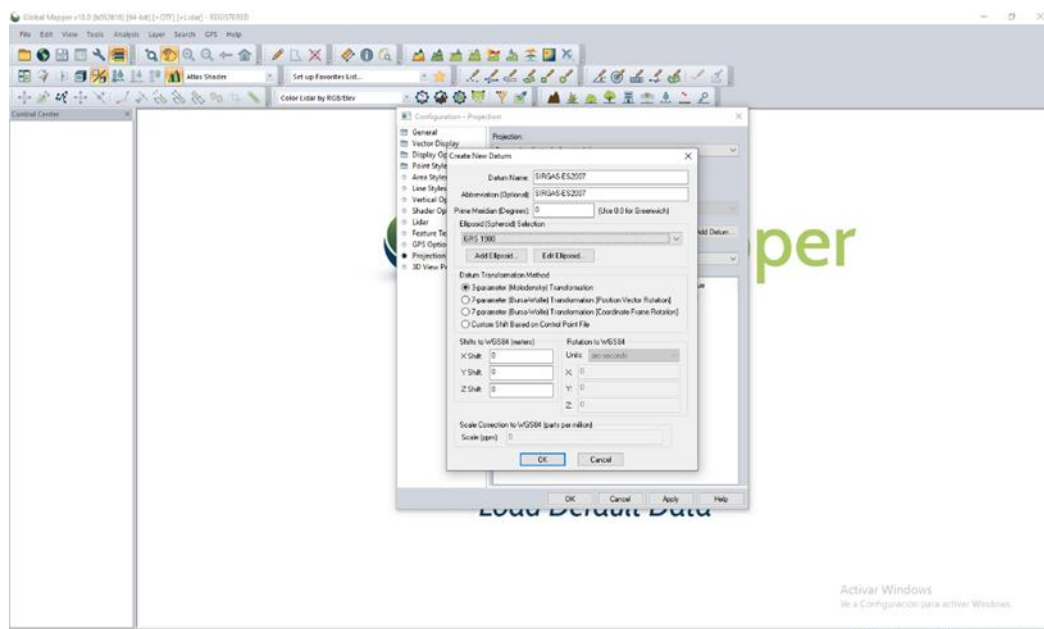


Figura No. 65. Introducción de datos, dentro de la interfaz de crear nuevo datum. Fuente: Elaboración propia.

6. Se hace clic en “Ok” y se procede a introducir los parámetros. En la columna *value (valores)* se colocarán los datos que se presentan a continuación. Es importante aclarar que la información de los valores de proyección se debe colocar en sistema decimal.

Scale factor (Factor de escala):	0.99996704
First Standard Parallel (Primer paralelo estándar):	13.31763267333 N
Second Standard Parallel (Segundo paralelo estándar):	14.25096600666 N
Central Meridian (Meridiano central):	88.99998297 W*
Origin Latitude (Latitud de origen):	13.78429934 N
False Easting (Falso este):	500000.000
False North (Falso norte):	295809.184

*Para este dato, se introducirá el valor negativo que será el equivalente al oeste

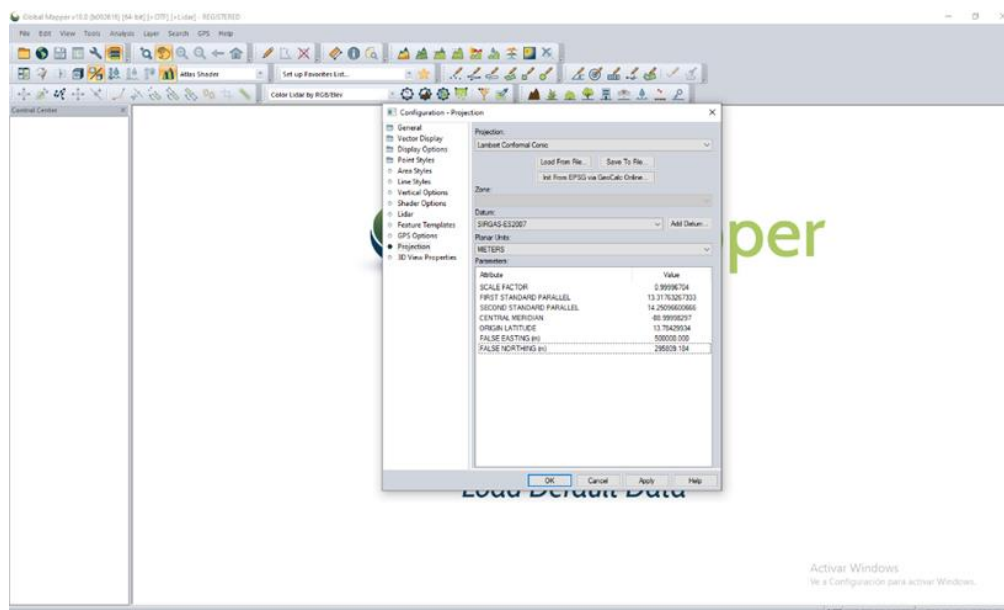


Figura No. 66. Introducción de parámetros. Fuente: Elaboración propia.

7. Por último, guardamos el archivo presionando en *Save to File* (Guardar archivo) en nuestra computadora con el cual procederemos a trabajar en el software Pix4DMapper.

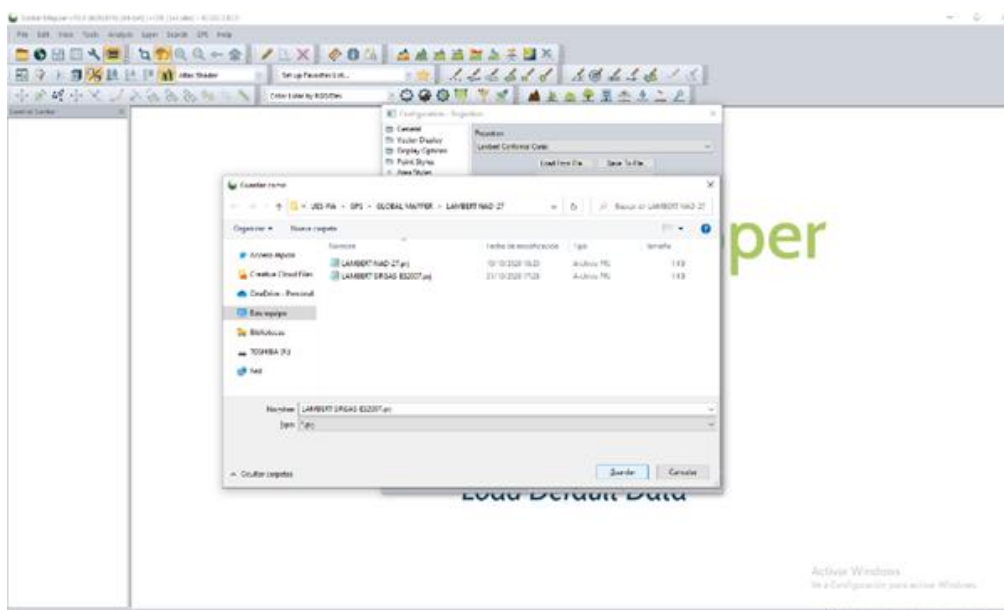


Figura No. 67. Guardar el archivo del sistema de referencia recién creado. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

La herramienta que se utilizará para procesar el levantamiento fotogramétrico es el software Pix4D Mapper. es un programa o software de escritorio que a partir de imágenes obtenidas desde tierra o aire, genera orto mosaicos de alta gama, DSM (modelo digital de superficie) y nube de puntos de manera sencilla, obteniendo resultados precisos y muy eficientes en el tiempo, con mediciones intuitivas y análisis de proyectos.

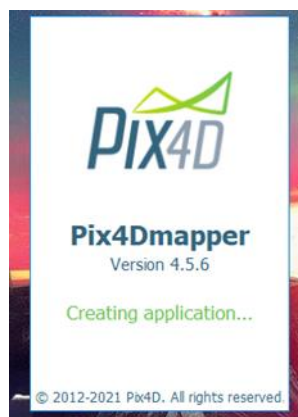


Figura No. 68. Interfaz PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

El primer paso consiste en realizar la creación del proyecto, en la interfaz inicial del programa. Para ello, se debe dar clic en la opción de Nuevo proyecto, como se muestra a continuación en la Figura No. 69.

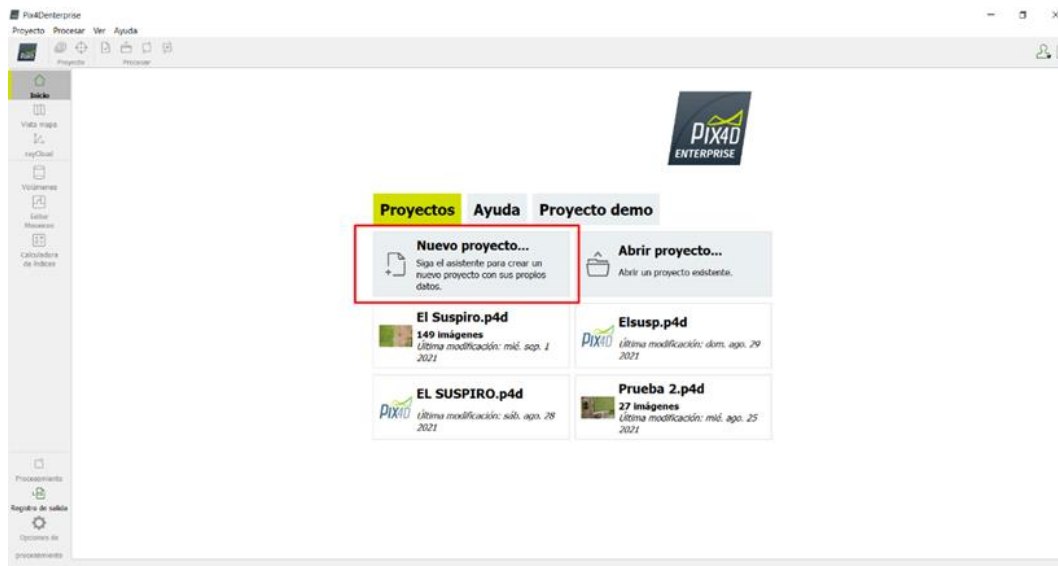


Figura No. 69. Interfaz para creación de un nuevo proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de la creación del Nuevo proyecto, se introduce el nombre del proyecto y se define la ruta de ubicación en donde se almacenará el trabajo. Una vez hecho eso, se da clic en siguiente.

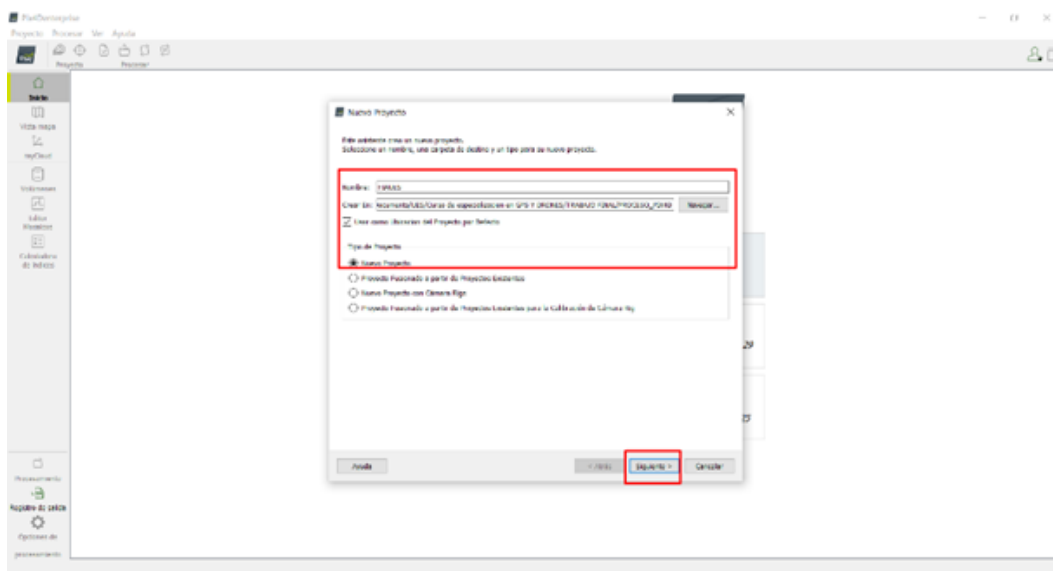


Figura No. 70. Introducción de ruta de guardado de nuevo proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente interfaz, se seleccionan las imágenes que se procesarán en el software. Se pueden añadir de dos formas, la primera es seleccionando las imágenes una a una dando clic en la opción “Añadir imágenes” y la segunda opción es añadiendo la carpeta en donde se encuentran todas las imágenes, presionando en la opción “Añadir directorios”, como se muestra a continuación en la Figura No. 71.

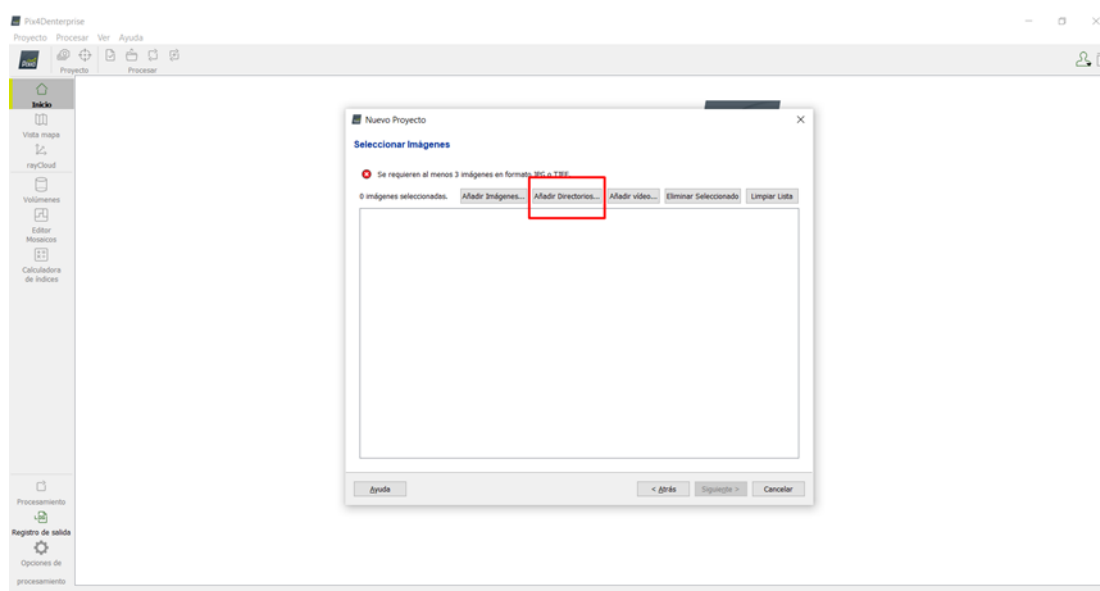


Figura No. 71. Forma de añadir las imágenes a procesar. Fuente: Elaboración propia.

Al presionar sobre “Añadir directorios” se muestra la siguiente interfaz, en donde se buscará la carpeta en donde se contienen todas las fotografías.

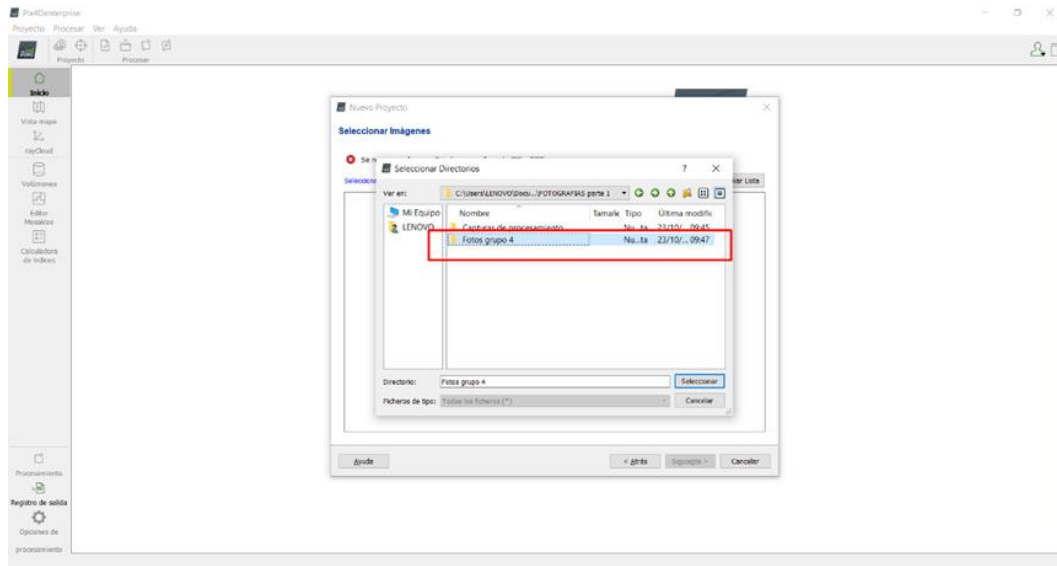


Figura No. 72. Ruta de almacenamiento a seleccionar. Fuente: Elaboración propia.

Al añadir la carpeta que contiene las fotografías, se mostrarán todas las rutas de las imágenes a procesar. Una vez se haya revisado que las imágenes sean las correctas, se presionará en siguiente.

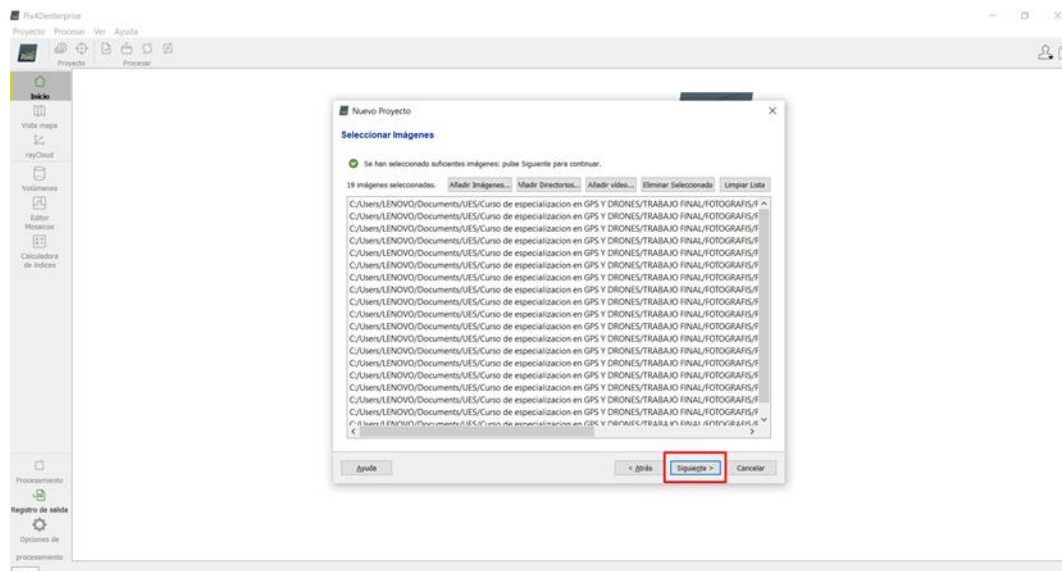


Figura No. 73. Fotos a procesar. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente interfaz se muestra un resumen de las propiedades de imagen. La información se deja por defecto y se da clic en siguiente.

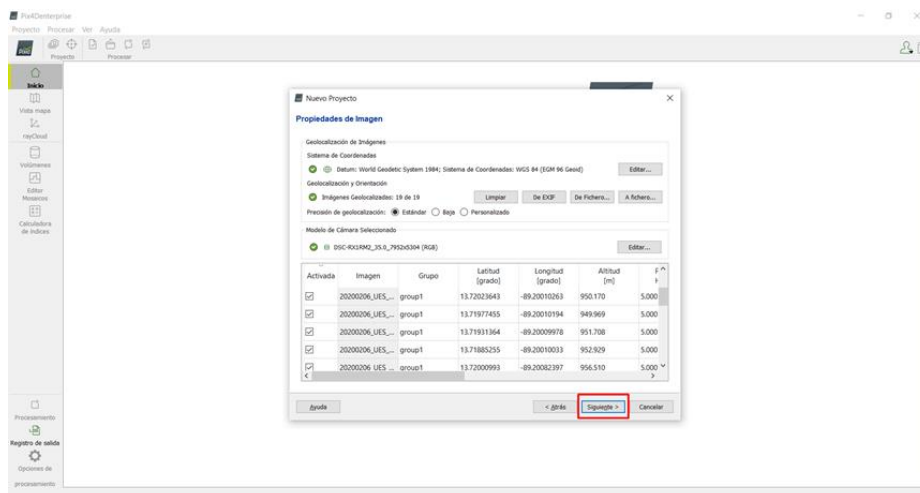


Figura No. 74. Información de imágenes. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente pantalla se debe seleccionar el sistema de coordenadas de salida, en el cual se optará por la opción de subir un archivo con extensión .prj. Primero se seleccionará la opción de sistema de coordenada conocido y posteriormente se presionará el botón “Desde PRJ”.

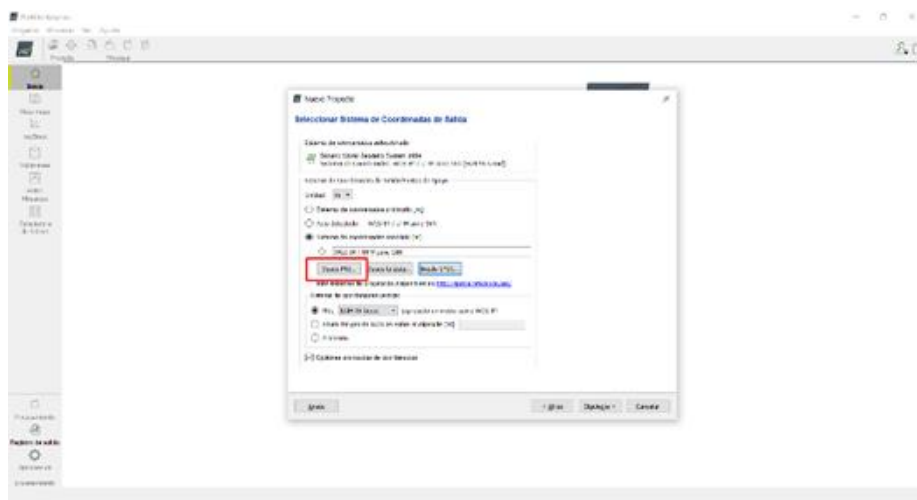


Figura No. 75. Selección del sistema de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se debe buscar el archivo del sistema de referencia Lambert SIRGAS ES-2007 con extensión .prj y se carga al software.

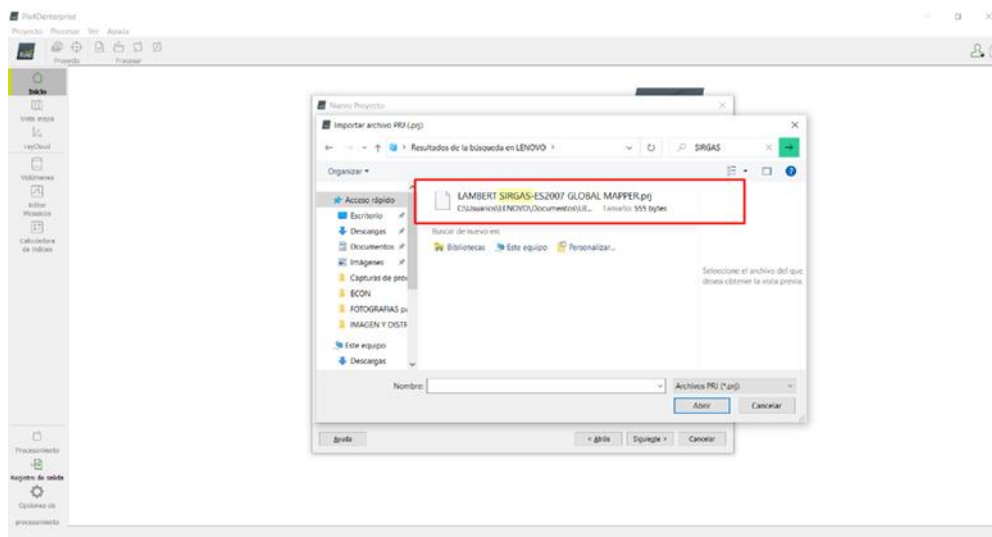


Figura No. 76. Selección del archivo .prj. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se selecciona el sistema de coordenadas vertical que se utilizará para el procesamiento de las fotografías, el cual será el sistema EGM 2008 Geoid.

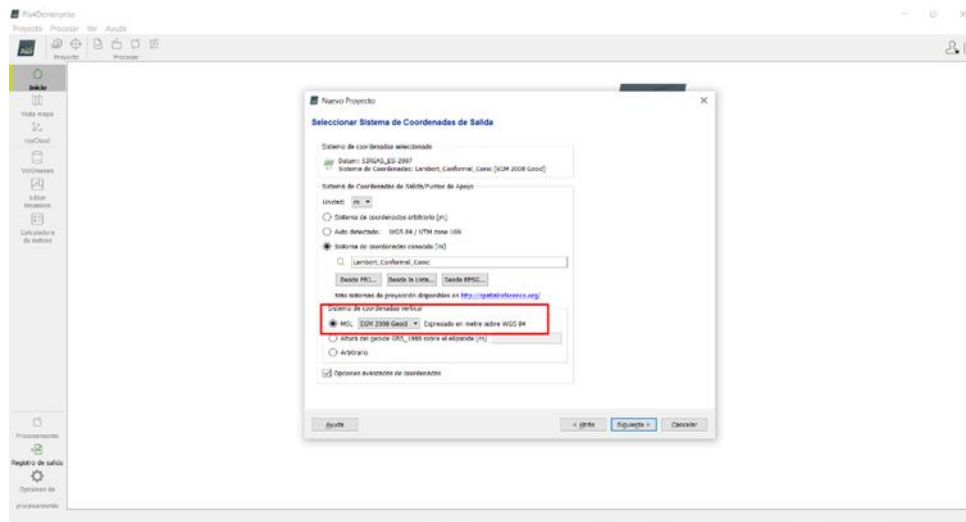


Figura No. 77. Seleccionar coordenadas verticales EMG 2008. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente interfaz se pedirá la plantilla de opciones de procesamiento, en donde se seleccionará “3D Maps” dentro de la pestaña estándar como se muestra a continuación en la figura No. 78.

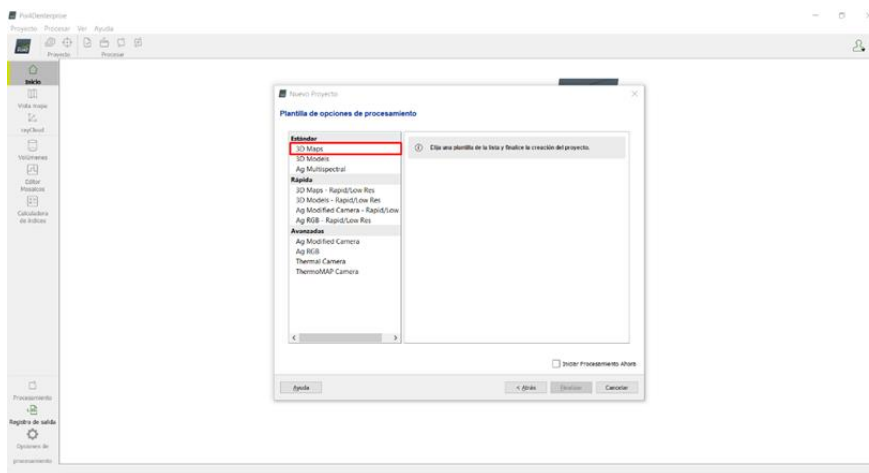


Figura No. 78. Elección de plantilla. Fuente: Elaboración propia.

Al cargar las fotografías nos aparece la siguiente pantalla, en donde se puede observar en la parte inferior izquierda los pasos para el procesamiento de los datos. Como

recomendación, se debe revisar que en la parte inferior derecha se encuentre la proyección Lambert Conformal Conic (Cónica Conformal de Lambert).

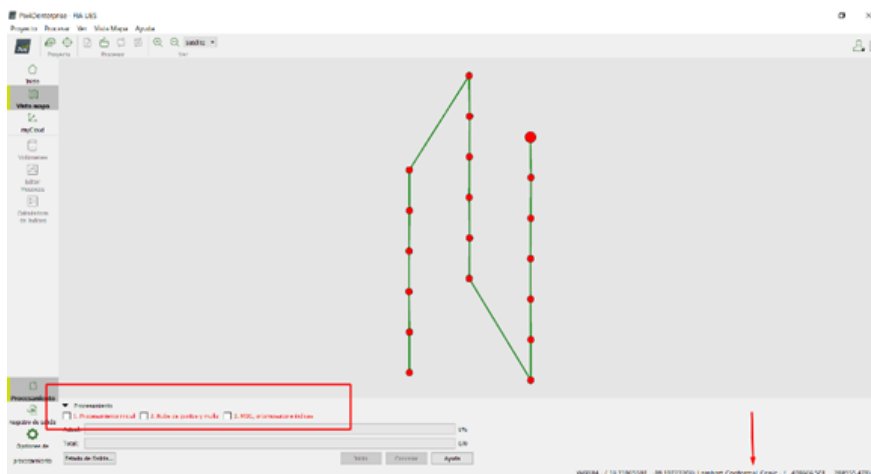


Figura No. 79. Interfaz al cargar las fotografías. Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente sólo se hará el primer paso que consiste en el procesamiento inicial del levantamiento fotogramétrico, para ello se configurará este proceso en “Opciones de procesamiento”.

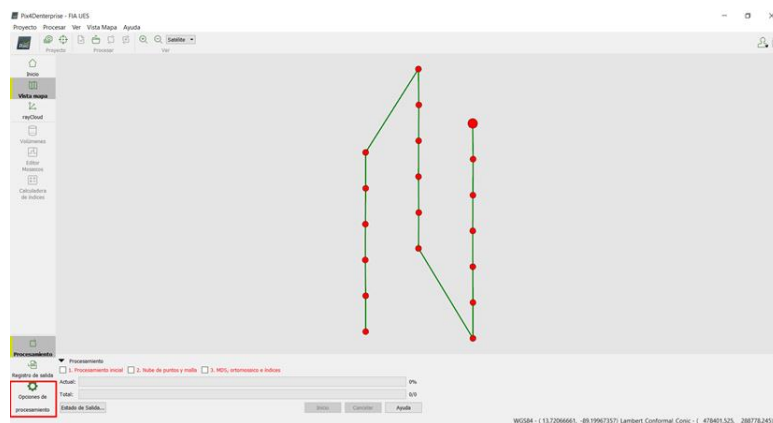


Figura No. 80. Procesamiento inicial. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las opciones de procesamiento únicamente se marcará el primer paso (1. Procesamiento inicial), que dentro de esta opción se marcará en la opción “Completa”

para la escala de imagen para puntos claves y se seleccionará la casilla de “Generar Previsualización del Ortomosaico en el Informe de Calidad”. Una vez hecho esto, se da clic en aceptar.

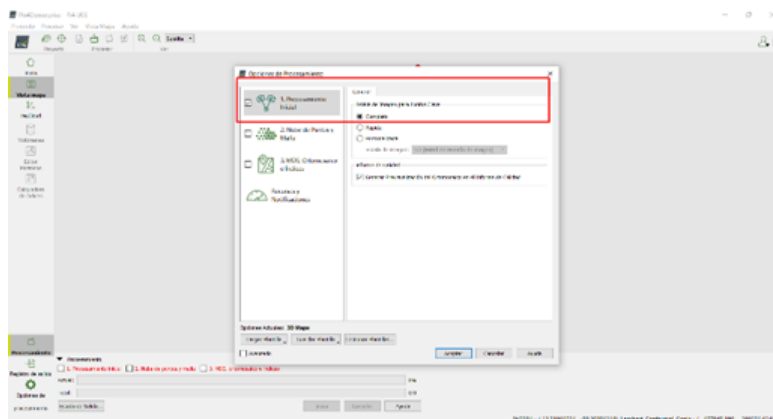


Figura No. 81. Procesamiento inicial. Fuente: Elaboración propia.

Se revisa en la parte inferior izquierda que únicamente esté marcada la opción “1. Procesamiento inicial” y se da clic en inicio. Este proceso tardará unos minutos de acuerdo a las características de la computadora.

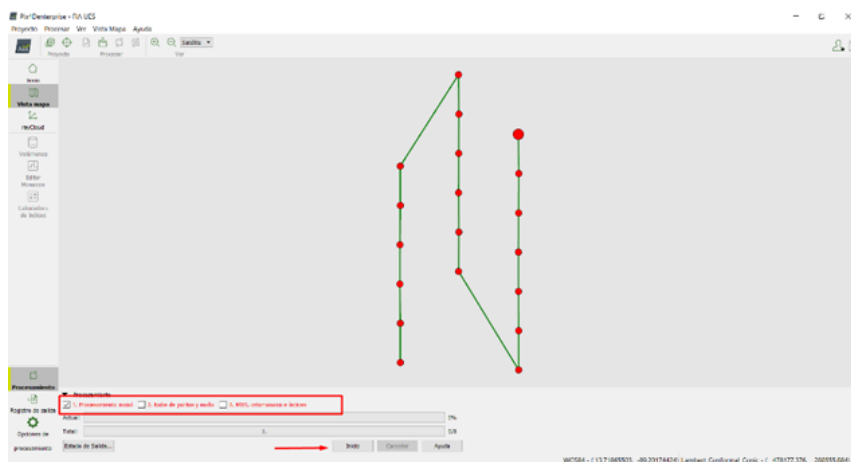


Figura No. 82. Verificación de selección de procesamiento inicial. Fuente: Elaboración propia.

Se espera a que termine de procesar el primer paso. Se puede observar en la parte inferior derecha el progreso que lleva el programa.

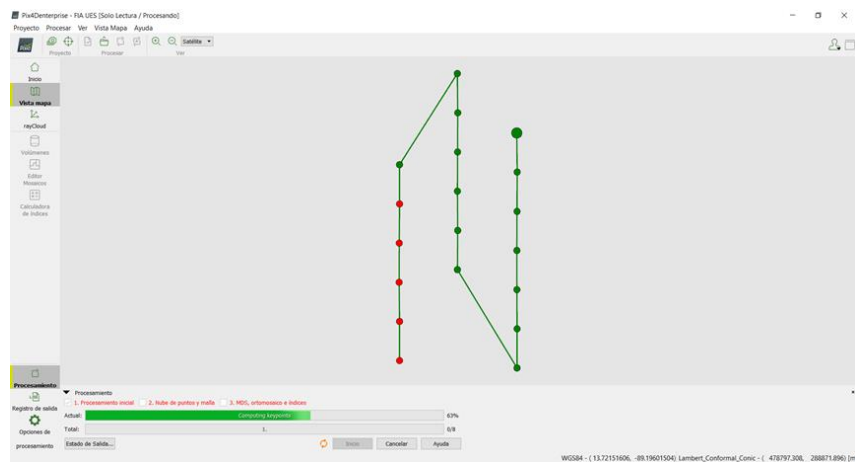


Figura No. 83. Procesamiento del primer paso. Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el proceso, el programa proporciona un reporte de calidad en donde se pueden revisar distintos factores para realizar un análisis de los resultados obtenidos. También se muestra un ortomosaico de la zona procesada.

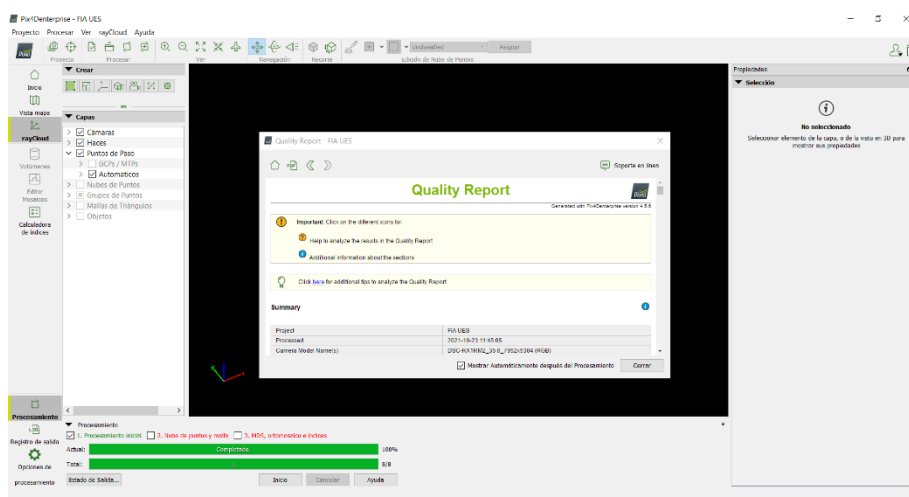


Figura No. 84. Proporción de reporte de calidad.

Al cerrar el reporte de calidad aparecerá la siguiente imagen en donde se observan las fotografías tomadas por el drone y por debajo varios puntos que son diferentes ángulos del terreno.

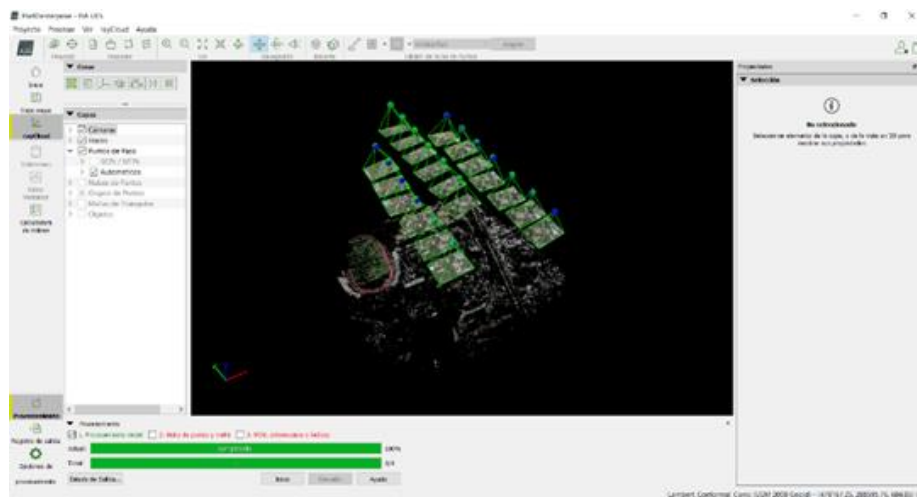


Figura No. 85. Finalización del paso 1. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso consiste en la colocación de los puntos de paso, los cuales ayudan con el traslape de las fotografías. Para este procedimiento se evaluará que detalles del terreno pueden funcionar como puntos de paso. Idealmente, deben ser detalles puntuales y que aparezcan en varias fotografías del trabajo.

Primero se analizarán en las fotografías los detalles que pueden funcionar como puntos de paso de distintas zonas del terreno. Una vez localizados dichos detalles, procederemos a marcarlos en dos de las fotografías que se muestran en la parte derecha. Luego, se presionará sobre el botón de “Marcado automático”.

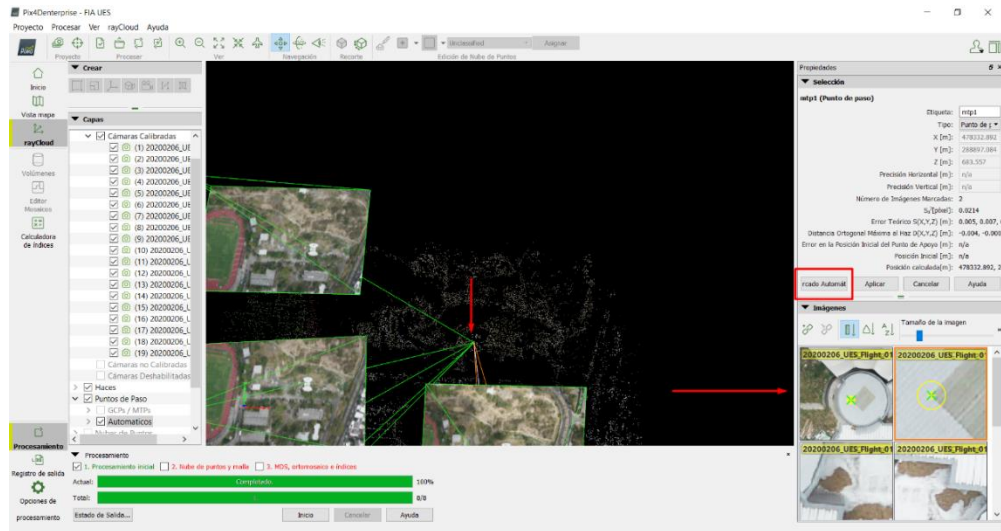


Figura No. 86. Elección de los puntos de pasos. Fuente: Elaboración propia.

Luego de que el programa marque automáticamente los puntos de paso, debemos verificar en las fotografías de la parte derecha si los puntos se mantienen en la posición real y ajustarlos en caso de ser necesario.

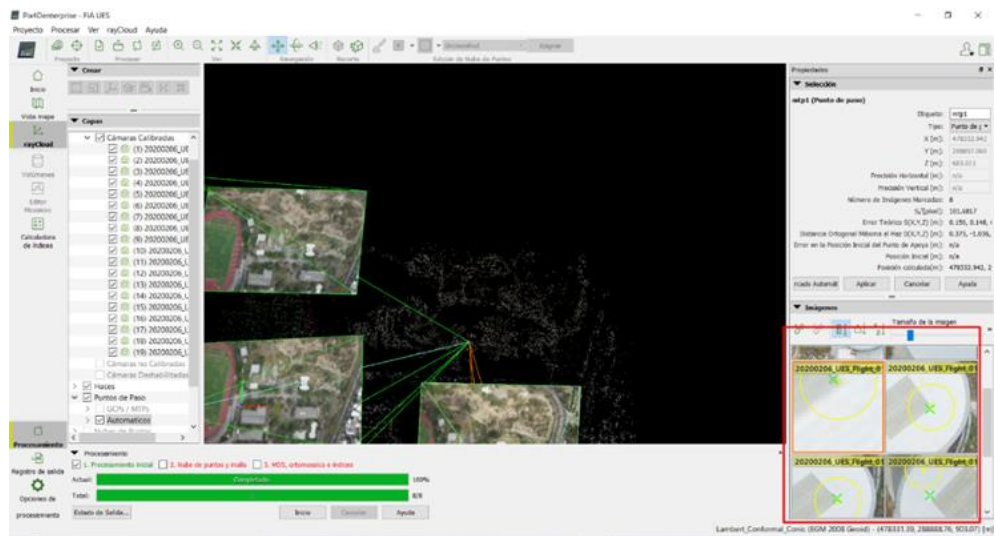


Figura No. 87. Ajustes de los puntos de pasos. Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber ajustado los puntos, presionamos en el botón “Aplicar”. Este procedimiento se repite para cada punto de paso que se colocará en el proyecto. La cantidad necesaria se determina a partir de las dimensiones del área del terreno a procesar. En este trabajo se marcaron un total de 17 puntos de paso.

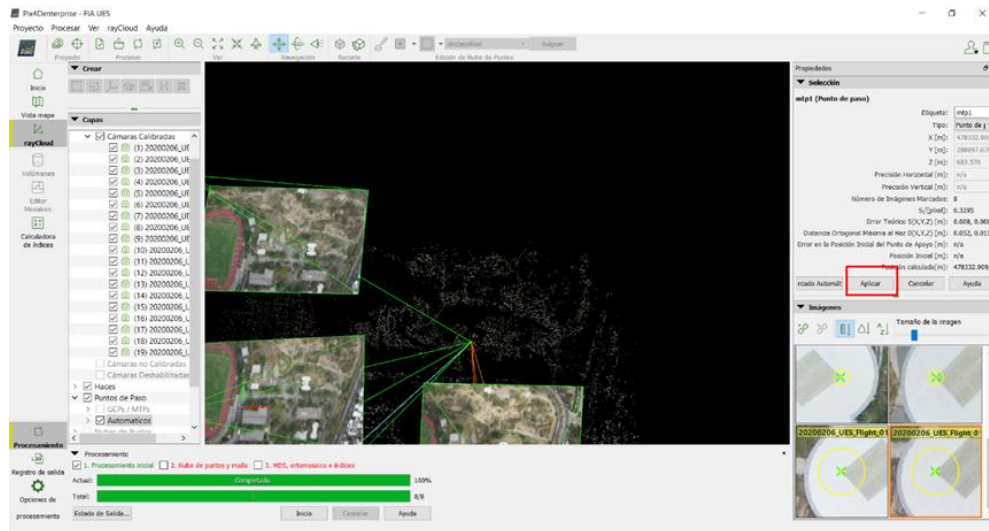


Figura No. 88. Ajustar los puntos de paso en los 17 puntos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se observa un marcador con lo cual ya nos indicaría que hemos colocado un punto de paso dentro del proyecto. También se pueden observar qué fotografías que tienen relación con dicho punto de paso.

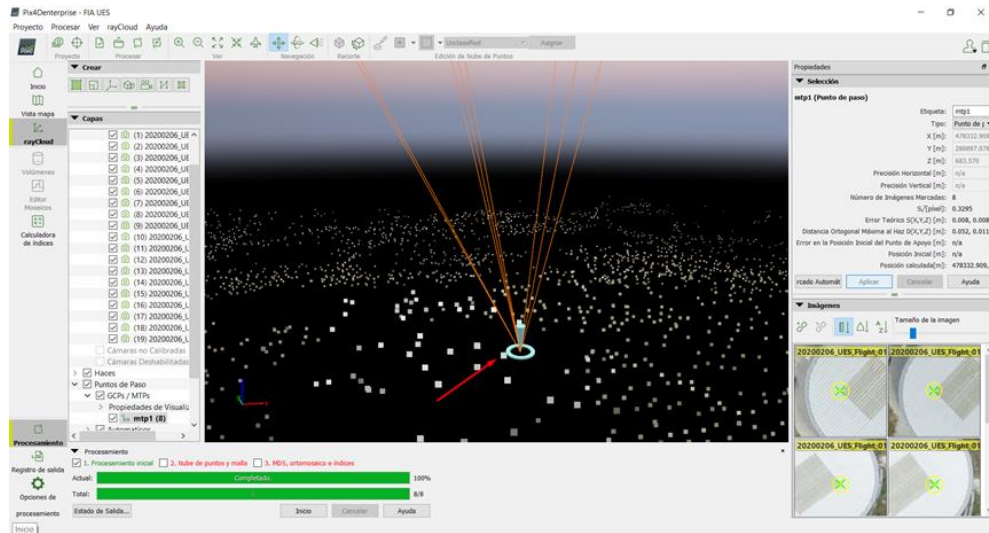


Figura No. 89. Verificación que el punto de paso está dentro del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a haber colocado todos los puntos de paso, se tiene una vista general de estos puntos colocados a lo largo del terreno. Como recomendación y siempre que sea posible, estos se deben distribuir uniformemente por todo el terreno evaluado.

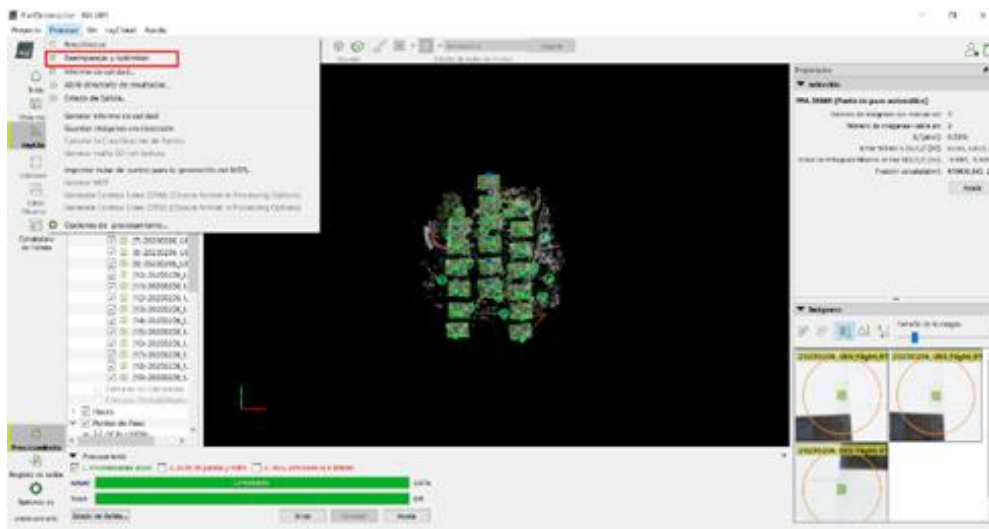


Figura No. 90. Seleccionar reemplazar y optimizar. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la pestaña procesar se presiona en “Reemparejar y optimizar”, esperamos a que el programa realice este proceso.

El siguiente paso a seguir es la creación y ubicación de los puntos de control que se tomaron en campo. Estos puntos de control pueden ser colocados o, de la misma manera que los puntos de control, pueden ser detalles que ya se encuentren en el terreno. La cantidad de los puntos de control que se deben considerar varía de acuerdo a las dimensiones del terreno, en este caso se tomaron 8 puntos de control.

Se procede a la creación de un archivo con extensión .txt, y se detallan el nombre y las coordenadas de cada punto de control, las cuales deben estar en el mismo sistema de referencia previamente cargado en el programa.

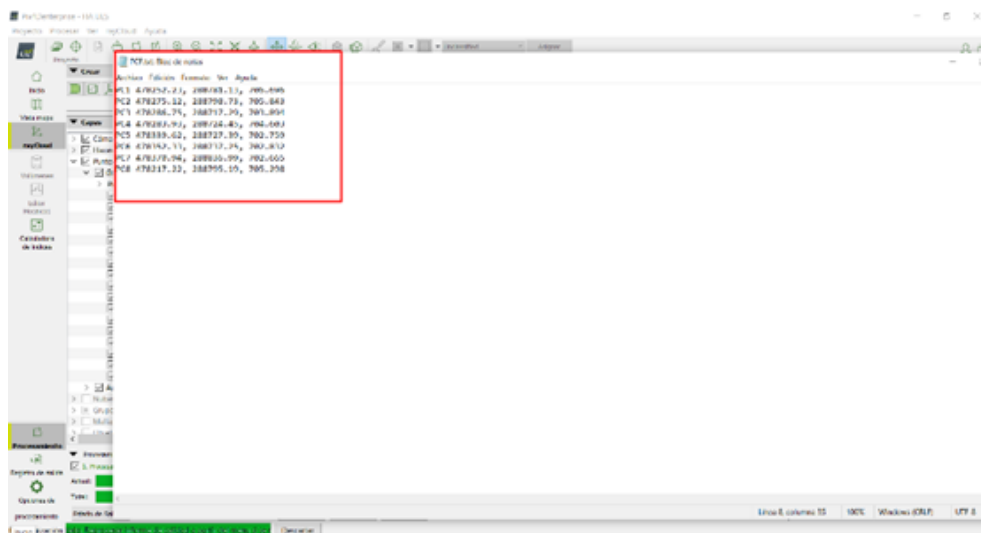


Figura No. 91. Archivo .txt con las coordenadas de punto de control. Fuente: Elaboración propia.

Después de haber escrito todas las coordenadas de los puntos de control, se procede a buscar en la pestaña “Proyecto” la opción de “Gestor GCP/MTP”.

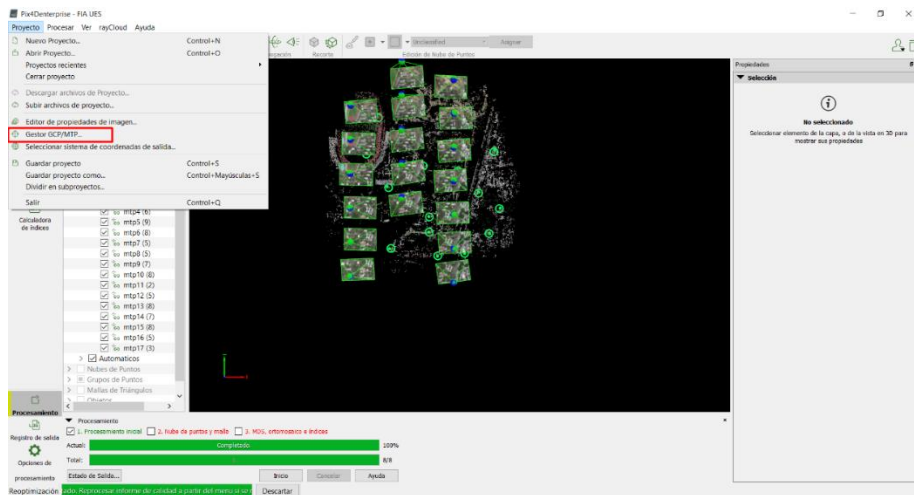


Figura No. 92. Importación de archivo .txt. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la interfaz, presionaremos el botón de “Importar puntos de apoyo”, para cargar los datos dentro del software.

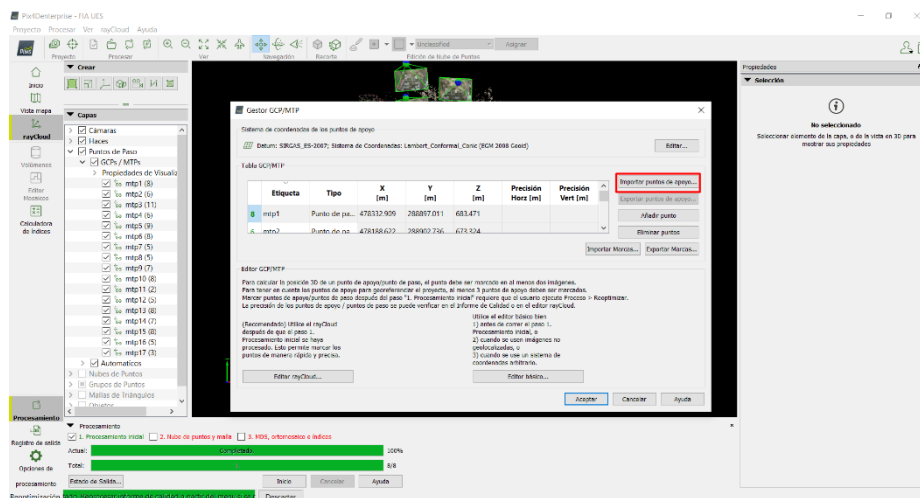


Figura No. 93. Importación de puntos de control. Fuente: Elaboración propia.

Al presionar en dicho botón revisaremos que el orden de las coordenadas coincida con el del archivo .txt previamente creado. Luego procederemos a presionar en “explorar” y buscaremos el archivo dentro de la ruta en donde se encuentra.

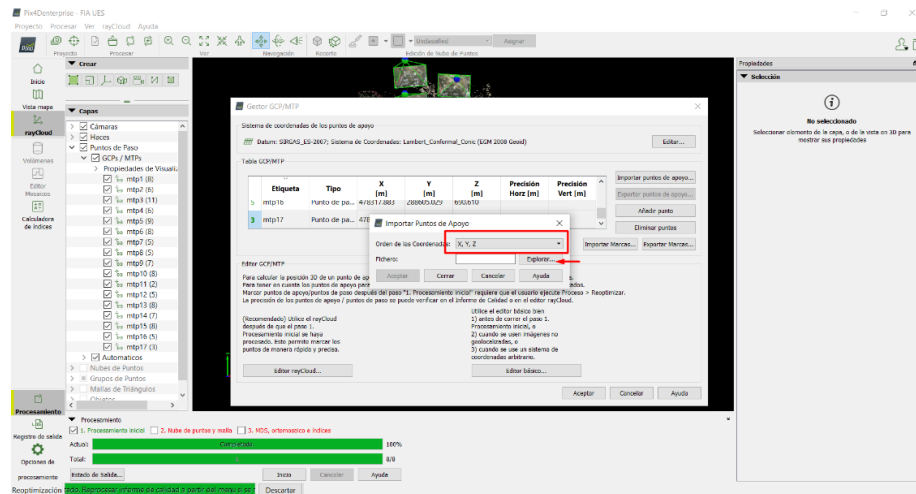


Figura No. 94. Exportar archivos en .txt. Fuente: Elaboración propia.

Una vez cargado el archivo solamente se presiona en “Aceptar”.

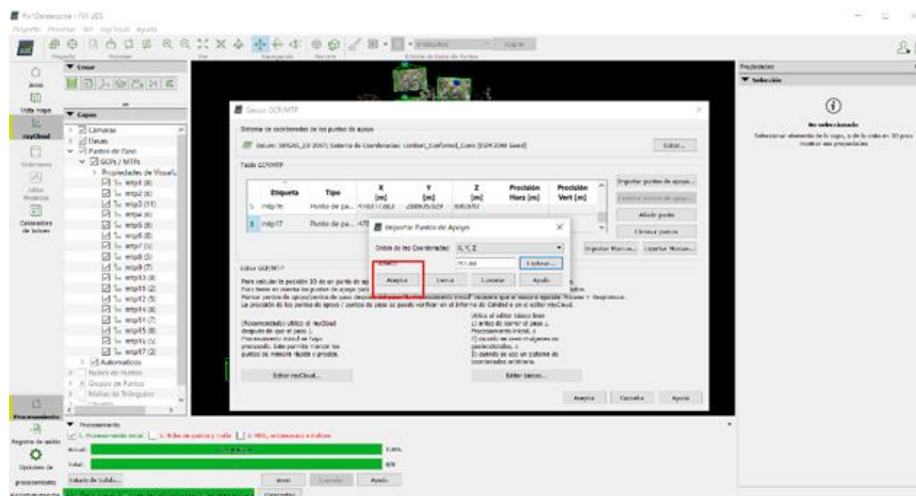


Figura No. 95. Exportar archivos en .txt. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se asegura que los puntos de control estén cargados y se da clic en “Aceptar”.

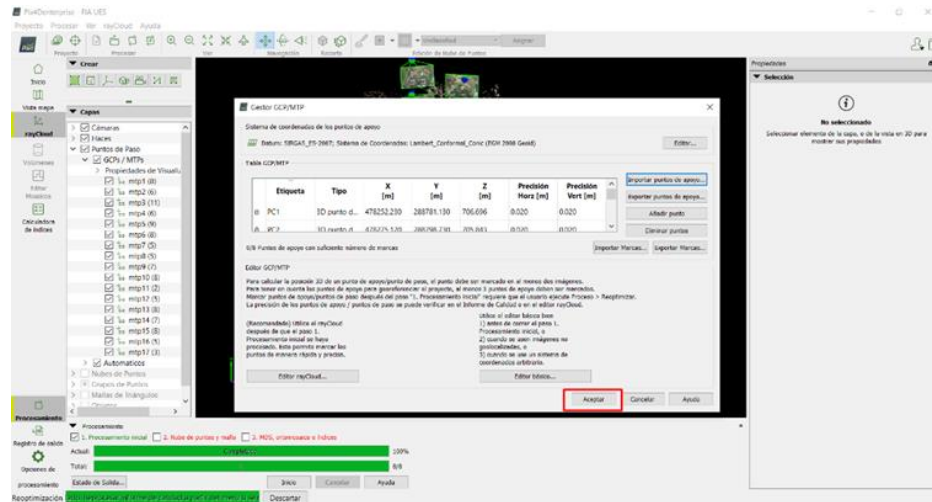


Figura No. 96. Cargar puntos de control. Fuente: Elaboración propia.

Luego de presionar en “Aceptar” el programa muestra el siguiente aviso, en el cual se debe dar clic en “Sí”.

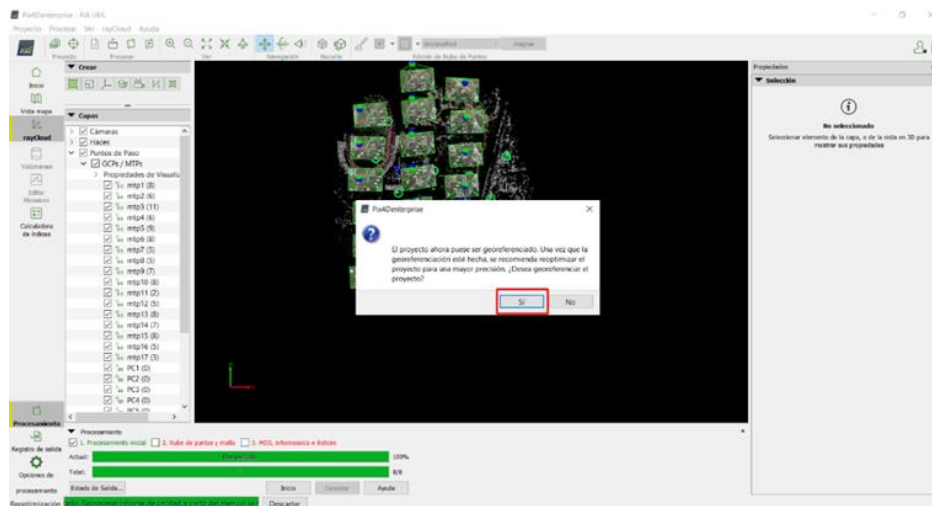


Figura No. 97. Aceptación de la carga de puntos de control. Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar este proceso, se puede observar en la siguiente interfaz los marcadores azules que representan los puntos de control del terreno en estudio.

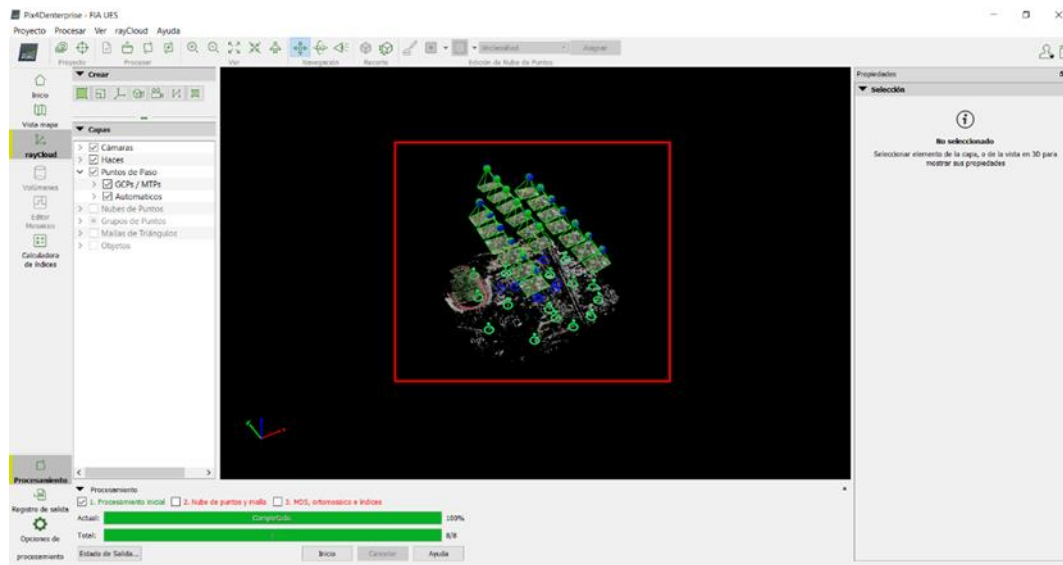


Figura No. 98. Verificación de los puntos de control en PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

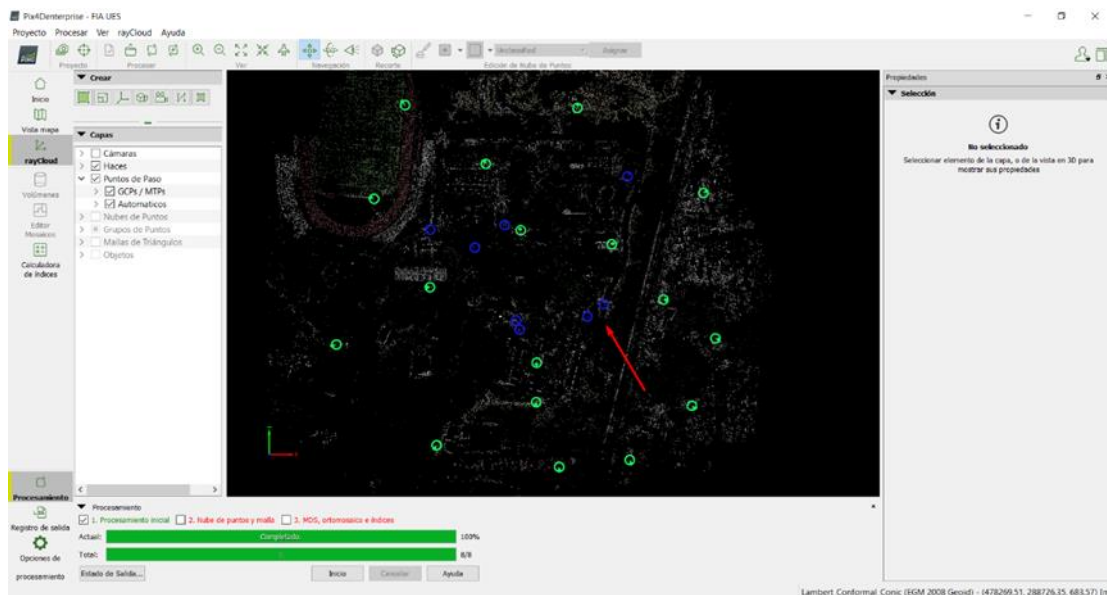


Figura No. 99. Verificación de los puntos de control en PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

Al presionar sobre un punto de control, el software automáticamente marca la ubicación dentro de las fotografías, sin embargo, por lo general este punto marcado no coincide con el tomado realmente en campo, por lo que se realizará un ajuste del punto del control.

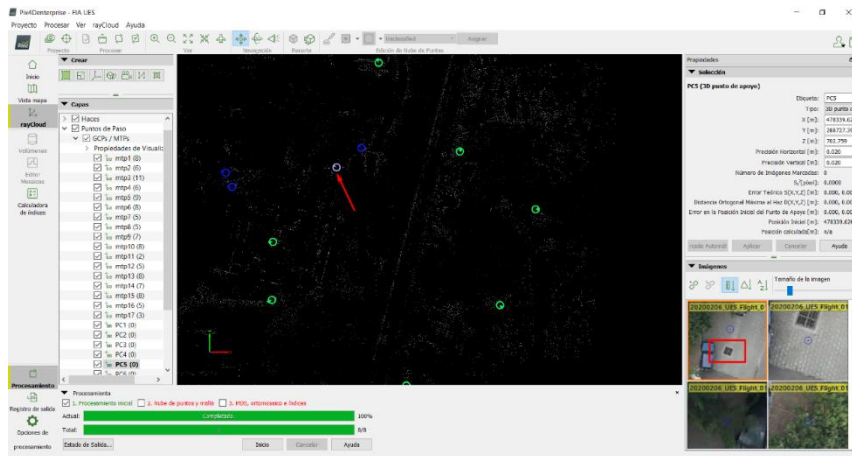


Figura No. 100. Verificación de los puntos de control en PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento se repite para cada punto de control del proyecto. Estos puntos se pueden observar a manera de resumen en la parte izquierda de la pantalla.

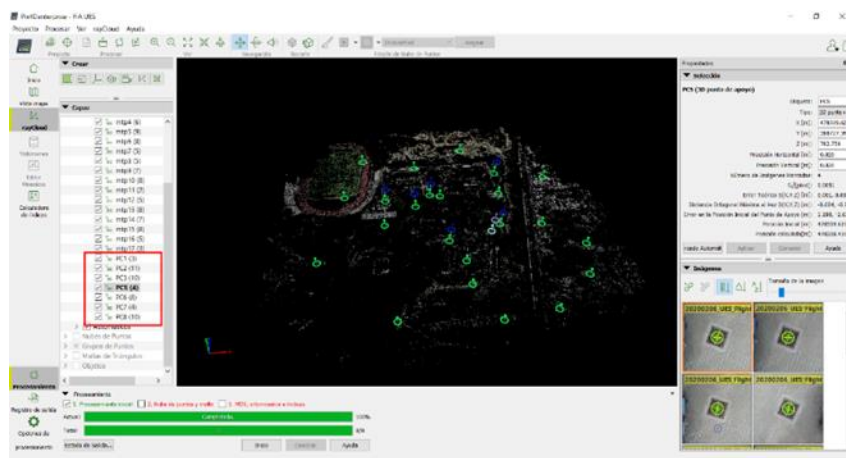


Figura No. 101. Verificación de los puntos de control en PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se presiona en la opción “Reemparejar y optimizar” de la pestaña procesar.

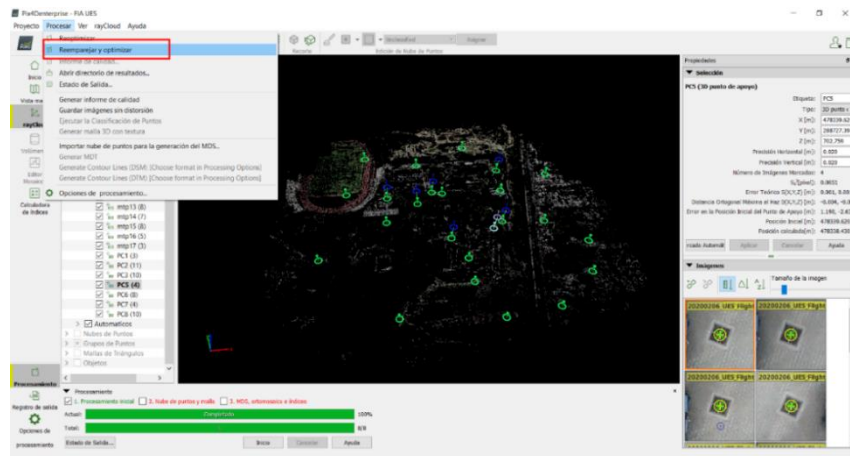


Figura No. 102. Opción de reemparejar y optimizar. Fuente: Elaboración propia.

Con este último paso termina la primera etapa del procesamiento. Para la segunda etapa debemos presionar en las opciones de procesamiento para configurar dichas opciones.

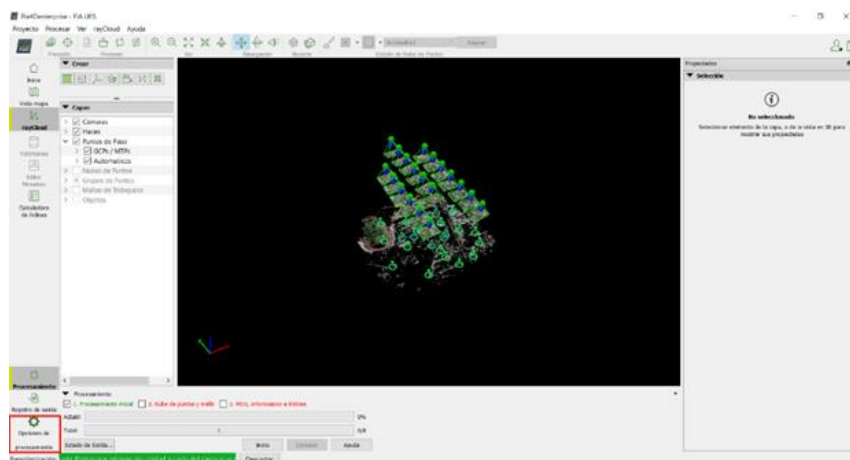


Figura No. 103. Verificación de los puntos de control en PIX4D. Fuente: Elaboración propia.

Primero se debe asegurar que únicamente esté marcada la opción “2. Nube de Puntos y Mallas”. En esta etapa aparecen dos pestañas, la primera es la “Nube de Puntos”, en donde se marcarán las casillas que se presentan a continuación:

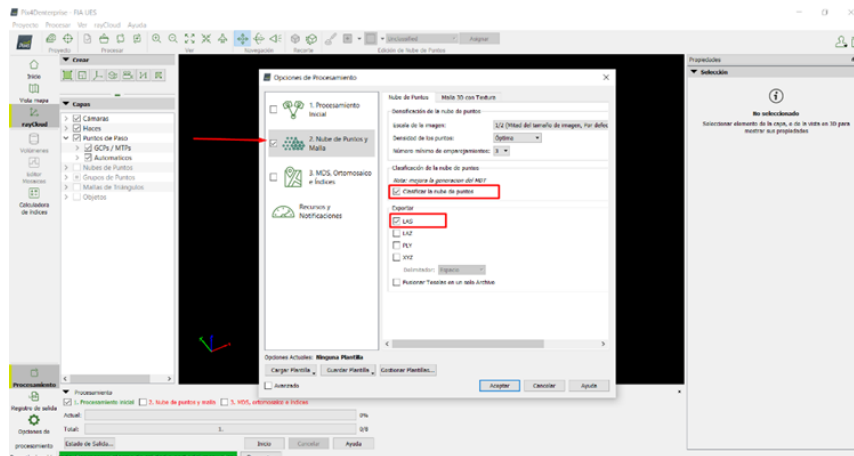


Figura No. 104. Verificar que sólo el paso 2 este seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

En la segunda pestaña de “Malla 3D con Textura” se deberán marcar las siguientes casillas:

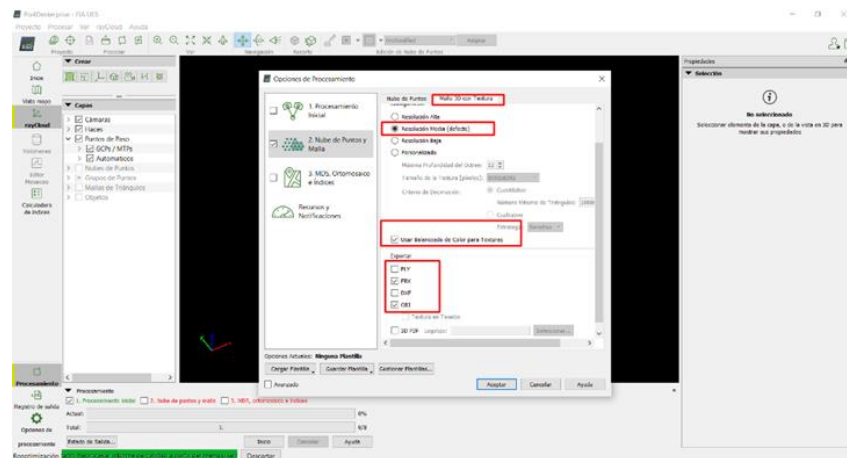


Figura No. 105. Parámetros para el paso 2. Fuente: Elaboración propia.

Una vez se hayan aplicado las opciones correspondientes, se debe asegurar que solamente esté marcada la casilla de “2. Nube de puntos y malla”, y procedemos a presionar en “Inicio”. Este proceso tardará varios minutos dependiendo del tamaño del proyecto y de las especificaciones técnicas de la computadora.

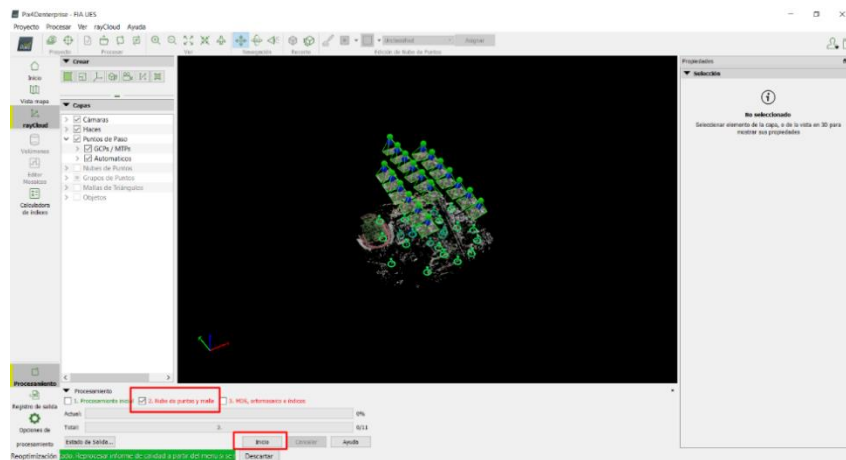


Figura No. 106. Procesamiento paso 2. Fuente: Elaboración propia.

Al haber concluido este proceso, el programa genera un reporte de calidad con los resultados obtenidos de la segunda etapa del procesamiento.

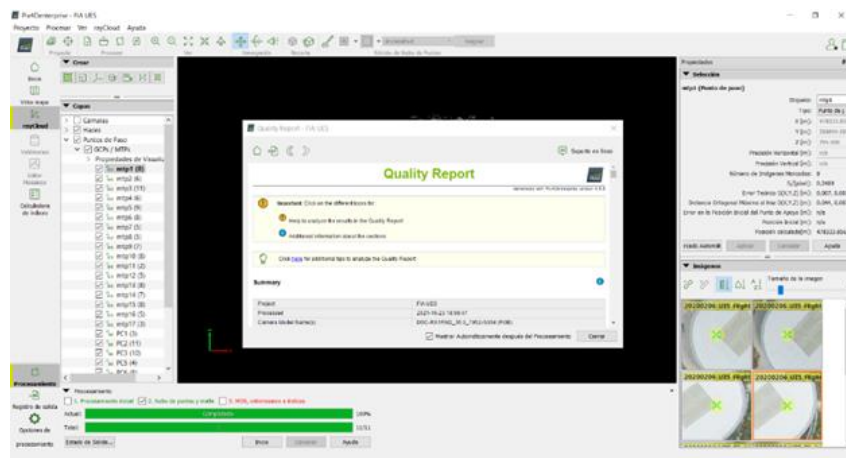


Figura No. 107. Reporte de calidad. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se procede a verificar con algún punto con coordenadas conocidas si estas coinciden. Como se puede observar en la imagen, las coordenadas del programa con las del punto de verificación tienen muy poco de error de diferencia, por lo que nos aseguramos que la segunda etapa ha sido procesada con éxito.

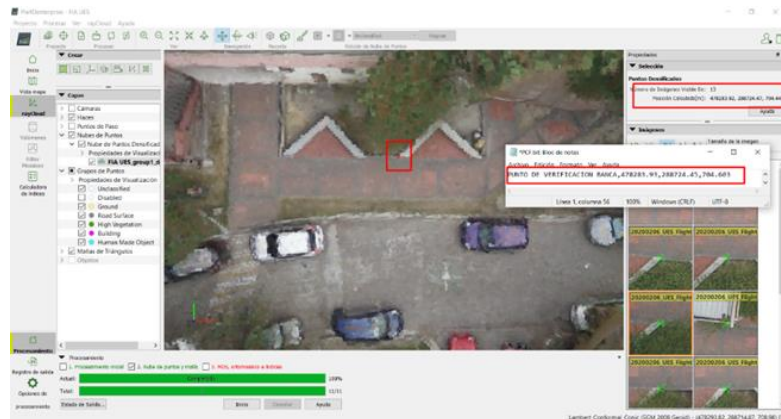


Figura No. 108. Verificación de un punto conocido. Fuente: Elaboración propia.

Con esto concluye la segunda etapa. Para iniciar con la tercera etapa del procesamiento procedemos a seleccionar en “Opciones de procesamiento”, para configurar el siguiente paso.

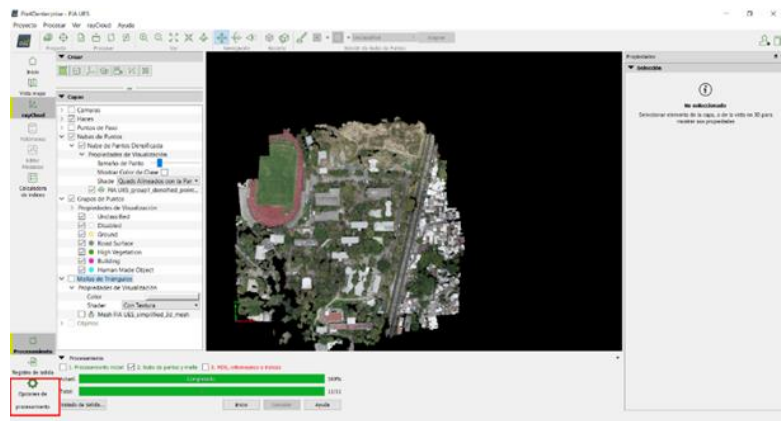


Figura No. 109. Inicio paso 3. Fuente: Elaboración propia.

Primero seleccionamos la casilla de “3. MDS, Ortomosaico e Índices”, y marcamos las opciones que se encuentran señaladas en las siguientes imágenes.

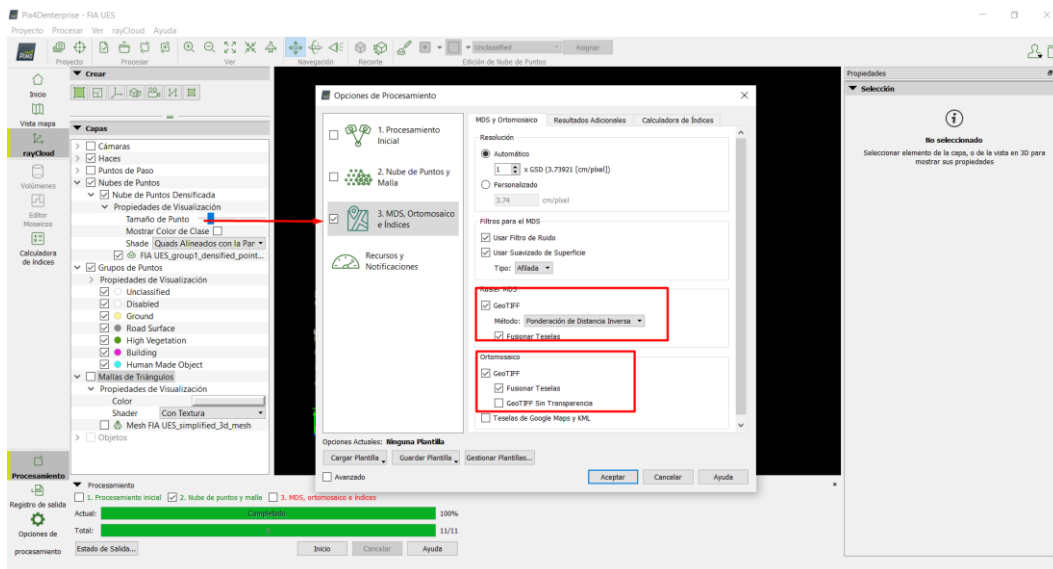


Figura No. 110. Parámetros para paso 3. Fuente: Elaboración propia.

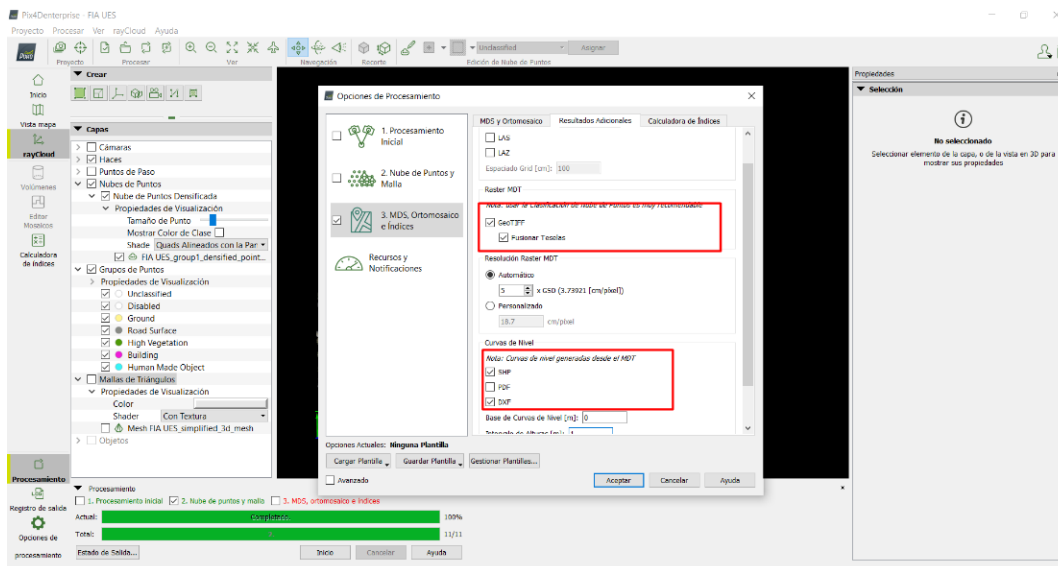


Figura No. 111. Parámetros para paso 3. Fuente: Elaboración propia.

Al presionar sobre la pestaña de “Editor Mosaicos” se podrá observar el ortomosaico generado, que es el resultado final del procesamiento por el programa Pix4D Mapper. Luego de esto, se procede a exportar la imagen a un archivo KML/KMZ.



Figura No. 114. Ortofoto. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la exportación al archivo con extensión KML/KMZ se utilizará el programa “Global Mapper”, que previamente se utilizó para crear el archivo del sistema de referencia geodésico “SIRGAS ES-2007”. Se presiona sobre el botón “Open Data Files”.



Figura No. 115. Interfaz Global Mapper. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la carpeta del proyecto, se debe buscar la carpeta que tiene el nombre de “3_dsm_ortho”, en la cual se encuentra la carpeta “2_mosaic”. Dentro de esta última se contiene el ortomosaico que se generó en la tercera etapa del procesamiento el cual es el archivo que se cargará en el software “Global Mapper”. La extensión de este archivo es .tif.

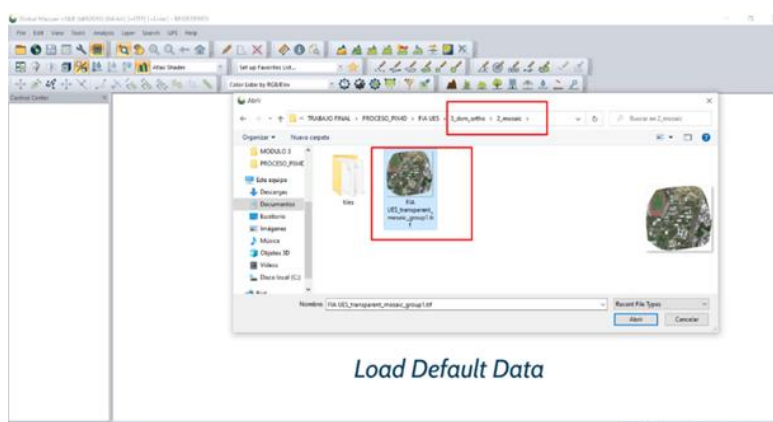


Figura No. 116. Carga de archivo con extensión .tif. Fuente: Elaboración propia.

Al cargarlo dentro del programa, se debe asegurar que en la parte inferior derecha se encuentre el sistema de referencia geodésico con el cual se ha trabajado el proyecto.

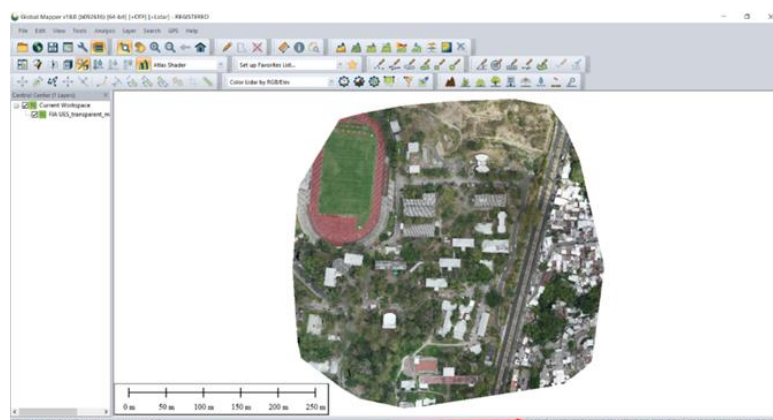


Figura No. 117. Verificación de sistema de referencia en parte inferior derecha. Fuente: Elaboración propia.

Para exportar el archivo, presionaremos en la pestaña “File”, luego en “Export” y por último en “Export Raster/Image Format”.

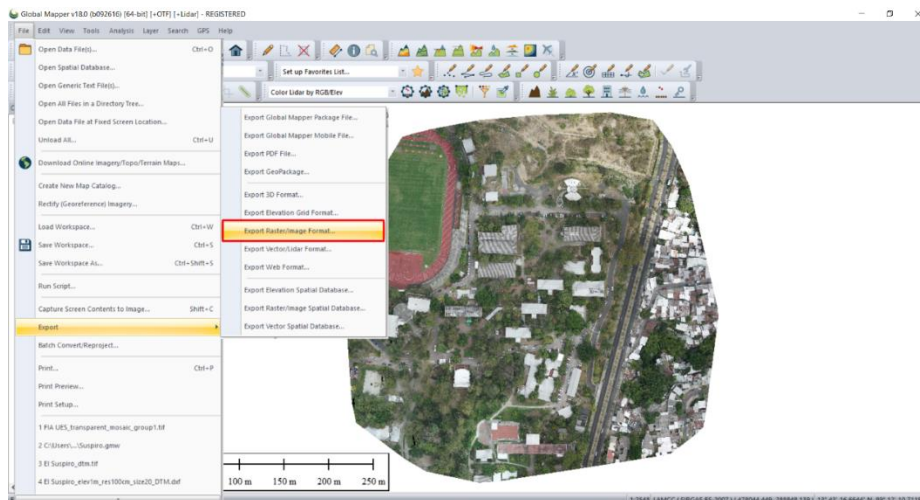


Figura No. 118. Exportar archivos. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la siguiente interfaz se presentarán varios formatos que se pueden elegir para exportar. En este caso se selecciona la opción KML/KMZ.

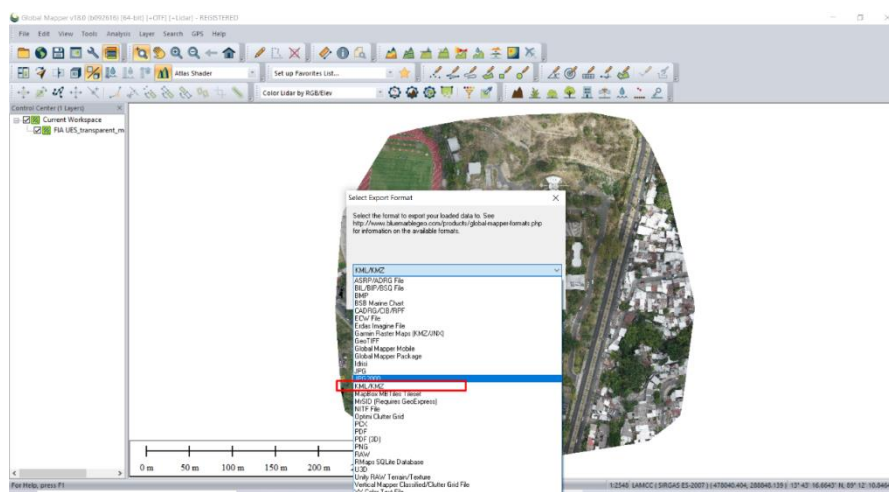


Figura No. 119. Selección del archivo KML/KMZ para exportar. Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionado el formato, se presiona sobre el botón “Ok”.

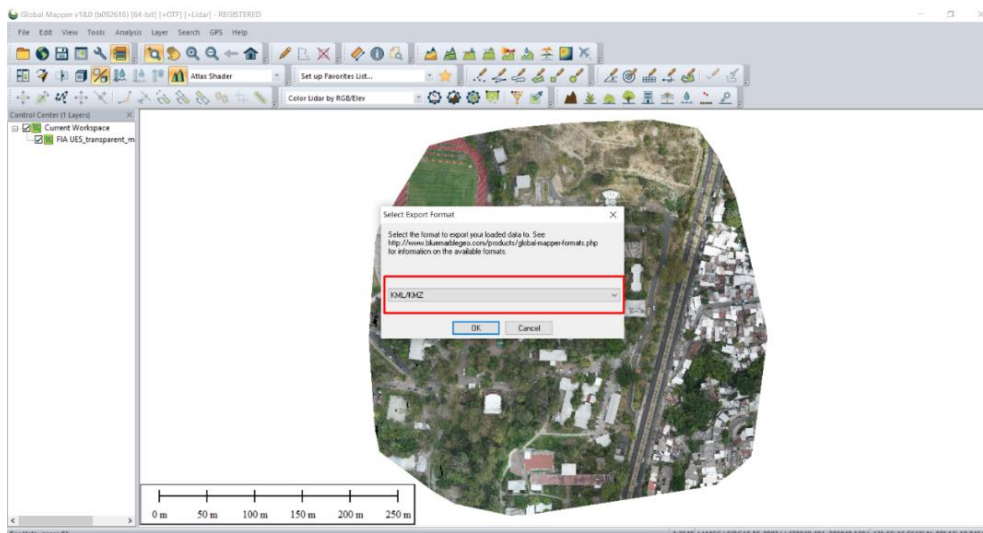


Figura No. 120. Selección del archivo KML/KMZ para exportar. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente aparecerán las siguientes opciones, las cuales se dejan por defecto y se presiona en “Ok” para seguir con la exportación del ortomosaico.

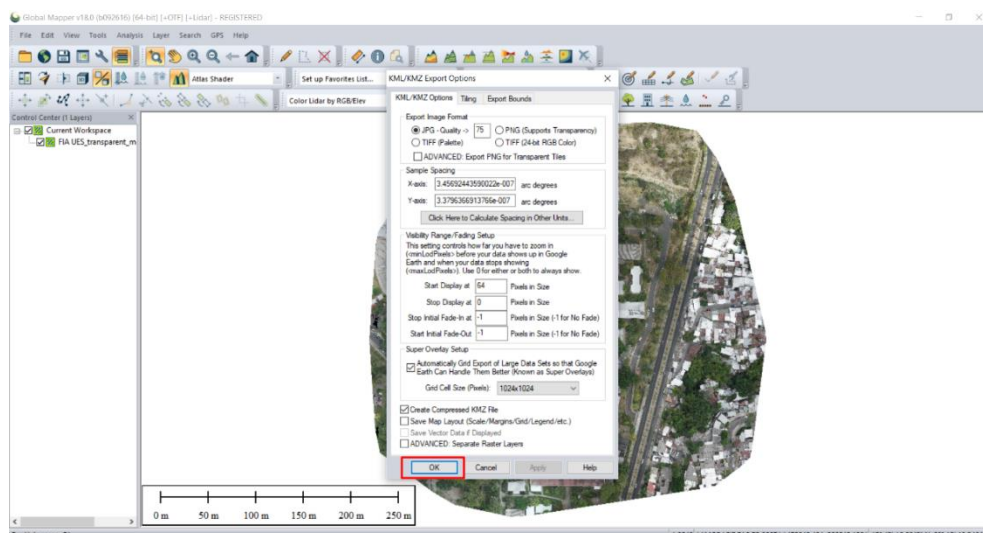


Figura No. 121. Selección del archivo KML/KMZ para exportar ortomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Luego se debe buscar la ruta en donde se guardará el archivo y se coloca el nombre.

A continuación, se presiona sobre el botón de “Guardar”.

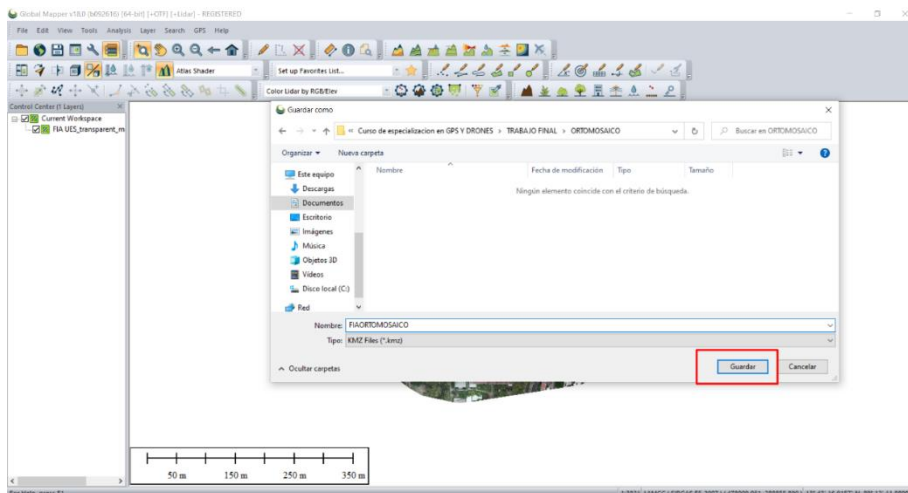


Figura No. 122. Ruta donde se almacenará la ortofoto. Fuente: Elaboración propia.

Para corroborar que el ortomosaico se exportó de manera correcta se procederá a abrir el archivo en “Google Earth”.

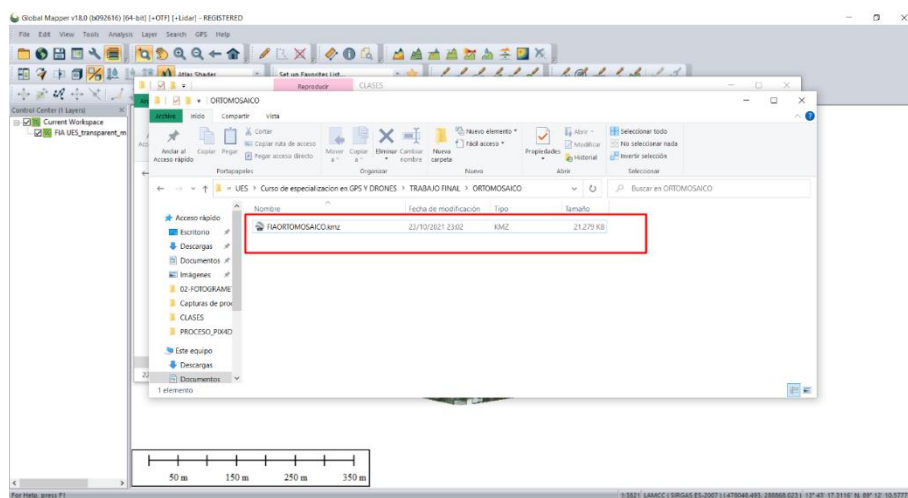


Figura No. 123. Abrir archivo en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

Una vez abierto el programa “Google Earth”, se marca la casilla que tiene el nombre del archivo previamente generado.

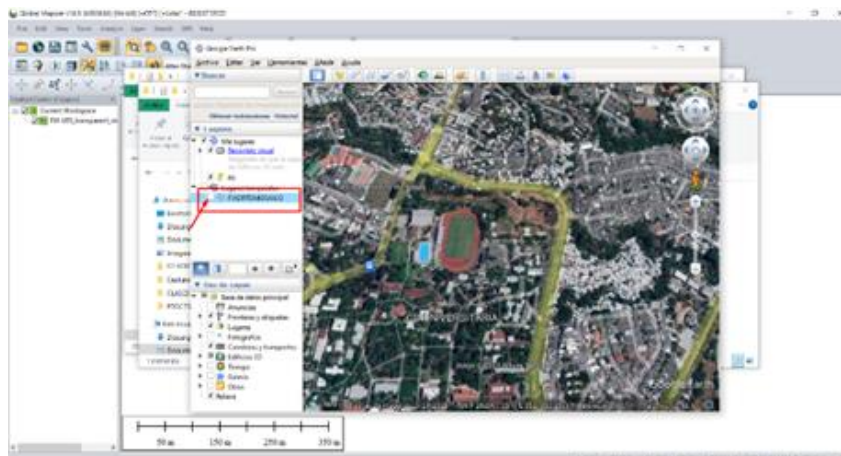


Figura No. 124. Abrir archivo en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la siguiente imagen, el ortomosaico fue procesado de forma correcta ya que coincide con la imagen satelital que proporciona el software “Google Earth”, por lo que se concluye que el proyecto fue procesado y georreferenciado de manera correcta.

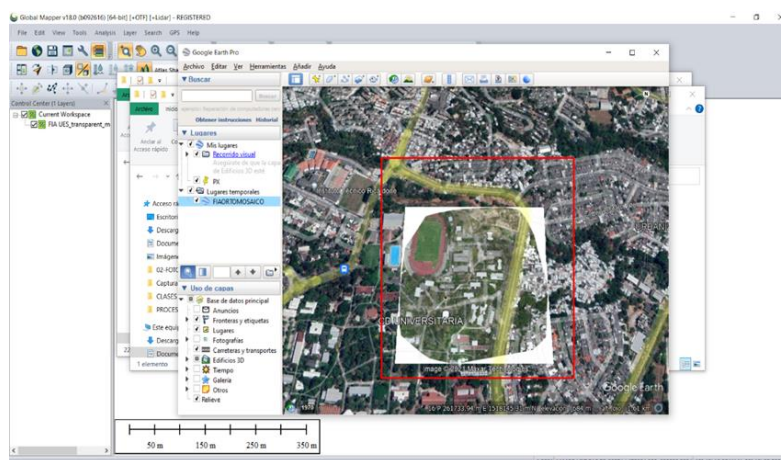


Figura No. 125. Abrir archivo en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado nos apoyaremos en el programa Pix4D, el cual al procesar el proyecto nos generara un informe en que podremos aceptar o rechazar el levantamiento fotogramétrico realizado.

Por lo que a continuación mostraremos las partes más importantes de este reporte:

En el resumen nos muestra el nombre del proyecto, la hora a la cual se hizo el procesamiento, tipo de cámara utilizada en el vuelo fotogramétrico, GSD promedio que es una medida en la que cada pixel de fotografía representa centimetro del área fotografiada y el área total.

Summary

Project	FIA UES
Processed	2021-10-23 18:09:47
Camera Model Name(s)	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.74 cm / 1.47 in
Area Covered	0.147 km ² / 14.6601 ha / 0.06 sq. mi. / 36.2446 acres

Después revisamos el control de calidad el cual nos arroja el siguiente resultado, es de resaltar que la georreferenciación no es aceptable al arrojar un error de 0.576 m.

Quality Check

🔍 Images	median of 37001 keypoints per image	✔️
🔍 Dataset	19 out of 19 images calibrated (100%), all images enabled	✔️
🔍 Camera Optimization	0.33% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔️
🔍 Matching	median of 12111.4 matches per calibrated image	✔️
🔍 Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.576 m	⚠️

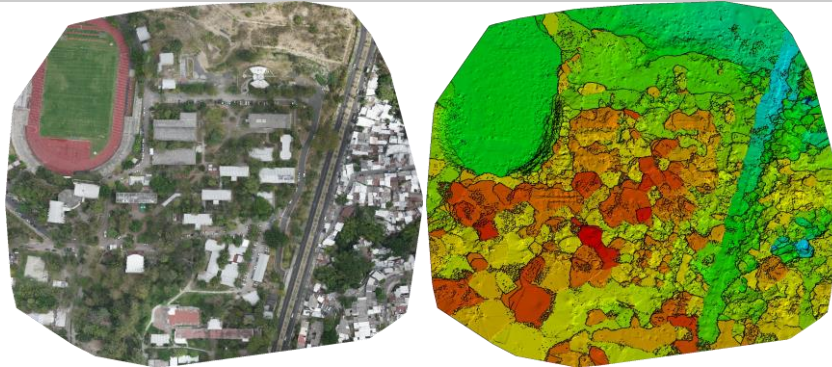


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

También nos presenta el proceso de los puntos de control,

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PC1 (3D)	0.020/ 0.020	-1.908	2.963	-0.009	0.853	2 / 3
PC2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.038	0.019	0.009	1.107	11 / 11
PC3 (3D)	0.020/ 0.020	0.034	-0.013	0.024	0.456	10 / 10
PC5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.001	0.040	0.172	4 / 4
PC6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.015	-0.010	0.723	8 / 8
PC7 (3D)	0.020/ 0.020	0.031	-0.021	-0.025	0.228	4 / 4
PC8 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.023	-0.020	0.422	10 / 10

Mean [m]		- 0.269139	0.420058	0.001261		
Sigma [m]		0.669512	1.038367	0.022089		
RMS Error [m]		0.721583	1.120114	0.022125		

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

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	36.84	47.37	57.89
0.00	3.00	63.16	52.63	42.11
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.692215	2.596954	-21.149943
Sigma [m]		0.252155	0.868205	0.281546
RMS Error [m]		1.710899	2.738238	21.151817

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

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.692215	2.596954	-21.149943

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

Relative Geolocation Variance

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

También mostramos información de la nube de puntos y la configuración de los pasos 2 y 3 .

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03m:47s
Time for Point Cloud Classification	01m:24s
Time for 3D Textured Mesh Generation	03m:53s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	6533648
Average Density (per m ³)	40.67

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.74 [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 (3.74 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Time for DSM Generation	05m:44s
Time for Orthomosaic Generation	06m:07s

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El proceso de fotogrametría realizado muestra un proceso rápido y aunque en caso particular tiene un error considerable de GCP en la mayoría de los casos estos pueden dar mejor resultado que los procesos topográficos convencionales.
- Es importante analizar el área al realizar el levantamiento fotogramétrico para una correcta aplicación, en busca de puntos de control que ofrezcan la mayor visibilidad sin obstrucción.
- Consideramos causa del error a GCP a que al momento del levantamiento fotogramétrico no se ubicaron lonas especiales para ser útiles como puntos de control para esta zona en específico que contiene bastantes estructuras.

6.2. RECOMENDACIONES

- Consideramos importante repetir el proceso para la zona asignada

BIBLIOGRAFÍA

C., M. E. (2004). *Manual of Photogrammetry*. Maryland: McGlone.

Ing, W. A. (2021). *Curso de especializacion en tecnologia gps y sensores remotos para proyectos de ingenieria civil*. Retrieved from <https://aula2.fia.ues.edu.sv>

J., W. T. (2015). *Comparison of DEMS derived from USGS DLG, SRTM*. DeWitt.

Salvador Funes, J. M. (2017, octubre). *TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS*.
San Salvador, El Salvador.

Soto, S. A. (n.d.). Retrieved from
https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/289/1/TESIS_LEVANTAMIENTOS_ALVARADO.pdf

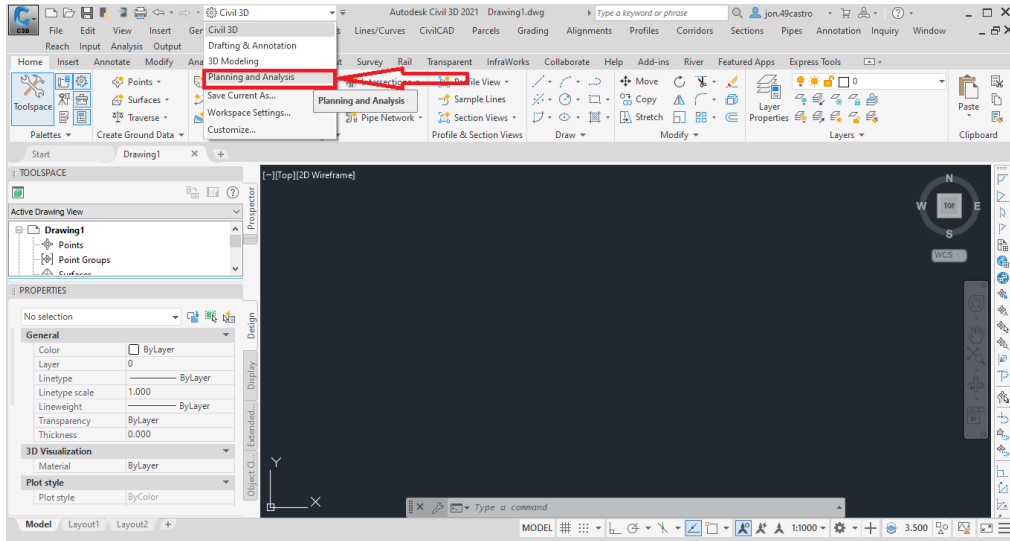
Sulebak. (2000). . *Applications of digital elevation models*. DYNAMAP Project, 11.

T., K. R. (1987). *Remote sensing and image processing*. New York: Lillesand,.

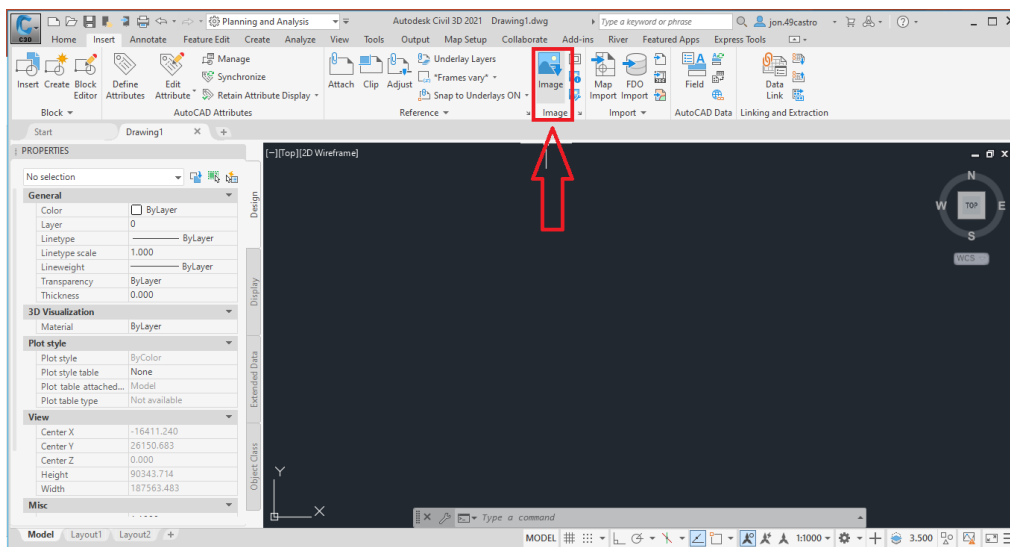
Zelaya, I. A. (2021). *TOPOGRAFIA DIGITAL CON ESTACION TOTAL Y COLECTOR TDS*. San Salvador, El Salvador.

ANEXOS

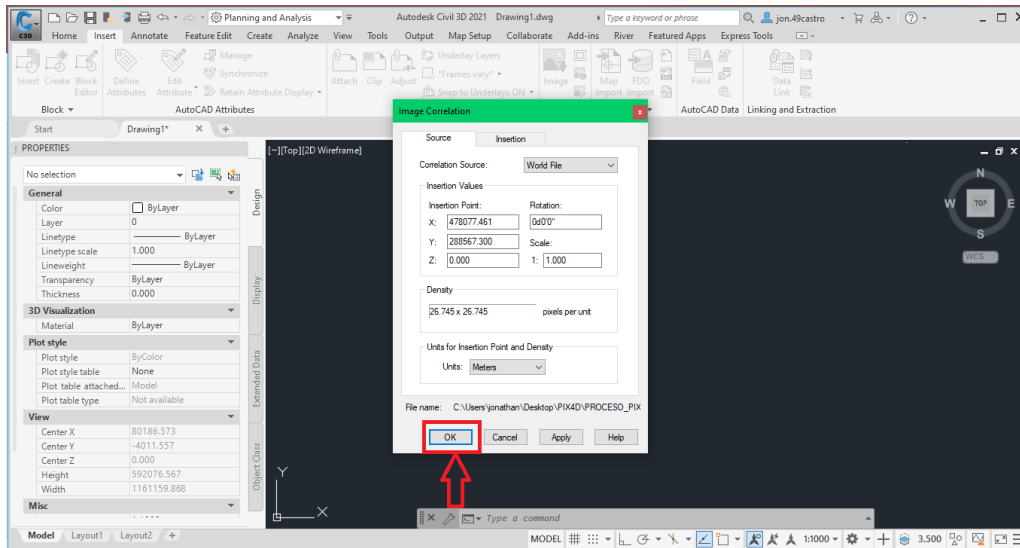
En el software AutoDesk Civil 3D nos dirigimos a “*planning and analysis*”



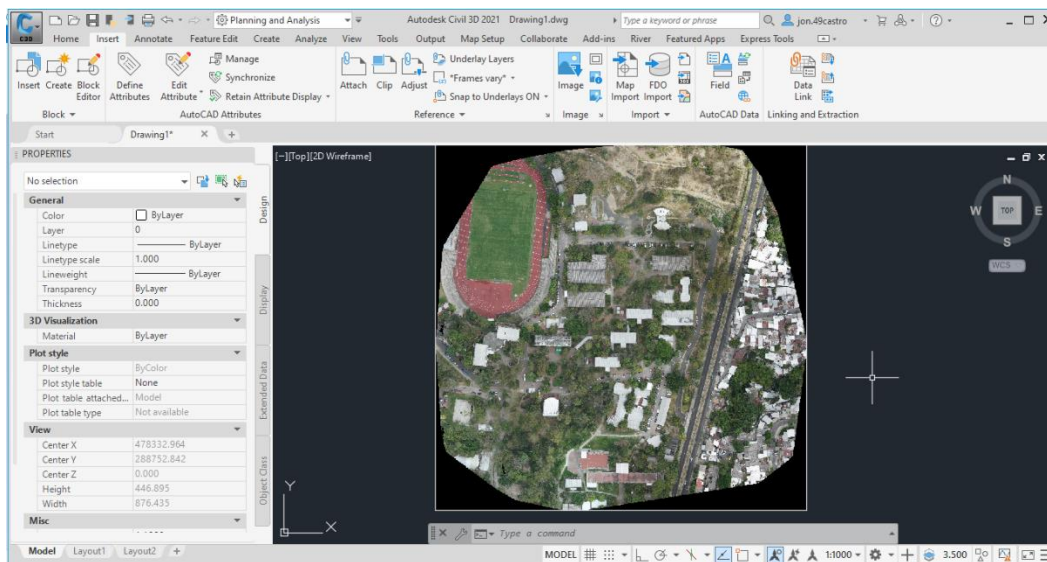
Nos desplazamos a la pestaña Inserta luego a Imagen, donde buscaremos en nuestro ordenador la ortofoto georreferenciada generada por PIX4D.



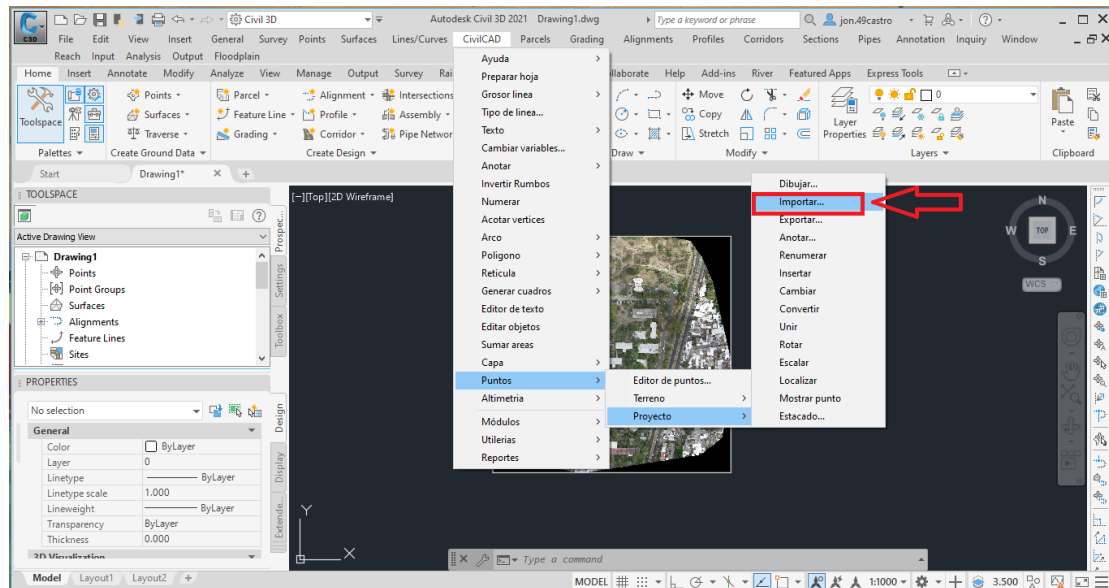
Nos aparece el siguiente cuadro de dialogo, le daremos Ok, debido a que la Imagen ya está referenciada al sistema de coordenadas SIRGAS-ES 2007.



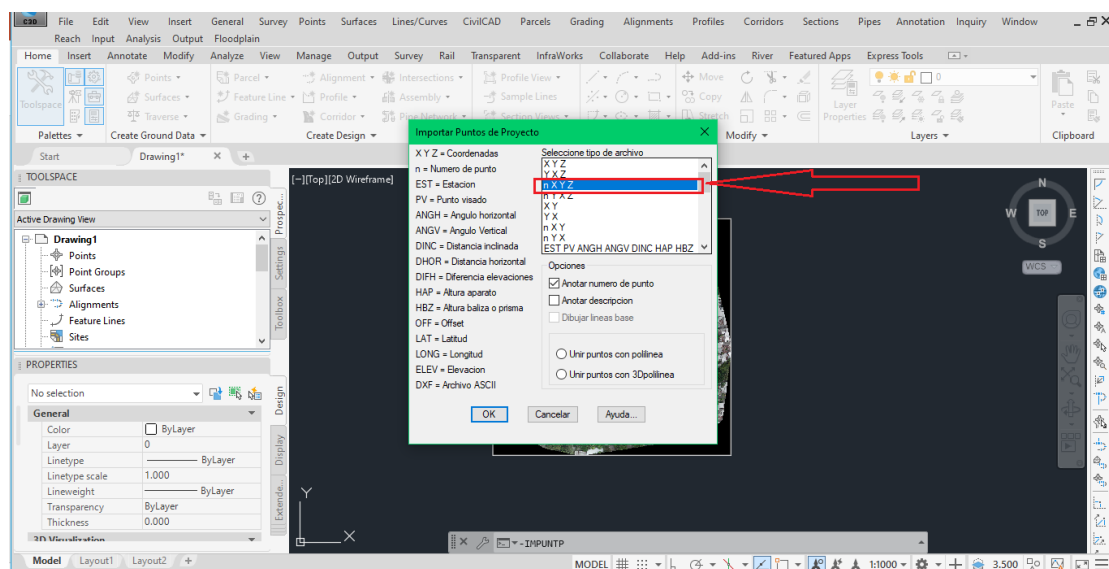
Nos queda la imagen del área solicitada.



Ahora con la ayuda del programa CivilCad nos apoyamos del levantamiento topográfico con estación total que se realizó, dirigiéndonos a la pestaña CivilCad, puntos, proyecto, importar.



En el cuadro de diálogo elegimos la opción de NXYZ y nos fijamos en el recuadro de anotar descripción, y continuamos dando Ok.

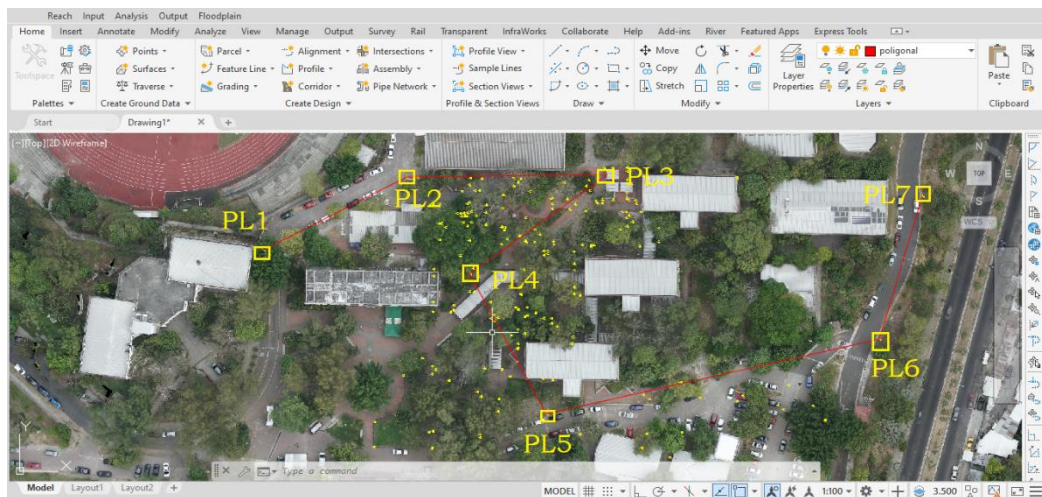


Procedemos a mostrar la poligonal abierta generada en el levantamiento Con los extremos amarrados a puntos cuyas coordenadas Son conocidas:

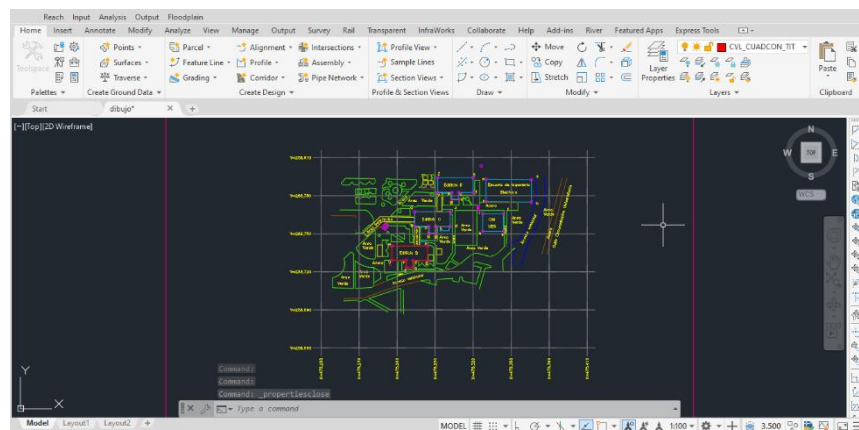
PL1 Este:478175.2582 - Norte:288770.3145 - Elev.ortogonal:704.787

PL1 Este:478377.3452 - Norte: 288787.6201 - Elev.ortogonal:702.822

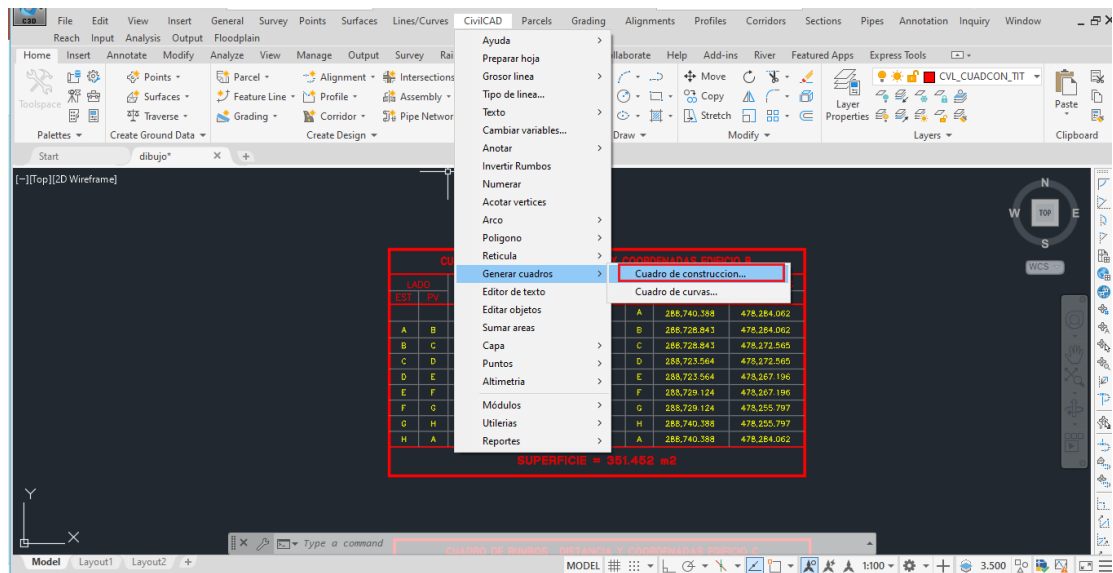
Y continuamos el dibujo de forma manual apoyándonos en los datos de la ortofoto y puntos del levantamiento.



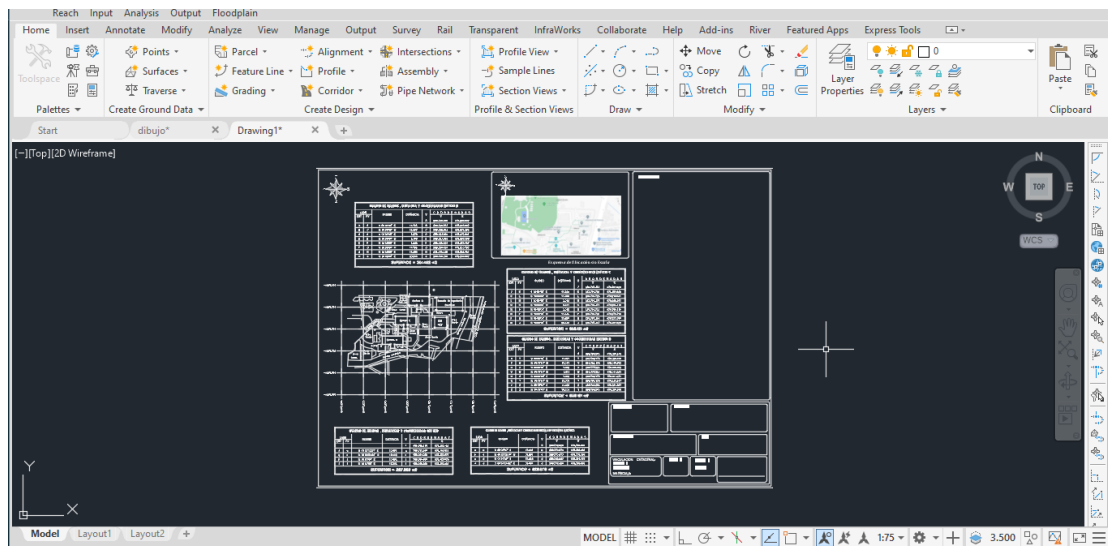
Continuamos poniendo la retícula con ayuda de civil cad como se muestra a continuación.



Continuamos con la colocación de los cuadros de rumbos y distancias siguiendo la ruta CiviCad, generar cuadro, cuadro de construcción, y lo aplicamos a las estructuras.



Finalizamos agregando membrete y ordenando la información.



CUADRO DE CONSTRUCCION DE CADA EDIFICIO

CUADRO DE RUMBOS , DISTANCIA Y COORDENADAS EDIFICIO B.						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				A	288,740.388	478,284.082
A	B	S 00°00'00" E	11.545	B	288,728.843	478,284.082
B	C	N 90°00'00" W	11.497	C	288,728.843	478,272.565
C	D	S 00°00'00" E	5.279	D	288,723.564	478,272.565
D	E	N 90°00'00" W	5.389	E	288,723.564	478,267.198
E	F	N 00°00'00" E	5.580	F	288,729.124	478,267.198
F	G	N 90°00'00" W	11.399	G	288,729.124	478,255.797
G	H	N 00°00'00" E	11.264	H	288,740.388	478,255.797
H	A	N 90°00'00" E	28.264	A	288,740.388	478,284.082
SUPERFICIE = 351.452 m²						

CUADRO DE RUMBOS , DISTANCIA Y COORDENADAS EDIFICIO C						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				J	288,767.354	478,301.929
J	K	S 00°00'00" E	11.629	K	288,755.725	478,301.929
K	L	N 90°00'00" W	11.388	L	288,755.725	478,290.541
L	M	S 00°00'00" E	5.352	M	288,750.374	478,290.541
M	N	N 90°00'00" W	5.411	N	288,750.374	478,285.130
N	O	N 00°00'00" E	5.352	O	288,755.725	478,285.130
O	P	N 90°00'00" W	11.335	P	288,755.725	478,273.796
P	Q	N 00°00'00" E	11.629	Q	288,767.354	478,273.796
Q	J	N 90°00'00" E	28.133	J	288,767.354	478,301.929
SUPERFICIE = 356.121 m²						

CUADRO DE RUMBOS , DISTANCIAS Y COORDENADAS EDIFICIO D						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				S	288,794.203	478,320.040
S	T	S 00°00'00" E	11.629	T	288,782.574	478,320.040
T	U	N 90°00'00" W	11.388	U	288,782.574	478,308.652
U	V	S 00°00'00" E	5.352	V	288,777.223	478,308.652
V	W	N 90°00'00" W	5.411	W	288,777.223	478,303.241
W	X	N 00°00'00" E	5.352	X	288,782.574	478,303.241
X	Y	N 90°00'00" W	11.335	Y	288,782.574	478,291.907
Y	Z	N 00°00'00" E	11.629	Z	288,794.203	478,291.907
Z	S	N 90°00'00" E	28.133	S	288,794.203	478,320.040
SUPERFICIE = 356.121 m²						

CUADRO DE RUMBOS , DISTANCIAS Y COORDENADAS ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				a	288,782.626	478,365.963
a	b	S 00°00'00" E	17.649	b	288,774.976	478,365.963
b	c	N 88°12'20.36" W	35.802	c	288,775.473	478,330.164
c	d	N 00°00'00" E	17.524	d	288,792.997	478,330.164
d	a	S 88°24'21.82" E	35.801	a	288,782.626	478,365.963
SUPERFICIE = 629.575 m²						

CUADRO DE RUMBOS , DISTANCIAS Y COORDENADAS CIM UES

LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				f	288,765.850	478,343.925
f	g	S 00°23'13.27" E	13.901	g	288,751.949	478,344.019
g	h	N 89°58'04.96" W	16.442	h	288,751.958	478,327.576
h	i	N 00°00'00" E	13.892	i	288,765.850	478,327.576
i	f	N 90°00'00" E	16.348	f	288,765.850	478,343.925

SUPERFICIE = 227.832 m²