

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



**UTILIZACIÓN DE DRONES EN LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS PARA EL ESTUDIO DE CÁRCAVAS
EN ZONAS DE ALTA VULNERABILIDAD EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**BARRERA QUINTANILLA, NICOLÁS ALFREDO
GONZÁLEZ RIVERA, FIDEL ERNESTO
TENSUN LÓPEZ, JUAN ALONSO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2023

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 :

(Interino)

ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título

:

**UTILIZACIÓN DE DRONES EN LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS PARA EL ESTUDIO DE CÁRCAVAS
EN ZONAS DE ALTA VULNERABILIDAD EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR**

Presentado por

:

**BARRERA QUINTANILLA, NICOLÁS ALFREDO
GONZÁLEZ RIVERA, FIDEL ERNESTO
TENSUN LÓPEZ, JUAN ALONSO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, julio 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Objetivos	5
1.4. Alcances	6
1.5. Limitaciones	7
1.6. Justificación	9
CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE UNA CÁRCAVA	10
2.1. Definición de cárcavas	10
2.2. Formación de cárcavas.....	10
2.3. Consecuencias de cárcavas en el medio.....	11
2.4. Clasificación de cárcavas.....	11
2.5. Tipos de cárcavas	16
2.6. Sobre la cartografía de las cárcavas.....	19
CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS DE GEODESIA	21
3.1. Sistemas de coordenadas.....	21
3.2. Sistema de coordenadas geográficas.....	21
3.3. Sistemas de coordenadas cartesianas	24

3.4.	Tipos de proyecciones cartográficas:.....	25
3.5.	Tipos de coordenadas.....	30
CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS		32
4.1.	Definición sistemas de referencia geodésico	32
4.2.	Elipsoide de referencia.....	36
4.3.	Geoide	38
4.4.	Elipsoide WGS-1984.....	40
4.5.	Datum geodésico	43
4.6.	Datum Norteamericano 1927.....	44
4.7.	Datum Global WGS-1984	46
CAPÍTULO V: SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS MODERNOS		
49		
5.1.	Sistema Internacional de Referencia Terrestre	51
5.2.	Marco Internacional de Referencia Terrestre ITRF	52
5.3.	Sistemas y marcos de referencia regional SIRGAS.....	53
5.4.	Sistemas y marcos de referencia local SIRGAS-ES2007	56
CAPÍTULO VI: PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS		60
6.1.	Definición proyecciones cartográficas.....	60
6.2.	Universal Trasversa de Mercator UTM	63
6.3.	Cónica Conformal de Lambert Secante	66
CAPÍTULO VII: FUNDAMENTOS DE FOTOGRAMETRIA		69

7.1. Fotogrametría	69
7.2. Historia de la fotogrametría	72
7.3. Evolución de la fotogrametría	77
7.4. Tipos de fotogrametría	78
7.5. Método de la fotogrametría	82
7.6. Fotogrametría con drones.....	84
CAPÍTULO VIII: GENERALIDADES DE LOS DRONES	93
8.1. Funcionamiento de drones.....	93
8.2. Características y Tipos de drones.....	112
8.3. Tipos de sensores.....	114
CAPÍTULO IX: PLAN DE VUELO	119
9.1. Software y reconocimiento del área	119
9.2. Calibración de sensores del DRON	125
9.3. Planificación del vuelo.....	143
9.4. Ediciones del plan de vuelo	145
CAPÍTULO X: LEVANTAMIENTO EN CAMPO	149
10.1. Descripción del lugar de levantamiento.....	149
10.2. Descripción del plan de vuelo.....	151
10.3. Levantamiento fotogramétrico con dron	155
10.4. Levantamiento con GPS o estación total de los puntos de control fotogramétricos (puntos de apoyo).....	161

10.5.	Descripción del proceso	195
10.6.	Datos obtenidos.....	197
CAPÍTULO XI: PROCESAMIENTO DE DATOS		199
11.1.	Procesamiento de datos.....	199
11.2.	Análisis de resultados.....	249
CAPÍTULO XII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		252
12.1.	Conclusión.....	252
12.2.	Recomendaciones.....	254
BIBLIOGRAFÍA.....		255
ANEXOS		258

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 - Clasificación de las cárcavas según la profundidad y el área de la cuenca de contribución	12
Tabla 2 - Tipos de cárcavas según la profundidad y anchura.	13
Tabla 3 - Tipos de cárcavas según pendientes longitudinales.	19
Tabla 4 - Cuadro comparativo del elipsoide WGS84.....	42
Tabla 5 - Dimensiones para NAD 27	45
Tabla 6 - Parámetros de proyección.....	61
Tabla 7 - Los mejores drones para fotogrametría.....	92
Tabla 8 - Resultados de levantamiento con GPS	197
Tabla 9 - Resultados obtenidos en zona sin intervenir	247
Tabla 10 - Resultados obtenidos en zona intervenida.....	247

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - según la forma en planta: 1) Lineal,2) Bulbosa, 3) Dendrítica, 4) Enrejada Y 5) Paralela.....	14
Figura 2 - Tipos de cárcavas según los perfiles transversales: 1) En V o garganta, 2) Cóncava o en U, 3) Cuadrada o en cajón, 4) Escalonada y 5) Irregular	16
Figura 3 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2016	17
Figura 4 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2017	17
Figura 5 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2018	18
Figura 6 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2018	18
Figura 7 - MDT obtenido de Surfer con superposición de modelo 3D, curvas de nivel y polígono de lindero.	20
Figura 8 - meridianos y paralelos.....	22
Figura 9 - Latitud.....	23
Figura 10 - Longitud.....	24
Figura 11 - Tipos de Proyecciones Cartográficas.....	25
Figura 12 - Proyección plana.....	26
Figura 13 - Tipos de proyecciones planas.....	26

Figura 14 - Proyección cilíndrica.....	27
Figura 15 - Tipos de proyecciones cilíndricas.....	28
Figura 16 - Proyección cónica.	29
Figura 17 - Tipos de proyecciones cónicas.	30
Figura 18 - Tipos de coordenadas.....	31
Figura 19 - Geodesia astronómica.....	33
Figura 20 - Longitud y latitud astronómica.....	35
Figura 21 - Geodesia geométrica.	35
Figura 22 - Forma irregular de la tierra	37
Figura 23 - Ejemplo matemático de un geoide	38
Figura 24 - Forma real de la tierra "GEOIDE"	39
Figura 25 - Elipsoide WGS-84	40
Figura 26 - Meades Ranch Triangulation Station, estación fundamental para el Datum norteamericano de 1927.....	46
Figura 27 - DATUM WGS-84.....	47
Figura 28 -Densificación del marco de referencia SIRGAS para El Salvador	58
Figura 29 - Parámetros de la proyección cónica conformal de Lambert SIRGAS-ES2007	59
Figura 30 - Proyección Mercator.....	64
Figura 31 - Proyección transversal de Mercator.	66
Figura 32 - Proyección cónica conformal de lamber.....	67
Figura 33 - Medición sobre fotografía	69

Figura 34 - Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos	70
Figura 35 - Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS)	
.....	70
Figura 36 - Fotogrametría con dron de ala fija.....	71
Figura 37 - Fotogrametría, evolución y uso	73
Figura 38 - Restituidor analógico Wild	74
Figura 39 - Restituidor analítico, Leica	75
Figura 40 - Imagen digitalizada.....	76
Figura 41 - Restituidor analógico Wild	79
Figura 42 - Análisis computacional, matemático y cartográfico, levantamientos arquitectónicos y arqueológicos.....	80
Figura 43 - levantamiento de mapas de terrenos y catastros	81
Figura 44 - Fotogrametría y sus procesos.	81
Figura 45 - Planificación de vuelo.....	82
Figura 46 - Posición de fotografías.....	83
Figura 47 - Fotogrametría con drones	84
Figura 48 - Fotogrametría en arquitectura	88
Figura 49 - Software para fotogrametría digital.....	90
Figura 50 - Mando a control remoto y dron.....	93
Figura 51 - Sentido del giro de las hélices de un dron.....	94
Figura 52 - Vuelo de un dron	94
Figura 53 - Mando de control remoto del dron.....	96

Figura 54 - Dron Phantom 4 Pro con sensor LIDAR.....	97
Figura 55 - ESC (Electronic Speed Control)	98
Figura 56 - Función Return-To-Home.....	99
Figura 57 - DJI N3 Flight Controller	100
Figura 58 - Configuración de hélices de un dron	104
Figura 59 - Tipo de hélices de un dron	112
Figura 60 - Dron de ala fija	113
Figura 61 - Dron de alas giratorias	113
Figura 62 - Dron VTOL	114
Figura 63 - Cámara RGB.....	115
Figura 64 - Diferentes distancias focales.....	116
Figura 65 - Cámara multiespectral.....	117
Figura 66 - Cámara térmica.....	117
Figura 67 - Imagen capturada con sensor LIDAR.....	118
Figura 68 - Logo DJI GO	119
Figura 69 - Logo Pix4Dcapture	120
Figura 70 - Logo Ctrl + DJI	121
Figura 71 - Acceso al área en estudio	122
Figura 72 - Inspección del área a levantar.....	123
Figura 73 - Área en planta a levantar	123
Figura 74 - Esquema de ventana de elevación	124
Figura 75 - Reconocimiento de dron en aplicación.....	126

Figura 76 - Interfaz de DJI GO.....	127
Figura 77 - Configuración de sensores.....	128
Figura 78 - Calibración del IMU	129
Figura 79 - Inicio de calibración del IMU.....	130
Figura 80 - Paso 1 de calibración de IMU.....	130
Figura 81 - Paso 2 de calibración de IMU.....	131
Figura 82 - Paso 3 de calibración de IMU.....	131
Figura 83 - Paso 4 de calibración del IMU.....	132
Figura 84 - Paso 5 de calibración del IMU	132
Figura 85 - Paso 6 de calibración del IMU.....	133
Figura 86 - Finalización de calibración del IMU	133
Figura 87 - IMU, Colocación en una superficie plana	134
Figura 88 - IMU, Inclinación hacia la izquierda.....	134
Figura 89 - IMU, Inclinación hacia la derecha.....	134
Figura 90 - IMU, Inclinación hacia adelante.....	134
Figura 91 - IMU, Inclinación hacia atrás	134
Figura 92 - IMU, Tren de aterrizaje hacia arriba	134
Figura 93 - Calibración de brújula.....	135
Figura 94 - Paso 1 de calibración de brújula	136
Figura 95 - Paso 2 de calibración de brújula	136
Figura 96 - Finalización de calibración de brújula.....	137
Figura 97 – Gimbal	137

Figura 98 - Calibración del estabilizador.....	138
Figura 99 - Notificación de calibración de Gimbal.....	139
Figura 100 - Proceso de calibración de Gimbal	139
Figura 101 - Configuración de la batería de la aeronave.....	140
Figura 102 - Configuración del sistema de anticolidión.....	142
Figura 103 - Selección de Dron	143
Figura 104 - Seleccionar tipo de misión.....	144
Figura 105 - Ajustes de plan de vuelo	144
Figura 106 - Edición del área de vuelo	145
Figura 107 - Rotación del área	146
Figura 108 - Desplazamiento del área.....	146
Figura 109 - Final de vuelo en el levantamiento	146
Figura 110 - Altura de vuelo en misión	147
Figura 111 - Configuraciones de vuelo	148
Figura 112 - Lugar de levantamiento	149
Figura 113 - Referencia de la cárcava.....	150
Figura 114 - Distancia hacia el aeropuerto de Ilopango	150
Figura 115 - Área a levantar	151
Figura 116 - Tiempo de vuelo.....	152
Figura 117 - Elevación de vuelo	153
Figura 118 - Traslape, Velocidad y ángulo de cámara en Vuelo	154
Figura 119 - GSD en campo.....	154

Figura 120 - Hélice de dron con marca negra	155
Figura 121 - Hélice de dron con marca plateada	155
Figura 122 - Instalación de batería del dron	156
Figura 123 - Forma incorrecta de colocación de antenas.....	157
Figura 124 - Forma correcta de colocación de antenas.....	157
Figura 125 - Encendido de Dron.....	158
Figura 126 - Misión de vuelo	160
Figura 127 - Punto de control fotogramétrico	161
Figura 128 - PCF	161
Figura 129 - Colocación de PCF en cárcava	162
Figura 130 - Georreferenciación de PCF 4	163
Figura 131 - Georreferenciación de PCF 1	163
Figura 132 - Georreferenciación de PCF 5.....	163
Figura 133 - Georreferenciación de PCF 2.....	163
Figura 134 - Receptor y colector.....	164
Figura 135 - Receptor Utilizado como base.....	164
Figura 136 - Base y Rover	164
Figura 137 - Base de nivelación en trípode	164
Figura 138 - Vértice geodésico colocado "CAST"	165
Figura 139 - Colocación de bastón al Rover.....	165
Figura 140 - Bitácora de campo levantamiento punto CAST en modo estático	166

Figura 141 - Parámetros de búsqueda para descarga del archivo Rinex SSIA	167
Figura 142 - Nombre de los archivos descargados para realizar postprocesamiento.....	168
Figura 143 - Pantalla principal SGO	169
Figura 144 - Creación del proyecto.....	169
Figura 145 - Configuración de la información general del proyecto.....	170
Figura 146 - Configuración del sistema de coordenadas del proyecto.	171
Figura 147 - Importación del archivo geoidal para la definición de los parámetros verticales de la proyección.....	171
Figura 148 - Configuración del sistema de unidades del proyecto.	172
Figura 149 - Configuración de parámetros de tolerancia para el proyecto. 172	
Figura 150 - Pantalla de visualización del mapa posterior a la creación del proyecto.	173
Figura 151 - Importación de archivos de observación	174
Figura 152 - Cuadro de diálogos para importación de los archivos Rinex del punto SSIA.....	174
Figura 153 - Cuadro de diálogos para la importación de los archivos Rinex punto CAST.	175
Figura 154 - Cuadro de información del archivo exportado.	176
Figura 155 - Representación gráfica en el mapa de la generación de los puntos geodésicos a procesar.....	177

Figura 156 - Administrador de proyecto.....	177
Figura 157 - Asignar a " SSIA " como punto conocido para el procesamiento de la información.....	178
Figura 158 - Configuración de edición para punto de control "SSIA".....	179
Figura 159 coordenadas descargadas del sitio web oficial del National Geodetic Survey.	179
Figura 160 - Configuración de coordenada conocida para el punto base conocido.	180
Figura 161 - Procesamiento de vector.....	180
Figura 162 - Información del vector a procesar.	181
Figura 163 - Procesamiento del vector que une la coordenada "SSIA" con " CAST".....	181
Figura 164 - Resultados obtenidos del procesamiento del vector.	182
Figura 165 - Representación gráfica del cumplimiento de los parámetros establecidos para el proyecto.	182
Figura 166 - Reporte de procesamiento vectorial.....	183
Figura 167 - Menú de aplicación.....	185
Figura 168 - Submenú de aplicación "Instrumentos".....	185
Figura 169 - Búsqueda Bluetooth de receptor.....	185
Figura 170 - Conexión Bluetooth de receptor.....	185
Figura 171 - Submenú "Proyecto" Gestor de proyectos.....	186
Figura 172 - Gestor de proyecto.....	186

Figura 173 - Creación de proyecto	187
Figura 174 - Submenú "Proyecto" sistema de coordenadas	188
Figura 175 - Sistema de coordenadas	188
Figura 176 - Parámetros de Elipsoide	189
Figura 177 - Parámetros de proyección.....	189
Figura 178 - Parámetros y ajuste horizontal	189
Figura 179 - Parámetros de Geoide	189
Figura 180 - Submenú "Instrumentos" y opción Base	190
Figura 181 - Configuración de la Base	190
Figura 182 - Modo de inicio de bases.....	191
Figura 183 - Parámetros de configuración del enlace	191
Figura 184 - Comunicación con receptor.....	192
Figura 185 - Submenú "Instrumentos" configuración de Rover	192
Figura 186 - Configuración de Rover.....	192
Figura 187 - Configuración de parámetros de enlace de Rover	192
Figura 188 - Submenú "Medición" opción Medición de puntos.....	193
Figura 189 - Medición de puntos	193
Figura 190 - Pantalla con parametros de medicion	194
Figura 191 - Ajustes y parámetros de medición	194
Figura 192 - Ortofoto de cárcava.....	198
Figura 193 - Ortofoto de cárcava EM.....	198
Figura 194 - Visualización de la interfaz principal de Agisoft Metashape. ...	200

Figura 195 - Interfaz barra de herramientas Agisoft Metashape.....	201
Figura 196 - Representación del proceso para añadir la base de datos fotográfica	202
Figura 197 - Visualización de las fotografías importadas	203
Figura 198 - Representación visual del acceso para el ajuste del sistema de referencias.	204
Figura 199 - Cuadro de diálogos del ajuste de sistema de referencia.	205
Figura 200 - Creación del sistema de coordenadas Lambert Sirgas El Salvador	206
Figura 201 - Clasificación de los sistemas de coordenadas preestablecidos en Agisoft Metashape	207
Figura 202 - Creación del sistema de coordenadas definidas por el usuario	208
Figura 203 - Cuadro de Dialogo para la edición del sistema de coordenadas.	209
Figura 204 - Generación del datum vertical.....	211
Figura 205 - Cuadro de dialogo para añadir archivo geoidal.	211
Figura 206 - Importación del archivo geoidal.....	212
Figura 207 - Parámetros del sistema de coordenadas LAMBERT SIRGAS ES07 Agisoft Metashape.	213
Figura 208 - Cuadro de dialogo para convertir referencia de trabajo.....	214

Figura 209 - Visualización del flujo de trabajo para la orientación de las fotografías.....	215
Figura 210 - Parámetros de configuración de orientación de fotografías ...	216
Figura 211 - Rendimiento de la memoria de acceso aleatorio (RAM) en la orientación de fotografías.	216
Figura 212 - Rendimiento de la unidad central de procesamiento.....	217
Figura 213 - Vista en planta nube de puntos de enlace.....	218
Figura 214 - Importación de puntos de control	219
Figura 215 - Configuración de parámetros para puntos de control.....	220
Figura 216 - Visualización de puntos de control	221
Figura 217 - Filtración de fotos por marcador.....	221
Figura 218 - Ubicación de puntos de control en imágenes filtradas	222
Figura 219 - Cuadro de dialogo para la generación de nube de puntos densas	223
Figura 220 - Definición de calidad y filtrado de profundidad para la nube de puntos densas.....	224
Figura 221 - Procesamiento de nube de puntos densas	225
Figura 222 - Rendimiento de la memoria de acceso aleatorio (RAM) en la generación de nube de puntos.....	225
Figura 223 - Rendimiento de la unidad central de procesamiento.....	226
Figura 224 - Vista frontal nube de puntos.....	226
Figura 225 - Vista en planta nube de puntos	227

Figura 226 - Creación de malla.....	228
Figura 227 - Cuadro de dialogo para definir parámetros de generación de malla	229
Figura 228 - Vista en perfil de malla generada	230
Figura 229 Creación del modelo digital de elevaciones.....	231
Figura 230 - Ccuadro de diálogos configuración cálculo del modelo digital de elevaciones.....	231
Figura 231 - Resultados del modelo digital de elevaciones vista en planta	232
Figura 232 - Creación del ortomosaico.....	233
Figura 233 - Cuadro de dialogo para la configuración de parámetros para creación del ortomosaico	233
Figura 234 - Vista de ortomosaico generado en Agisoft Metashape.	234
Figura 235 - Exportación del archivo de malla generado.....	235
Figura 236 - Exportación de nube de puntos generado.....	235
Figura 237 Exportación de modelo digital de elevación.....	236
Figura 238 - Exportación de ortomosaico	236
Figura 239 - Generación de curvas de nivel	237
Figura 240 - Configuración de parámetros para la generación de curvas de nivel	238
Figura 241 - Resultados obtenidos en la elaboración de curvas de nivel ...	238
Figura 242 - Exportación de curvas de nivel.....	239
Figura 243 - Ubicación de las diferentes zonas del proyecto	240

Figura 244 - Generación de poligonal para delimitación de áreas.....	241
Figura 245 - Delimitación de Zonas del proyecto Agisoft Metashape	242
Figura 246 - Cálculo de volumen en Zona sin intervenir.....	243
Figura 247 - Resultados obtenidos del cálculo de área	243
Figura 248 - Resultados obtenidos de cálculo de volumen Zona sin intervenir	244
Figura 249 - Perfil transversal cárcava zona a intervenir.....	245
Figura 250 - Perfil transversal cárcava zona intervenida	245
Figura 251 - Longitud de la cárcava a intervenir.....	246
Figura 252 - Longitud de la cárcava intervenida	246
Figura 253 - Generación de informe	248
Figura 254 - Información presentada por el informe final	249

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas en la zona metropolitana del gran San Salvador son las formaciones de cárcavas en zonas de alta vulnerabilidad, por tanto, es de vital importancia estar monitoreando constantemente la socavación del terreno inestable que están cercanos a las residencias de la población, esta problemática hace que la población cercana a las cárcavas quede sin residencia; por tanto, se toma la iniciativa de estudiar esta clase de geoformas (cárcavas) a través del uso de drones.

En el presente trabajo de graduación se propone una metodología con alta eficiencia en términos de tiempo y seguridad; que permita detectar el desplazamiento de suelos en la zona metropolitana de San Salvador, el método descrito consiste en la realización de levantamiento topográfico por medio de vehículos no tripulados (Drones) y modelación de los datos obtenidos.

Las ventajas de usar la tecnología de drones en cárcavas son muchas gracias a la versatilidad que estos tienen, entre ellas podemos mencionar: que los drones eliminan la necesidad de acceder personalmente a lugares de difícil acceso o peligrosos para la toma de mediciones, además se obtienen resultados de calidad de manera segura, rentable y rápida.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Desde el punto de vista geológico, El Salvador es un país dominado por los afloramientos de naturaleza volcánica, no obstante, también aparecen en diferentes sectores materiales de origen sedimentario.

Geológicamente el suelo del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), se caracteriza por la presencia de materiales volcánicos, resultantes de eventos relativamente intensos desde principios del periodo terciario hasta la actualidad, que ha dado lugar a la formación de numerosos estratos volcánicos poco consolidados, la mayoría de ellos con laderas inestables.

En El Salvador, son muchas familias, en diversas colonias, que viven pendientes de alguna cárcava que se ha formado en su área; sus casas a veces están justo a la orilla o yacen en el fondo de esta, debido a la alta demanda de vivienda del AMSS y la frecuencia de construir horizontalmente, obliga a edificar en suelos altamente erosivos, que son muy vulnerables a la formación de cárcavas. Desde hace algunos años, la zona noreste del área metropolitana de San Salvador ha sido altamente urbanizada con múltiples residenciales, y hoy en día los residentes de este sector, corren el riesgo de perder sus viviendas debido a la erosión.

La población del AMSS, vive día a día las consecuencias de una planificación urbana deficiente y una política de aprovechamiento agresivo de los pocos

recursos naturales que tenemos. Cada invierno, la población capitalina sufre los estragos de vivir en un medio, cuyo entorno ambiental es incapaz de mantener un equilibrio de subsistencia, debido al abuso de la deforestación y las malas políticas de construcción, entre otros factores.

La formación de cárcavas, es una clara expresión que evidencia el proceso erosivo, a pesar de esto, son también las geoformas menos estudiadas, por lo cual se conoce muy poco de su formación y la evolución que pueden tomar estas según los periodos estacionales de su entorno, de las actividades humanas y factores físicos, como son el uso inapropiado del suelo y de la vegetación, sobrepastoreo, construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, intensidad y cantidad de lluvia, topografía, tamaño y forma de la cuenca, longitud y gradiente de laderas, y características del suelo.

En El Salvador estos procesos han tenido efectos graves en los municipios de Ilopango, Soyapango, San Martín, Mejicanos, Cuscatancingo, Ciudad Delgado, entre otros, debido a la superpoblación y la industrialización.

Por tanto, el uso de tecnologías como son los vehículos aéreos no tripulados (UAV), vinculados a los Sistemas satelitales posibilitan el estudio, análisis y tratamiento de esta problemática de formación de cárcavas en las zonas vulnerables del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

1.2. Planteamiento del problema

En nuestro país, el problema de las cárcavas en zonas urbanas es muy común, debido al crecimiento poblacional exponencial y la gran demanda de una vivienda digna, esto conlleva, a que la población realice construcciones en zonas de alta vulnerabilidad poniendo en riesgo su vida. La mayor parte de este problema se encuentra en las zonas con una alta densidad poblacional, tales como los municipios del área metropolitana del gran San Salvador. En algunos sectores, la falta de proyección, el mal ordenamiento y desarrollo territorial de las instituciones encargadas, generan que zonas en donde anteriormente no había problemas de socavamiento, se convierta en una zona de riesgo por derrumbes o deslaves; el impacto ambiental generado por el mal funcionamiento institucional, provoca un aumento de caudal, sobrecargando el sistema de drenaje existente de aguas lluvias, en conjunto con su falta de mantenimiento.

La erosión en las cárcavas ha sido ignorada, debido a que su estudio e investigación es difícil, esto ya sea por su dificultoso acceso, toma de datos, peligrosidad, entre otros; basados en este contexto podremos dedicarnos al campo específico de nuestra investigación, la cual consiste en la utilización de vehículos aéreos no tripulados para realizar levantamientos topográficos en cárcavas existentes, del área metropolitana de San Salvador.

Con el uso de equipos convencionales en la toma y procesamiento de datos, se torna muy complicado, especialmente para verificar el crecimiento y la

evolución de las cárcavas, por lo cual el uso de equipos aéreos no tripulados (DRONE), en los últimos años ha facilitado la investigación en diversos campos como son: la agricultura, seguridad, construcción, entre otros; con el uso de drones, la recolección de información, se vuelve una solución eficaz para obtener resultados sobre el crecimiento y evolución de la erosión, que ha ocurrido en un periodo de tiempo en una geoforma.

Así mismo la fotogrametría ha jugado un papel importante en esta fase de campo, sin embargo, no ha sido tan accesible por el costo de su servicio, así como el post procesamiento, para la obtención de ortofotos. Sin embargo, hoy en día con el uso de un dron (cuadricóptero) o dron de Ala Fija, y a este adaptado una cámara de video y/o fotográfica, así mismo ya con la presencia de un dispositivo GPS, es posible la obtención de información gráfica a menor costo y en menor tiempo. Dada la aplicación del dron para diferentes actividades, en el presente proyecto de investigación, se tiene previsto la obtención de datos, proceso de información y obtención del modelo digital de terreno, haciendo uso de esta tecnología.

1.3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL:

- Utilizar drones en levantamientos topográficos para el estudio de cárcavas en zonas de alta vulnerabilidad del área metropolitana de San Salvador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer los parámetros y especificaciones mínimas bajo normas técnicas para un levantamiento fotogramétrico con drones.
- Realizar el vuelo fotogramétrico de la zona en estudio tomando en cuenta los parámetros y especificaciones mínimas para la obtención de datos.
- Procesar la información del vuelo realizado para la obtención de ortofotos y en base a ello delimitar las zonas con riesgo de deslave por erosiones hidráulicas.
- Obtener curvas de nivel y calcular Modelos Digitales de Elevación para su análisis respectivo.

1.4. Alcances

- Los métodos y técnicas empleadas serán actividades de campo y gabinete, es decir, se realizarán levantamientos topográficos terrestres y aéreos en Colonia El Matazano, municipio de Soyapango departamento de San Salvador, los datos obtenidos se procesarán en software específicos en oficina.
- Se desarrollará un plan de vuelo para el dron, basado en la precisión de la topografía, la ubicación óptima de los puntos de control, un margen periférico aceptable para una óptima toma de imágenes, el estado del clima y las regulaciones locales, entre otras.
- Los productos resultantes del procesamiento serán insumos cartográficos y topográficos en digital y en físico, además de fotografías Aéreas (Ortofoto), modelos digitales del terreno, curvas de nivel del terreno, perímetros y áreas.
- Esta investigación se realizará de forma objetiva y orientada por profesionales en la materia por lo que se espera que sirva de base para futuros proyectos similares fuera y dentro del Alma Mater.
- El trabajo y estudio realizado de las cárcavas se llevará a disposición de los ciudadanos afectados, donde se muestre el desarrollo y crecimiento de la cárcava en modelos digitales y cartográficos, para que puedan tener una herramienta donde puedan mostrar la necesidad de una obra de protección y agilizar los procesos con las instituciones pertinentes.

1.5. Limitaciones

- Una de las grandes limitantes en el estudio de cárcavas en El Salvador es la seguridad, en este punto podemos decir que afecta en gran manera el lugar donde las cárcavas se forman, en vista que las cárcavas se ubican en municipios, barrios, colonias etc. Donde hay presencia de grupos delictivos. Existen riesgos potenciales al trasladarse y de seguridad estando en las zonas donde se realizarán las visitas de campo, ya que el equipo utilizado tiene un alto costo económico, por lo tanto, se delimitarán las zonas donde no se podrán hacer mediciones.
- El poder estudiar una cárcava recién formada sería lo ideal, pero es posible que se estudie una cárcava que este parcialmente intervenida por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), o alguna en la cual ya hayan terminada las obras de mitigación.
- Un factor que interviene en la toma de datos con GPS y Drones es el Factor Clima puesto que estos equipos necesitan de un cielo despejado es decir un día soleado para obtener una buena precisión de datos en el campo, sin mencionar el uso adecuado del equipo.
- El procesamiento de los datos obtenidos por medio de un levantamiento con Dron necesita una computadora dedicada (Procesador i9 o similar, RAM 16 Gb, Tarjeta de video), por lo cual el procesamiento de los datos del levantamiento puede tardar horas y hasta días en realizarlos.

- La pandemia ha afectado a todo el mundo y en este caso nos condiciona a tener menos asesorías presenciales, ya que estas ayudan a un mejor manejo de la información y uso del equipo de Dron.

1.6. Justificación

La presente investigación se enfocará en el estudio de la formación de las cárcavas y su crecimiento, ya que, debido a la sobrepoblación, el inapropiado uso del suelo y la vegetación entre otros factores, ha aumentado la cantidad de zonas de alta vulnerabilidad incluyendo la formación y crecimiento de cárcavas. Implementando el uso de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos como DRONES, aumentando la eficacia y reduciendo el tiempo en la recolección de los datos, por lo tanto, la implementación de esta tecnología en levantamientos topográficos será sustancial en esta investigación, haciendo uso fundamental de la fotogrametría aérea y su adecuado procesamiento de los datos.

Este trabajo, permitirá mostrar la evolución de cárcavas de una manera visual en un modelo tridimensional desde los primeros meses de la época lluviosa hasta la finalización de esta, donde se pueda apreciar el daño ambiental y social, que se ha producido por causa del crecimiento de las cárcavas en zonas de alta vulnerabilidad.

Pretendemos entonces, ayudar a alertar acerca de estos peligros que conlleva la formación y el crecimiento de cárcavas a las comunidades aledañas y a las correspondientes autoridades, de manera más rápida y detallada, así como generar conocimientos e instrumentos que colaboren a advertir mayores riesgos pudiendo evaluar la cárcava con una mayor tasa de crecimiento.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE UNA CÁRCAVA

2.1. Definición de cárcavas

A continuación, se detallan ciertas definiciones de cárcavas:

Una cárcava es una incisión producida sobre suelos y rocas del tipo arcillas con pendientes acusadas, por la acción del agua de escorrentía.

Se trata de hendiduras estrechas y profundas separados por aristas, excavadas por la erosión de aguas de escorrentía superficial en materiales blandos (arcillas y margas) carentes de vegetación. Aparecen en regiones de características áridas y semiáridas.

Una cárcava es un canal natural o incisión causado por un flujo de agua concentrado, a través del cual fluye la escorrentía durante o inmediatamente después de un evento intenso de lluvia.

Las cárcavas se forman debido a las actividades antropogénicas y factores físicos como son el uso inapropiado del suelo y de la vegetación, sobrepastoreo, construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, intensidad y cantidad de lluvia, topografía, tamaño y forma de la cuenca, longitud y gradiente de laderas, y características del suelo, entre otros.

2.2. Formación de cárcavas

En la formación de cárcavas, el agua arranca y transporta partículas del fondo y paredes del canal en las que pueden producirse deslizamientos, lo que genera cantidades importantes de material que, una vez movilizado, puede producir

efectos aguas abajo. El proceso se debe a una perturbación hidrológica en el área.

La mayoría de las cárcavas se forman debido a una mezcla de las actividades humanas y la acción de procesos erosivos, que también pueden ser acelerados por la acción humana. Influyen en su formación las condiciones de la pendiente, la permeabilidad del sustrato y la mayor o menor presencia de precipitaciones.

2.3. Consecuencias de cárcavas en el medio

Los procesos erosivos en cárcavas afectan negativamente su área cercana, reduciendo áreas agrícolas, de pastoreo y forestales, dañando la infraestructura ubicada aguas abajo; contaminan cuerpos de agua superficiales y abaten el nivel freático de las corrientes. La erosión en cárcavas ha sido ignorada porque es difícil de investigar y de predecir, también es escasa la información sobre la efectividad de técnicas para su control.

2.4. Clasificación de cárcavas

2.4.1. Clasificación según la profundidad de la cárcava

Es el criterio más utilizado, tan solo que las clases acerca de las dimensiones en cuanto a este parámetro parecen no ser del todo convincentes; por lo que se hace necesario añadir otros tipos. Obsérvese en la Tabla 1, la clasificación propuesta por (Camara, 1958), la que además de la profundidad, incorpora el área de la cuenca de contribución como un segundo criterio.

Tabla 1 - Clasificación de las cárcavas según la profundidad y el área de la cuenca de contribución

Profundidad (m)	Área de la cuenca (ha)	Tipo de cárcava
< 2.5	< 10	Pequeña
2.5 – 4.5	10 a 50	Mediana
< 4.5	>50	Grande

Fuente: (Jesus E. Santiago, s.f.)

El problema con esta clasificación es que a los barrancos no solo hay que verlos desde el punto de vista de la profundidad, sino también desde arriba; es decir, en planta. Porque puede que la cárcava tenga una profundidad de, por ejemplo 3 m, pero de ancho solo 2 m, lo cual la hace mediana y pequeña al mismo tiempo. Por otra parte, una cárcava o un sistema de cárcavas no necesariamente es grande porque su cuenca de contribución sea también grande; es más, cuando un sistema de barrancos se ha extendido lo suficiente, su cuenca de contribución (es decir, el espacio que queda pendiente arriba de sus cabeceras) se hace menos extenso. Morfológicamente, una cárcava de 2 m de profundidad puede ser relativamente pequeña, pero desde el punto de vista del riesgo a las comunidades puede ser una seria amenaza.

El área de la cuenca de contribución del barranco debe ser considerada para estimar el caudal máximo que circula por la punta o cabecera, lo que al mismo tiempo es útil para los ingenieros a la hora de diseñar algunas formas de control de la erosión (canales). Otras variables que bien pudieran combinarse con las

dimensiones verticales son la superficie abarcada por el barranco y el volumen ocupado por este; o lo que es lo mismo: el volumen de materiales desalojados dentro del espacio que ocupa el sistema de cárcavas.

De todas maneras, dentro de cualquier descripción que se haga es obligatorio calcular el área abarcada por el o los barrancos, por eso se propone la siguiente clasificación de cárcavas, combinando los criterios de profundidad y la anchura.

Tabla 2 - Tipos de cárcavas según la profundidad y anchura.

Tipo de Cárcavas	Profundidad (m)	Anchura (m)
Pequeñas	< 1.50	< 1
Pequeñas a Medianas	1.51 - 3.00	1.01 - 3.00
Medianas	3.01 - 6.00	3.01 - 10
Grandes	6.01 - 12	10.01 - 25
Muy Grandes	> 12	> 25

Fuente: (Jesus E. Santiago, s.f.)

2.4.2. Clasificación según su forma en planta

Las cárcavas o los sistemas de cárcavas poseen formas muy variadas si se les observa en planta. Una de las clasificaciones más prácticas es la propuesta en la Tabla 2, en la cual se utilizan términos similares a los de las cuencas de drenaje, cuyas tipologías aparecen normalmente en las obras de geomorfología clásica, como, por ejemplo:

Lineal: Es una cárcava alargada, de cabecera angosta y con pocos tributarios

Bulbosa: Ancha en las cabeceras; con pequeños tributarios en todos los flancos; puede ser angosta en la parte inferior. Su forma se asemeja a la silueta de un árbol de palma.

Dendrítica: Posee múltiples tributarios ramificados; con cabecera en semicírculo; y puede seguir la vía de un drenaje natural.

Enrejada: Se origina en zonas planas; posee tributarios que desembocan en ángulos próximos a los 90°.

Paralelo: Varias cárcavas bastante alargadas que desaguan en una sola. Son más comunes en vertientes de alta inclinación. La silueta es similar a un guante de hule.

Compuesta: Combina dos o más de los anteriores.

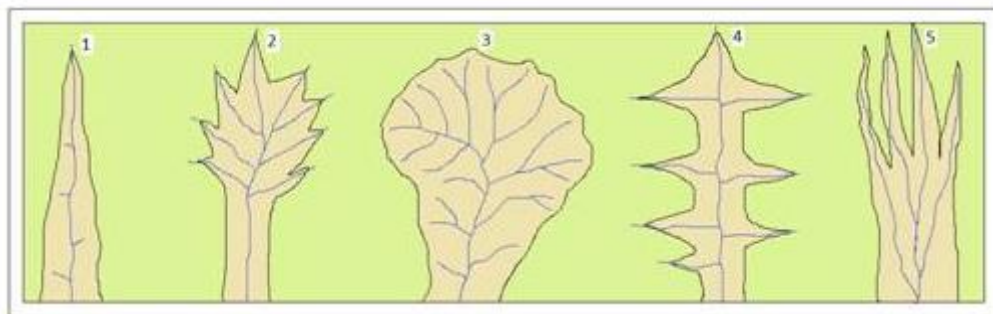


Figura 1 - según la forma en planta: 1) Lineal, 2) Bulbosa, 3) Dendrítica, 4) Enrejada Y 5) Paralela

Fuente: (Jesus E. Santiago, s.f.)

2.4.3. Clasificación según su perfil transversal

Estas formas de erosión varían de perfil transversal de un lado a otro. Las formas más comunes son las siguientes:

Perfil en "V" o en garganta: Suelen ser las cárcavas incipientes y más pequeñas, con terminaciones en punta. Suelen crecer activamente en tres dimensiones (largo, ancho y profundidad).

Perfil cóncavo o en "U": Son la fase posterior a las cárcavas en "V", donde se está deteniendo el crecimiento vertical, pero avanza más rápido la expansión lateral.

Perfil cuadrado o en cajón: En estas la escorrentía remueve más los materiales de las paredes que los del lecho.

Perfil escalonado: Parece una escalera que baja hasta el fondo y vuelve a subir hacia el otro lado. Se origina por efectos de re-excavación del lecho en diversas ocasiones, dando como resultado un micro-relieve de terracillas.

Perfil irregular: Posee una forma general cóncava hacia arriba, pero con múltiples quiebres de las vertientes, gracias a la existencia de bloques desprendidos desde las orillas y a montículos afilados que quedan en el medio de dos o más canales que se unen, entre otras formas menores.

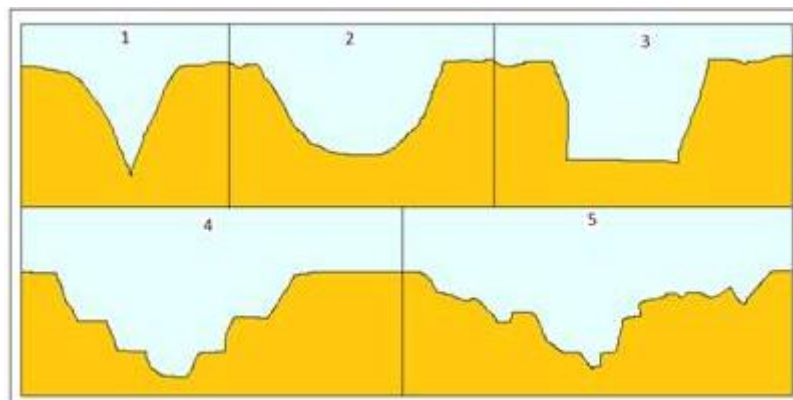


Figura 2 - Tipos de cárcavas según los perfiles transversales: 1) En V o garganta, 2) Cóncava o en U, 3) Cuadrada o en cajón, 4) Escalonada y 5) Irregular

Fuente: (Jesus E. Santiago, s.f.)

2.5. Tipos de cárcavas

2.5.1. Tipos de cárcavas según las pendientes longitudinales.

Al igual que en los perfiles transversales, las cárcavas también varían a lo largo de su curso. Generalmente son cóncavas hacia arriba con pendientes muy inclinadas en las cabeceras y poco inclinadas en las partes bajas. Este tipo de observaciones es muy importante de considerar, ya que tanto el largo del canal como la inclinación, se combinan para determinar la velocidad y la fuerza de la escorrentía. A mayor velocidad del agua habrá un mayor poder de socavación.

La forma del perfil longitudinal puede variar notablemente, en caso de que los materiales geológicos sean de distinta naturaleza; es decir, que unos se comporten como más duros que otros.

Se presentan fotografías de la evolución de la Cárcava de la Colonia Santa Lucía en el municipio de Ilopango departamento de San Salvador.



Figura 3 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2016
 Fuente: <https://historico.elsalvador.com/historico/655858/carcava-de-la-santa-lucia-un-problema-que-nadie-quiso-resolver.html>



Figura 4 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2017
 Fuente: <https://historico.elsalvador.com/historico/655858/carcava-de-la-santa-lucia-un-problema-que-nadie-quiso-resolver.html>

La evolución de la cárcava en Colonia Santa Lucía hizo que las personas que habitaban en la cercanía de esta geoforma desalojaran su vivienda por el eminente peligro al que quedaban expuestas.



Figura 5 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2018
Fuente:<https://historico.elsalvador.com/historico/655858/CaC-de-la-santa-lucia-un-problema-que-nadie-quiso-resolver.html>



Figura 6 - Descripción: Evolución de Cárcava de la Colonia Santa Lucía, Municipio de Ilopango, departamento de San Salvador Año 2018
Fuente:<https://historico.elsalvador.com/historico/655858/carcava-de-la-santa-lucia-un-problema-que-nadie-quiso-resolver.html>

A continuación, se presenta una tabla mostrando tipos de cárcavas según sus pendientes longitudinales:

Tabla 3 - Tipos de cárcavas según pendientes longitudinales.

Tipos de cárcavas	Pendientes %
Poco inclinadas	0 - 4
Poco a Moderadamente Inclinadas	4.1 - 16
Moderadamente inclinadas	16.1 - 30
Inclinadas	30.1 - 60
Muy Inclinadas	> 60

Fuente: (Jesus E. Santiago, s.f.)

2.6. Sobre la cartografía de las cárcavas

No existe ninguna metodología que conlleve a la uniformidad en cuanto a la representación gráfica (mapas temáticos) de las cárcavas. A lo sumo, lo que hasta ahora se hace es trazar el borde de los sistemas de cárcavas con una línea tipo peine, cuyos trazos perpendiculares apuntan en dirección de la pendiente.

Si la escala lo permite; es decir, si es lo suficientemente grande, pueden dibujarse otros rasgos como, por ejemplo, deslizamientos, surcos, conos de detritos, manchas de vegetación, ubicación de estructuras cercanas, entre otros. Además, es importante colocar en estos mapas algunos puntos altitudinales representativos. Como buenos ejemplos sobre cartografía de zonas de cárcavas se tienen los mapas anexos de los trabajos realizados por los autores: (Álvarez, 2004), (Aponte, 2010) y (Hernández).

Hoy en día, existen herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales facilitan la elaboración de un mapa

topográfico de cualquier zona. Una forma práctica y relativamente sencilla es el levantamiento de datos topográficos con un GPS que se procesan con el programa Surfer para obtener bloque-diagramas de alta calidad, con vistas desde distintos ángulos.

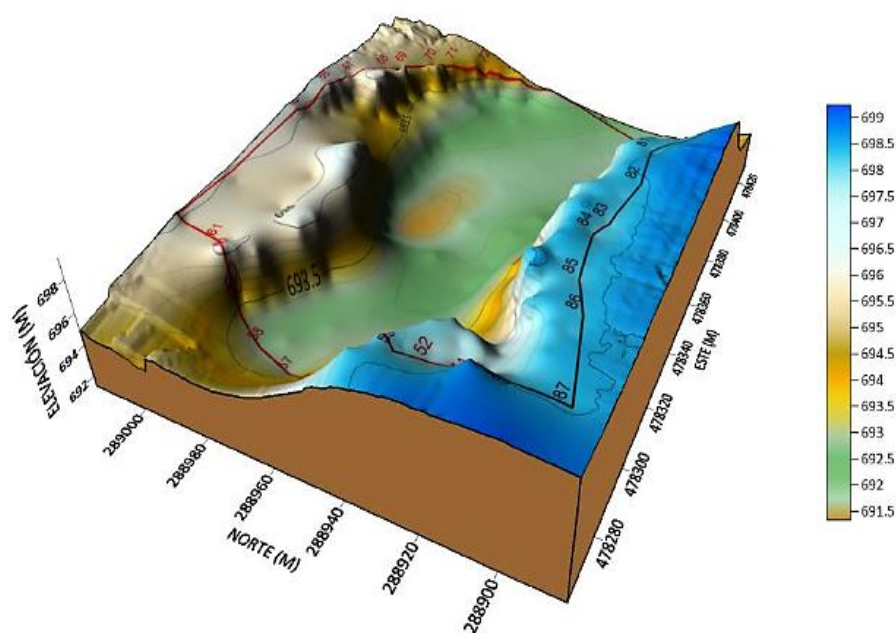


Figura 7 - MDT obtenido de Surfer con superposición de modelo 3D, curvas de nivel y polígono de lindero.

Fuente: (N. López,2021). Tesis análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total.

CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS DE GEODESIA

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituye las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras". Instituto Geográfico Nacional (General Ibáñez de Íbero, s.f.)

3.1. Sistemas de coordenadas

Un sistema de coordenadas es un marco para definir la ubicación relativa de los objetos en un área determinada. El sistema de coordenadas se define mediante un par o tres ejes ortogonales de igual escala. Existen diversas clases de sistemas de coordenadas dentro de las cuales se puede mencionar, sistemas de coordenadas polares, sistemas de coordenadas cilíndricas, sistemas de coordenadas esféricas, sistemas de coordenadas geográficas, sistemas de coordenadas curvilíneas generales, sistemas de coordenadas curvilínea, sistemas de coordenadas proyectadas. (Tipos de coordenadas (TIPOS, 2022))

3.2. Sistema de coordenadas geográficas

Los paralelos son círculos imaginarios perpendiculares al eje de la tierra y como su nombre lo indica son círculos paralelos entre sí y tienen las siguientes características. Su número es infinito, Tienen dirección Este-Oeste, Se cortan con

los meridianos en ángulo recto, describen una circunferencia de 360° . Dentro de estos se encuentra el Ecuador es el mayor de los paralelos que divide el planeta tierra en dos hemisferios Norte y Sur. Los meridianos son semicírculos máximos imaginarios trazados desde el polo norte al polo sur los cuales tienen las siguientes características. Hay infinitos meridianos, su dirección es Norte-Sur, tiene su máxima separación entre ellos en el ecuador y convergen en los polos, cortan los paralelos en ángulos rectos y tiene un arco con un valor de 180° .

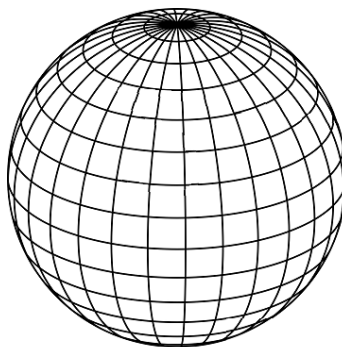


Figura 8 - meridianos y paralelos.

Fuente: https://es.123rf.com/photo_93961086_planeta-terr%C3%A1queo-planeta-red-de-meridianos-y-paralelos-o-latitud-y-longitud-ilustraci%C3%B3n-vectorial-3d.html

Los paralelos y meridianos forman una red geográfica de líneas imaginarias que permiten ubicar la posición de un punto cualquiera en la superficie terrestre. esta posición es definida mediante coordenadas geográficas o terrestres que son latitud y longitud; y se expresan en grados sexagesimales. (Generación de modelos digitales de elevación. Wilfredo Amaya Zelaya)

3.2.1. Latitud

Son paralelos medidos a partir del Ecuador, se establecen 90 grados positivos hasta el polo norte y 90 grados negativos hasta el polo sur. Norte ($+90^{\circ}$) y sur (-90°).

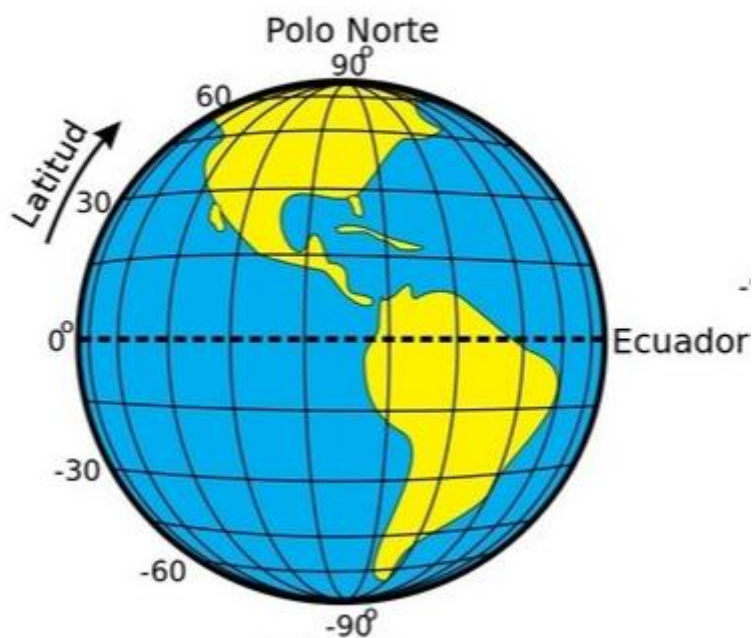


Figura 9 - Latitud

Fuente:

https://Coordenadas_geogr%C3%A1ficas#/media/Archivo:Latitud_y_Longitud_en_la_Tierra.svg

3.2.2. Longitud

Son meridianos medidos a partir del meridiano de origen, se ha determinado como meridiano de origen aquel que pasa por el observatorio de Greenwich, en Inglaterra. Este meridiano divide a la tierra en dos hemisferios, llamados

hemisferio Oeste u Occidental y hemisferio Este u Oriental, se estableció 180 grados hasta el hemisferio Este y 180 grados el hemisferio Oeste. Este (+180°) y Oeste (-180°).

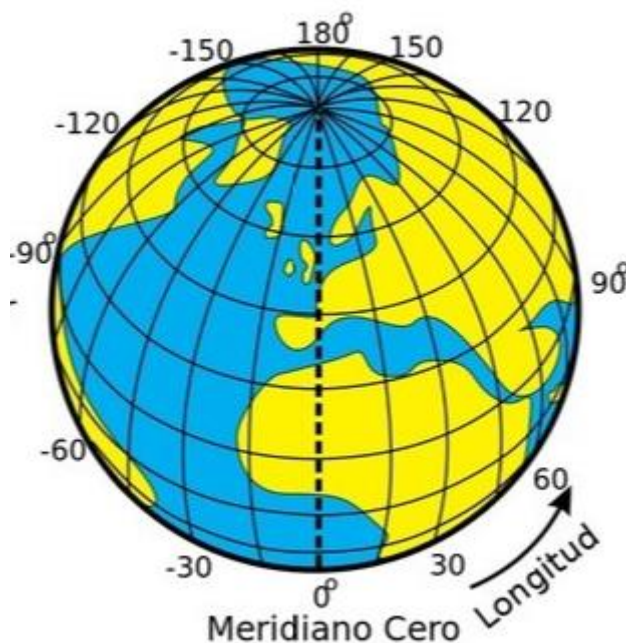


Figura 10 - Longitud.

Fuente:

https://Coordenadas_geogr%C3%A1ficas#/media/Archivo:Latitud_y_Longitud_en_la_Tierra.svg

3.3. Sistemas de coordenadas cartesianas

El sistema de coordenadas cartesianas es aquel creado para representar la superficie terrestre en un plano bidimensional. El proceso por el cual se transforma la superficie terrestre de una forma esférica a una forma plana se

denomina proyección cartográfica, estas proyecciones pueden ser de tipo cónica, cilíndrica, plana o polar. (Wolf-Ghilani, 11a Edición)



Figura 11 - Tipos de Proyecciones Cartográficas.

Fuente: <https://sites.google.com/site/sigarcgis/proyecciones-cartograficas>

3.4. Tipos de proyecciones cartográficas:

3.4.1. Proyecciones planas

En este tipo de proyecciones, los datos del mapa se proyectan en una superficie plana que toca el globo. Esta proyección se denomina también proyecciones acimutales o proyecciones cenitales.

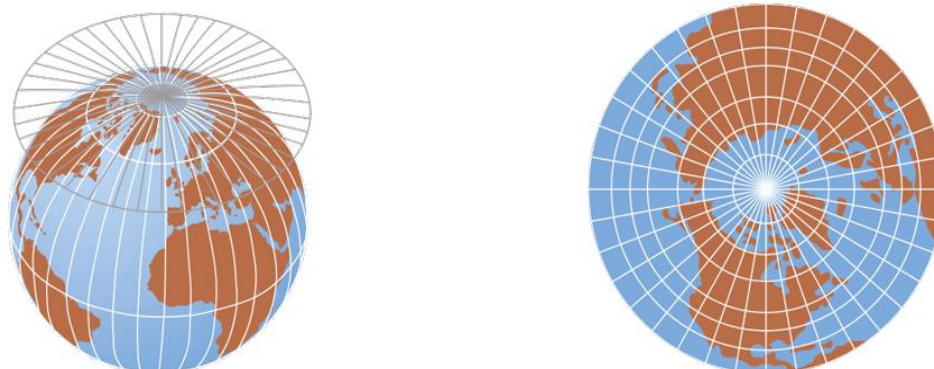


Figura 12 - Proyección plana.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-una-correspondencia-plana-de-la-proyecci%C3%B3n-del-mundo-image273703>

La proyección plana suele ser tangente al globo en un punto, pero de igual forma puede ser secante. El punto de contacto puede ser el polo norte, el polo sur, un punto en el ecuador o cualquier punto intermedio, este tipo de proyección es usualmente usada en zonas cercanas a los polos ya que estas presentan un mejor acondicionamiento en el plano proyectado. (Blink, s.f.)



Figura 13 - Tipos de proyecciones planas.

Fuente: <https://www.mastergis.com/>

Características

- La proyección resultante es circular.
- Son simétricos a partir de un radio.
- Toma como referencia un punto central.
- Los paralelos aparecen como círculos concéntricos con un radio cada vez menor.

3.4.2. Proyecciones cilíndricas

Este tipo de proyección en perspectiva es una proyección de mapa cilíndrica que se puede construir geoméricamente proyectando el globo sobre un cilindro tangente o secante desde el punto del plano ecuatorial opuesto a un meridiano determinado.

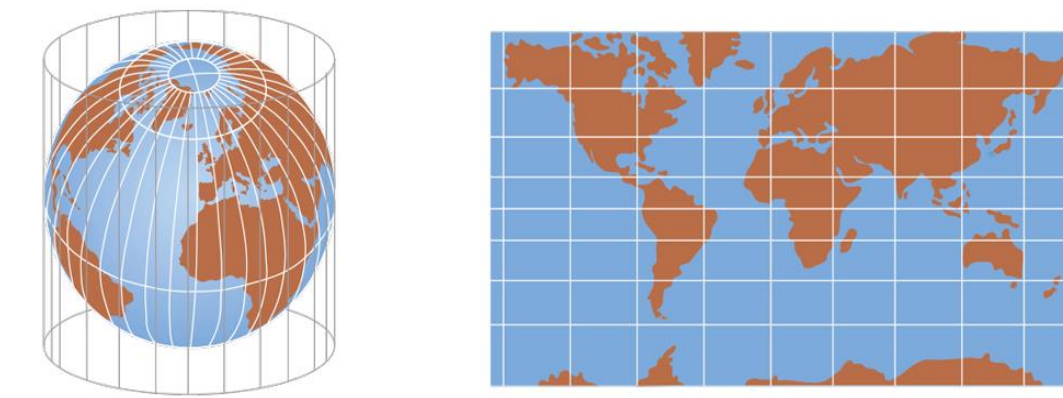


Figura 14 - Proyección cilíndrica.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-una-correspondencia-plana-de-la-proyecci%C3%B3n-del-mundo-image273703>

La proyección cilíndrica en la orientación normal presenta una escala correcta y no existe distorsión a lo largo de los 2 paralelos estándar. La distorsión aumenta

al alejarse de los paralelos estándar y es extrema en las regiones polares en la orientación normal (Fuentes, 2013).



Figura 15 - Tipos de proyecciones cilíndricas.

Fuente: <https://www.mastergis.com/>

Características

- La proyección resultante es triangular.
- Meridianos y paralelos se cortan perpendicularmente.
- Los paralelos se separan más a medida que aumenta la latitud (hay mayor distorsión en latitudes altas).
- Los meridianos son equidistantes entre sí.

3.4.3. Proyecciones cónicas

En la proyección cónica, la tierra se inscribe en un cono que al desplegarse forma un abanico, los meridianos se convierten en líneas rectas que parten del polo y los paralelos adoptan la forma de circunferencia concéntricas. Tiene el inconveniente que solo puede representarse un hemisferio.

El inventor de esta proyección es el matemático Alemán Johann Heinrich Lambert que en el año 1759 publicó el libro *Freye Perspective*, con reflexiones diversas acerca de las proyecciones.

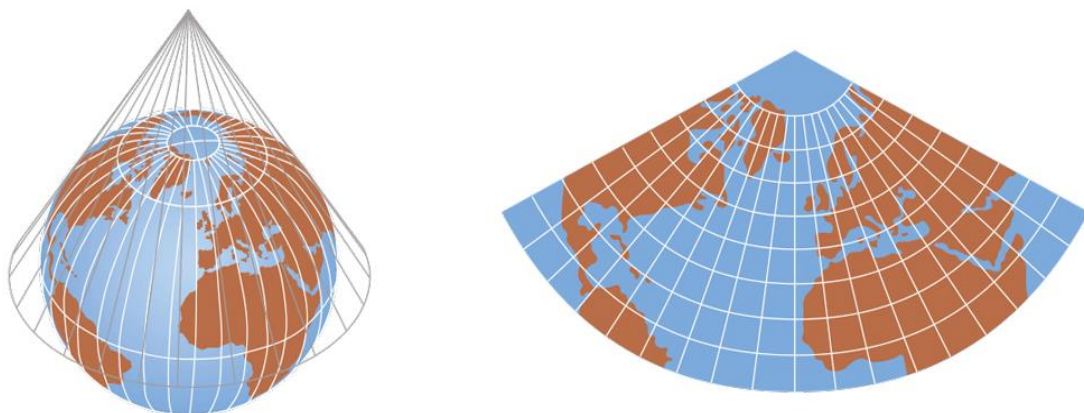


Figura 16 - Proyección cónica.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-una-correspondencia-plana-de-la-proyecci%C3%B3n-del-mundo-image273703>

En esta proyección, la forma y área de la superficie se conservan iguales en las latitudes medias mientras que se origina una distorsión asimétrica que afecta, en gran medida, a las zonas polares. Por esta razón se utiliza preferentemente para representar aquellas zonas o países que se encuentran en las regiones de latitudes medias pues las distorsiones de la proyección son menores



Figura 17 - Tipos de proyecciones cónicas.

Fuente: <https://www.mastergis.com/>

Características

- Los meridianos son líneas rectas que convergen en un punto polar.
- Los paralelos son arcos de círculo concéntricos, con centro en uno de los polos
- No se puede presentar el globo completo solamente uno de sus hemisferios.

3.5. Tipos de coordenadas

Los sistemas de coordenadas se pueden clasificar en coordenadas geográficas y coordenadas planas. Las coordenadas Geográficas es un sistema que utiliza una superficie esférica tridimensional (Elipsoide) Para definir ubicaciones en la tierra. Mientras que las coordenadas planas son referidas a un Datum local y un elipsoide asociado y se generalmente se encuentran expresadas en Este (X) y Norte (Y), este sistema de coordenadas surge de la realización de proyecciones cartográficas las cuales pueden ser cualquiera de las descritas en la sección 3.4 Tipos de proyecciones cartográficas, para nuestro país las proyecciones utilizadas son, Cónica Conformal de Lambert y Universal Transversal de Mercator UTM zona 16 N

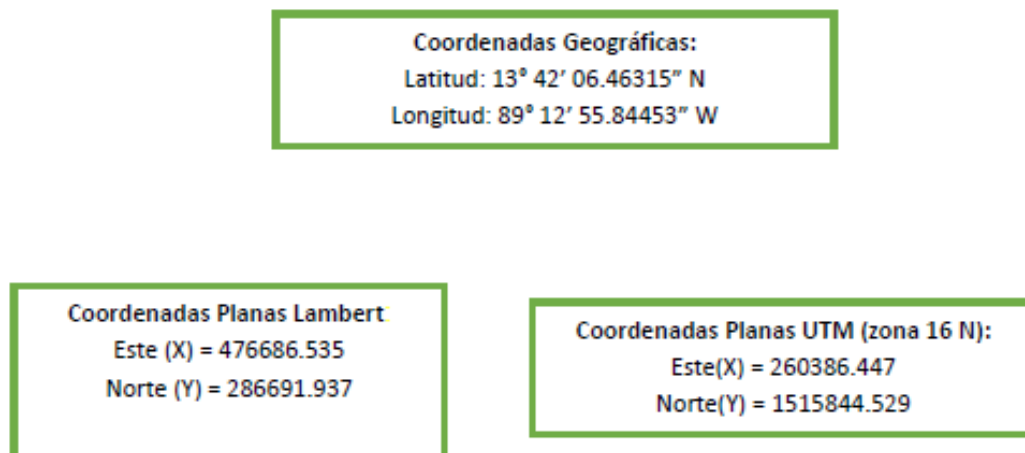


Figura 18 - Tipos de coordenadas.

Fuente: GENERACION DE MODELO DIGITAL DE ELEVACION GEORREFERENCIADO A LA PROYECCION CARTOGRAFICA LAMBERT_2021 (Ing. Wilfredo Amaya Zelaya)

. En la Figura 18 se encuentra un ejemplo claro en donde el mismo punto se encuentra expresado en diferentes tipos de sistema de coordenadas las cuales son Geodésicas pues tiene como referencia Datum, Elipsoides, Proyecciones cartográficas y otros parámetros para su conceptualización y definición en forma correcta.

CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS

4.1. Definición sistemas de referencia geodésico

4.1.1. Definición de Geodesia

Para entender un sistema de referencia geodésico se debe definir Geodesia, la cual en el aspecto más general se define como la ciencia que trata de la determinación de las dimensiones exactas y de la forma de la Tierra y de la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre.

A lo largo de la historia, el concepto de Geodesia ha sido posteriormente extendido y en la actualidad su estudio incluye: la medición de los fondos oceánicos, la determinación del campo gravitatorio terrestre y sus variaciones temporales y la orientación y posición de la tierra en el espacio. También está ligado a la exploración espacial, lo que permite estudiar, en el sentido geodésico, otros cuerpos celestes.

4.1.2. Objetivos de la geodesia

La Geodesia como una ciencia básica y a partir de sus fundamentos fisicomatemáticos, suministra a través de sus teorías, resultados, mediciones y cálculos, la referencia geométrica para las demás geociencias como también para la geomática, los sistemas de información geográfica, cartografía, catastro, topografía, fotogrametría, la planificación, la ingeniería, la construcción, el urbanismo, la navegación aérea, marítima y terrestre, entre otros, e inclusive, para aplicaciones militares y programas espaciales.

4.1.3. Subdivisiones de la geodesia

Los objetivos de la Geodesia pueden alcanzarse siguiendo diversos métodos de trabajo a partir de distintos tipos de datos obtenidos directa o indirectamente.

Atendiendo a ello se distinguen cuatro grandes grupos o ramas de la Geodesia que son:

1. La Geodesia Astronómica
2. La Geodesia Geométrica
3. La Geodesia Física
4. La Geodesia Satelital

GEODESIA ASTRONÓMICA

Estudia los métodos astronómicos que permiten determinar las coordenadas geográficas sobre la superficie terrestre, de una serie de puntos fundamentales sobre los que se basarán las redes geodésicas. Ver Figura 19

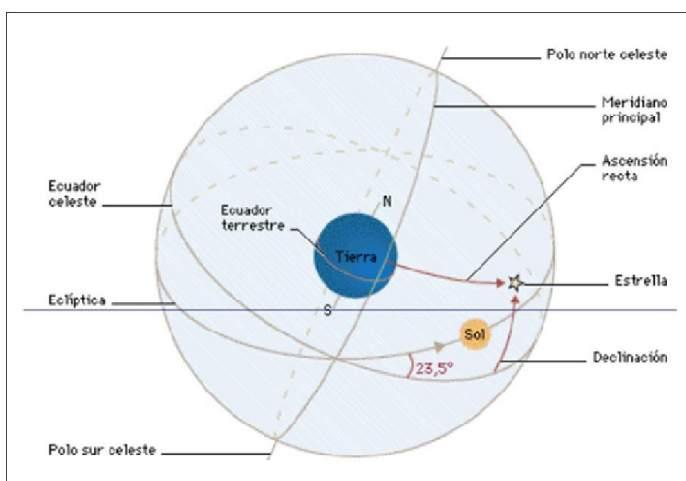


Figura 19 - Geodesia astronómica.

Fuente: <https://www.ign.es/web/gds-teoria-geodesia>

En Geodesia Astronómica, se trabaja con un tipo de coordenadas denominadas coordenadas celestes o astronómicas (las cuales guardan

correlación con las coordenadas terrestres o geográficas). La base que los sistemas de coordenadas astronómicas utilizan para asignar posiciones a puntos u objetos observados en el cielo, así como a los astros, se denomina esfera celeste. La esfera celeste, es un globo imaginario, de radio infinito que rodea a la Tierra, en cuya cara interna se consideran ubicados los astros.

La esfera celeste cuenta con varias particularidades que son:

1. El centro de la esfera celeste es el centro de la Tierra
2. El radio de la esfera celeste es infinito
3. El Ecuador celeste es la prolongación del Ecuador terrestre
4. La Tierra se considera inmóvil, la esfera celeste gira de este a oeste, respecto a un eje PN-PS.

Así, por ejemplo, para la determinación de coordenadas Eclípticas, es necesario saber:

- a) El punto vernal (γ): Es aquel que se origina cuando el sol corta al Ecuador en su recorrido de sur a norte.
- b) El punto de libra (Ω): Es aquel que se origina cuando el Sol corta al Ecuador en su recorrido de norte a sur.

Así podremos determinar:

1. Latitud Astronómica ($\beta\alpha$): Es el ángulo medido en el círculo polar eclíptico. Se mide desde la eclíptica hasta llegar al astro.

$$\beta\alpha(+)\rightarrow N \text{ Donde } 0^\circ \leq \beta\alpha \leq 90^\circ$$

2. Longitud Astronómica ($\lambda\alpha$): Es el ángulo diedro medido en el círculo de la eclíptica. Parte desde el punto vernal hacia su este hasta llegar

al círculo polar eclíptico que contiene al astro. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$\lambda\alpha(+)\rightarrow E \text{ Donde } 0^\circ \leq \lambda\alpha \leq 360^\circ$$

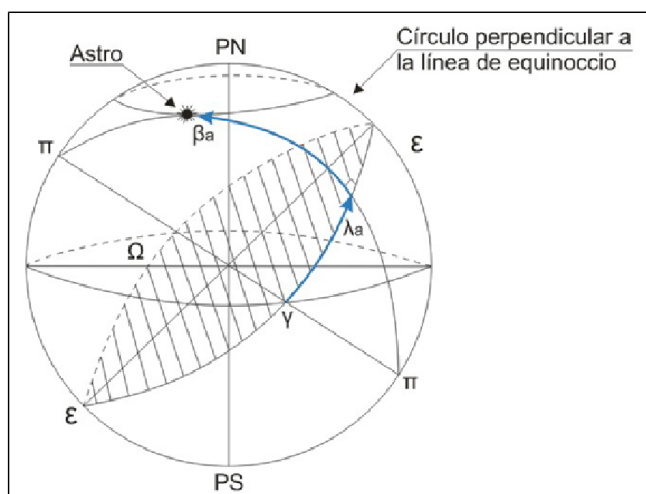


Figura 20 - Longitud y latitud astronómica.

Fuente: <https://www.ign.es/web/gds-teoria-geodesia>

GEODESIA GEOMÉTRICA

Estudia la figura de la tierra desde el punto de vista geométrico para determinar su forma y dimensiones. Para ello se utilizan aproximaciones a la figura de la tierra, es decir: Esfera, Elipsoide, Geoide, etc.

Ver Ilustración 2.

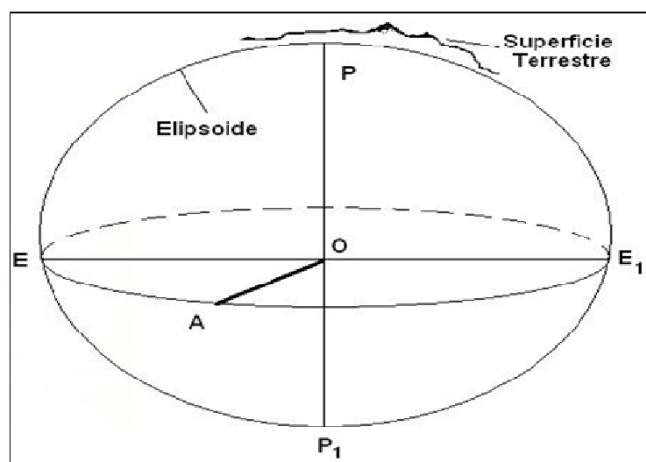


Figura 21 - Geodesia geométrica.

Fuente : <https://www.ign.es/web/gds-teoria-geodesia>

4.2. Elipsoide de referencia

Científicos y matemáticos utilizan el modelo elipsoide para definir con mayor precisión la forma de la Tierra y otros planetas. Un elipsoide que ofrece una aproximación cercana de un planeta se conoce como elipsoide de referencia, según el Consorcio NAVSTAR universitario (UNAVCO). Las mediciones específicas utilizadas para modelar la Tierra se conocen como elipsoide de la tierra.

Aunque la Tierra puede parecer una esfera perfecta en las fotografías satelitales, este no es el caso. En cambio, el planeta es mucho más ancho en el ecuador y aplana cuanto más cerca estás de cada polo, o tiene un solo eje más corto. En otras palabras, la Tierra es una aproximación cercana de un elipsoide esferoide oblato. Aunque no es perfecto, el elipsoide de tierra tiene muchos usos, incluyendo el trazado de coordenadas GPS y rutas de vuelo. En coordinación con los datos de un modelo geoide también es esencial para la topografía de trabajos.

La figura "natural" de la Tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de geoide, definida como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre.

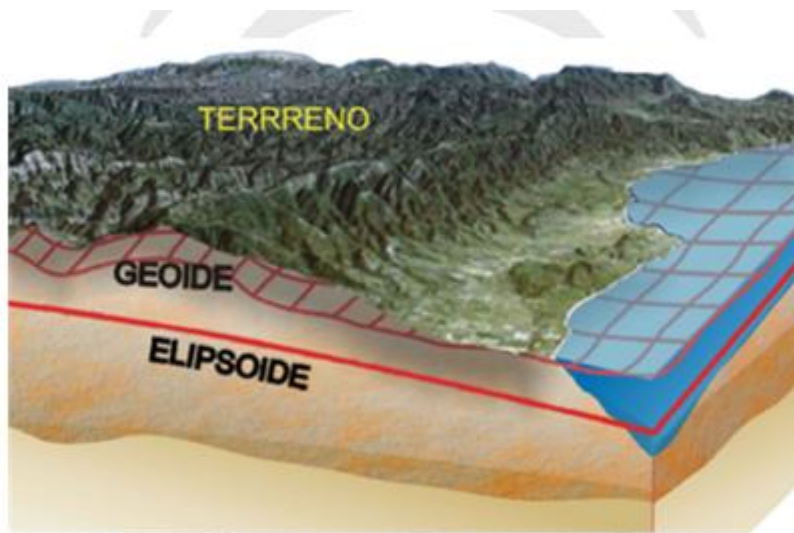


Figura 22 - Forma irregular de la tierra

Fuente: https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/rap/sites/default/files/public/Sistemas_Geodesico_de_referencia.pdf

Esta superficie equipotencial o de nivel materializado por los océanos cuando se prescinde del efecto perturbador de las mareas (casi la superficie del nivel medio de los mares) es la superficie de referencia para la altitud.

Un elipsoide de referencia es un elipsoide que se utiliza como un marco de referencia en cálculos geodésicos. Se trata de una asimilación ideal a la forma de la Tierra, con la que es más fácil trabajar que con el geoide. Es relativamente fácil de describir un elipsoide de referencia utilizando fórmulas matemáticas. La descripción del geoide es mucho más compleja, ya que conlleva realizar mediciones muy precisas.

A diferencia de las esferas, la longitud, anchura y altura de un elipsoide no todos tienen que ser idénticos. Sin embargo, cualquier plano transversal de la forma debe seguir siendo una elipse o un círculo. Según la Enciclopedia Británica,

esto se explica a través de una ecuación matemática que tiene en cuenta tres ejes perpendiculares diferentes que todos se cruzan en el centro de la forma:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

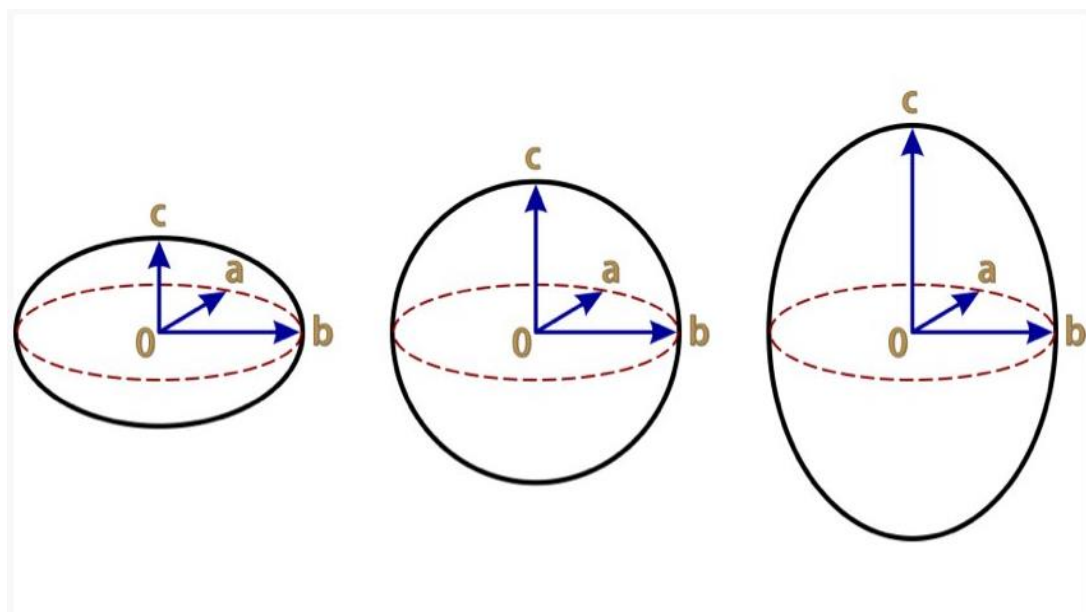


Figura 23 - Ejemplo matemático de un geoide

Fuente: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/geoide-vs-elipsoide-cual-es-la-diferencia-y-por-que-es-importante>

4.3. Geoide

Si bien pensar en la Tierra como un elipsoide, en lugar de una esfera, ciertamente da una comprensión más precisa de la forma del planeta, todavía deja mucho que desear. La forma elipsoide sigue siendo completamente suave, sin tener en cuenta la topografía. Esta es la razón por la que los elipsoides de

referencia se conocen típicamente como la "mejor aproximación" de un planeta. Para obtener una imagen más precisa, debe utilizar un modelo geoide.



Figura 24 - Forma real de la tierra "GEOIDE"

Fuente: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/geoide-vs-elipsoide-cual-es-la-diferencia-y-por-que-es-importante>

Los modelos geoide utilizan una medida llamada Nivel medio del mar para dar una representación más completa de la forma en que la superficie de la Tierra varía en elevación. El nivel medio del mar es la elevación de la superficie del nivel del mar del planeta si el agua era completamente plana, o sin mareas y corrientes. El nivel medio del mar es útil para los modelos porque el agua responde a la atracción gravitacional de la Tierra, según la NOAA (NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION).

Los lugares donde las fuerzas gravitacionales son más fuertes — y el Nivel Medio del Mar más alto — indican más masa debajo de la superficie. Del mismo

modo, un nivel medio del mar más bajo también indica caídas en la elevación en el fondo del océano.

4.4. Elipsoide WGS-1984

El WGS84 es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

El Sistema Geodésico Mundial es un estándar para su uso en la cartografía, geodesia y navegación. Cuenta con un estándar de coordenadas de la Tierra, un estándar de referencia de la superficie esférica (el dato o elipsoide de referencia) para los datos de altitud primas, y una superficie equipotencial gravitacional (el geoide) que define el nivel del mar nominal. El origen de coordenadas de WGS 84 está destinado a ser ubicado en el centro de la masa de la Tierra, se cree que el error es menos de 2 cm.

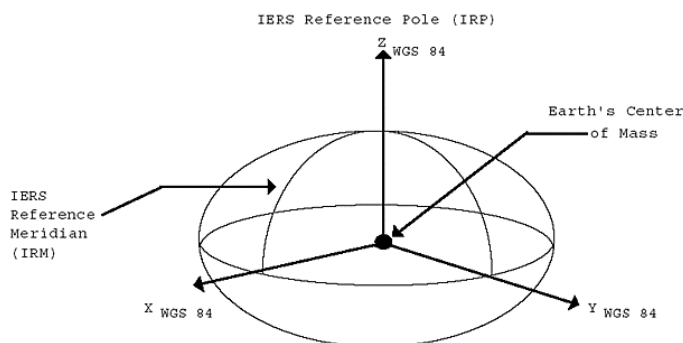


Figura 25 - Elipsoide WGS-84

Fuente: <https://ecalero.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/wgs-84.pdf>

El sistema de referencia WGS84 es un sistema global geocéntrico, definido por los parámetros:

Origen: Centro de masa de la Tierra

Sistemas de ejes coordenados:

Eje Z: dirección del polo de referencia del IERS _ The International Earth Rotation Service

Eje X: intersección del meridiano origen definido en 1984 por el BIH y el plano del Ecuador (incertidumbre de 0.005")

Eje Y: eje perpendicular a los dos anteriores y coincidentes en el origen.

Elipsoide WGS84: elipsoide de revolución definido por los parámetros:

Semieje mayor (a) = 6 378 137 m

Semieje menor (b) = 6 356 752.3142 m

Achatamiento f: 1/298,257223563

Constante de Gravitación Terrestre

$GM = 3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

Velocidad angular: $\omega = 7,292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

Coefficiente de forma dinámica: $J_2 = -484,166 85 \times 10^{-6}$

4.4.1. Cuadro comparativo

El elipsoide de referencia WGS 84, ha sufrido algunos retoques de poca variación en posteriores ediciones desde su publicación inicial. La mayoría de estas mejoras son importantes para los cálculos de precisión orbitales de los satélites, pero tienen poco efecto práctico en los usos típicos topográficos. La siguiente tabla muestra los parámetros principales del elipsoide.

El WGS 84 utiliza el meridiano de referencia IERS definido por la Oficina Internacional de l'Heure

Tabla 4 - Cuadro comparativo del elipsoide WGS84

Elipsoide de referencia	Semi-eje principales	Semieje menor b	Inverso aplanamiento (1 / f)
GRS 80	6,378,137.0 m	≈ 6,356,752.314 140 m	298,257 222 101
WGS 84	6,378,137.0 m	≈ 6,356,752.314 245 m	298,257 223 563
"WGRS 80/84"	6,378,137.0 m	6,356,752.3 m	≈ 298,257

Fuente: <http://ingecivilcusco.blogspot.com/2009/09/sistema-geodesico-mundial-1984-wgs84.html>

Se definió que por la compilación de las observaciones de estrellas en diferentes países. La media de estos datos causó un desplazamiento de unos 100 metros al este lejos del Meridiano de Greenwich en Greenwich, Reino Unido. Las posiciones de longitud en WGS 84 de acuerdo con los de la mayor de América del Norte Datum 1927 en aproximadamente 85 ° de longitud oeste, en el centro-este de los Estados Unidos

4.4.2. Actualizaciones y nuevas normas

La última revisión importante de WGS 84 también se conoce como "modelo gravitacional de la Tierra 1996" (EGM96), publicado por primera vez en 1996, con revisiones tan reciente como el 2004. Este modelo tiene la misma referencia, como elipsoide WGS 84, pero tiene una mayor fidelidad del geoide (unos 100 km de resolución contra 200 km en el original WGS 84). Muchos de los autores originales del WGS 84 contribuyeron a un nuevo modelo de la fidelidad más alta, llamada EGM2008. Este nuevo modelo tendrá un geoide con una resolución cercana a los 10 km, que requieren más de 4,6 millones de términos en la expansión esférica (frente a 130.317 en EGM96 y 32.757 en el sistema WGS 84).

4.5. Datum geodésico

Un datum es un punto, un grupo de puntos o un plano de referencia estándar, a partir del cual se realizan las mediciones en topografía. Es un punto de partida en el cual se referencia toda medida o punto. De esta manera es más fácil alinear correctamente en un mapa la información recaudada ya sea punto, medida o cualquier otra información.

Los datum horizontales permiten medir las distancias y las direcciones sobre la superficie terrestre, la mayoría de los datum horizontales define una línea cero en el ecuador, a partir de la cual medimos hacia el norte o hacia el sur. De igual forma define otra línea cero en el meridiano de Greenwich y permite medir las

distancias de este a oeste, juntas establecer un marco de referencia para la latitud y longitud.

Datum geodésico para cualquier sistema de medición extensivo de posiciones, expresadas habitualmente como coordenadas de latitud-longitud sobre la superficie terrestre. El datum geodésico horizontal puede ser local o geocéntrico. Si es local, especifica la forma y el tamaño de un elipsoide que representa a la Tierra, la ubicación de un punto de origen sobre la superficie del elipsoide y la orientación de los ejes x e y respecto del elipsoide. Si es geocéntrico, especifica la forma y el tamaño de un elipsoide, la ubicación de un punto de origen situado en la intersección de los ejes (x, y, z) en el centro del elipsoide y la orientación de los ejes (x, y, z) respecto del elipsoide. Entre los datums geodésicos horizontales locales están el Datum de Norteamérica de 1927, el Datum de Europa de 1950 y el Datum de la India de 1960; algunos ejemplos de datums geodésicos horizontales geocéntricos son el Datum de Norteamérica de 1983 y el Sistema geodésico mundial de 1984

4.6. Datum Norteamericano 1927.

Acrónimo de North American Datum of 1927 (Datum de Norteamérica de 1927). El datum geodésico horizontal local principal y el sistema de coordenadas geográficas utilizado para realizar mapas de Estados Unidos durante la parte media del siglo XX. NAD 1927 hace referencia al esferoide de Clarke de 1866 y a un punto de origen en Meades Ranch, Kansas. El Datum de América del Norte

de 1927 (NAD 27) se basó en estudios de todo el continente desde un punto de referencia común que se eligió en 1901, porque estaba lo más cerca del centro de los Estados Unidos contiguos como se podía calcular: se basó en una estación de triangulación en la unión del arco de triangulación transcontinental de 1899 en el paralelo 39 norte y el arco de triangulación a lo largo del meridiano 98 oeste que estaba cerca del centro geográfico de los Estados Unidos contiguos.

Tabla 5 - Dimensiones para NAD 27

Elipsoide	Semieje mayor (por definición)	Semieje menor (por definición)	Aplanamiento inverso (calculado)
Clarke 1866	6.378.206,4 m	6.356.583,8 m	294.978698214

Fuente: https://hmong.es/wiki/North_American_Datum

Estas son las dimensiones definitorias para NAD 27, pero Clarke realmente definió su esferoide de 1866 como $a = 20,926,062$ pies británicos, $b = 20,855,121$ pies británicos. La conversión a metros utiliza la relación de 1865 pulgadas-metro de Clarke de 39,370432. La longitud de un pie o metro en ese momento prácticamente no podía ser comparada mejor que alrededor de 0.02 mm. Está siendo sustituido paulatinamente por el Datum de Norteamérica de 1983.



Figura 26 - Meades Ranch Triangulation Station, estación fundamental para el Datum norteamericano de 1927.

Fuente: https://hmong.es/wiki/North_American_Datum

4.7. Datum Global WGS-1984

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

El DATUM geodésico global está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide (WGS-84) y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de la Tierra.



Figura 27 - DATUM WGS-84.

Fuente: Generación de Modelos Digitales de Elevación Georreferenciado a la Proyección Cartográfica Lambert. Wilfredo Amaya Zelaya

Los dispositivos GPS suelen utilizar el sistema de posicionamiento global GPS para localizarnos y mostrar las coordenadas geográficas de nuestra posición exacta en ese momento, aunque algunos dispositivos más avanzados incluyen también algunos de los otros sistemas de posicionamiento que existen. El Datum con el que por defecto trabajan todos los dispositivos GPS es el WGS84, debido a que utilizan el sistema GPS americano, por lo que las coordenadas geográficas que nos muestran son relativas a dicho Datum.

Nosotros podemos configurar el Datum con el que queremos que trabaje nuestro dispositivo GPS, pero lo único que realizará es una conversión de

las coordenadas al datum que nosotros elijamos, ya que internamente seguirá trabajando siempre con el Datum WGS84.

Aun así, configurar el Datum del dispositivo GPS es importante, para hacerlo coincidir con el Datum en el que esté diseñada la cartografía que hayamos cargado en el mismo, ya que en caso contrario vamos a encontrar desviaciones de cientos de metros al localizar un punto sobre el mapa. Por ejemplo, si la cartografía que tengamos cargada en el GPS está basada en el Datum ED50 (European Datum 1950), tendremos que configurar nuestro dispositivo GPS en el mismo Datum para que los puntos coincidan sobre el mapa.

No obstante, al almacenar los puntos de un track en el dispositivo GPS, debemos tener en cuenta que se seguirán almacenando con referencia al Datum WGS84, independientemente del Datum que hayamos configurado para mostrar la cartografía y mostrar los puntos sobre ella. En consecuencia, cuando descarguemos el track a nuestra computadora, sus coordenadas estarán también expresadas con referencia al mismo Datum WGS84. Esto es así porque el tipo de FORMATO GPX, en su definición, indica que sus coordenadas son siempre relativas al Datum WGS84.

CAPÍTULO V: SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS

MODERNOS

Los sistemas de referencia son necesarios para modelar las observaciones geodésicas como una función de parámetros desconocidos.

Los sistemas están definidos en términos de orientación, métrica y curvatura; y en principio son sistemas tridimensionales. La cuarta dimensión, el tiempo, se contempla con base en los movimientos de la Tierra, sus deformaciones y los movimientos de los cuerpos celestes.

De la misma forma como se pueden definir sistemas de referencia para la Tierra, se puede hacer por ejemplo para la Luna y el resto de los planetas del Sistema Solar. Las observaciones geodésicas y los modelos derivados de ellas necesitan de un aspecto fundamental, que es la definición de unidades básicas de medida.

En la geodesia estas unidades son adoptadas del Sistema Internacional (SI) utilizando el metro [m] para la longitud, el kilogramo [Kg] como unidad de masa y el segundo [s] como unidad de tiempo (Torge, 2001). De acuerdo con Drewes (2009), los marcos de referencia geodésicos son necesarios para referir las observaciones geodésicas y poder estimar parámetros en un único sistema global, por lo que se deben considerar las siguientes distinciones:

- El sistema de referencia, en el que se definen un conjunto de constantes, convenciones, modelos y parámetros los cuales sirven

como una base matemática para la representación de cantidades geométricas y físicas, por ejemplo, un sistema cartesiano tridimensional con origen en el geocentro, orientación ecuatorial, escala métrica y que rote con la Tierra.

- El marco de referencia, el cual es la realización del sistema de referencia y que contempla dos partes: la física, que es la materialización sólida del sistema por medio de un conjunto de puntos, y la matemática, que es la determinación de parámetros, por ejemplo, las coordenadas de las estaciones. El acceso a estos puntos se da por medio de ocupaciones o mediciones.
- El datum geodésico fija de una manera inequívoca la relación entre un marco de referencia y un sistema de referencia por medio de la asignación de un conjunto de parámetros preestablecidos, por ejemplo, las coordenadas del origen del sistema (X_0, Y_0, Z_0), las direcciones de los ejes coordenados X, Y, Z, y la escala o patrón de medida.

Tanto el sistema de referencia, el datum geodésico como el marco de referencia, adicionalmente deben respetar una jerarquía que toma en cuenta los siguientes aspectos (Drewes, 2009):

- La materialización de un sistema de referencia por medio del marco de referencia y la asignación del datum geodésico, no debe cambiar la definición del sistema de referencia.

- La realización del datum debe ser hecha por medio de mediciones independientes del marco de referencia, es decir, los errores de las mediciones o los cambios físicos en las observaciones afectan el marco, pero no el datum.
- La realización matemática del marco de referencia debe ser hecha por medio de algoritmos que mantengan fijos los parámetros del datum y sigan estrictamente los principios definidos en el sistema de referencia.

En los sistemas bidimensionales geodésicos de referencia, el datum se fija por medio de cuatro parámetros: dos que definen el origen, otro para la orientación y otro para la escala. En los modernos sistemas de referencia tridimensionales se fijan siete parámetros para el datum, tres para ubicar el origen del sistema, tres parámetros para la orientación de los ejes coordenados y uno para la escala (Drewes, 2009).

5.1. Sistema Internacional de Referencia Terrestre

El Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) constituye un conjunto de prescripciones y convenciones junto con el modelado necesario para definir el origen, la escala, la orientación y la evolución en el tiempo de un Sistema de Referencia Terrestre Geocéntrico (GTRS) anteriormente designado como Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS). El ITRS es un sistema ideal de referencia, tal como se definió en la resolución N.º 2 de la International

Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), aprobada en Viena, Austria en 1991 y la resolución N°2 de la IUGG aprobada en Perugia, Italia en 2007. El ITRS se puede relacionar con el Sistema Internacional de Referencia Celeste (ICRS) mediante el uso de los parámetros de orientación de la Tierra (EOP). El ITRS está definido de acuerdo con las siguientes condiciones (IERS, 2016):

- Es geocéntrico, el centro de masa es definido para toda la Tierra, incluyendo los océanos y la atmósfera.
- La unidad de longitud es el metro en concordancia con el Sistema Internacional y está en correspondencia con las resoluciones de la IAU y la IUGG de 1992 y se obtiene por medio de un apropiado modelado relativista.
- Su orientación está dada inicialmente por el Bureau International de l'Heure (BIH) en 1984.0
- La evolución en el tiempo de la orientación se garantiza mediante el uso de una condición de No-Net-Rotation (NNR) con respecto a los movimientos tectónicos horizontales sobre toda la Tierra.

5.2. Marco Internacional de Referencia Terrestre ITRF

El Marco Internacional Terrestre de Referencia (ITRF) es un conjunto de puntos con coordenadas tridimensionales y velocidades, las cuales hacen la realización del ITRS (IERS, 2016). El grupo de estaciones que determina el ITRF, están equipadas con varios sistemas de medición de la geodesia satelital como

Satellite Laser Ranging (SLR), Doppler Orbitography Determination and Radiopositioning Integrated on Satellites (DORIS), Global Navigation Satellite System (GNSS), Very Long Base Interferometry (VLBI) (Altamimi et al, 2002) y (IERS, 2016).

Cada una de estas técnicas contribuye a tener una única solución de ITRF, la cual es determinada por el IERS. El primer ITRF se calculó en 1984 y se denominó BTS84, el cual incluyó en ese momento observaciones del sistema TRANSIT. Desde este primer marco se han calculado diferentes soluciones denominadas como ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000 e ITRF2005, ITRF2008, siendo la más actual el ITRF2014 (IERS, 2016). El ITRF2014 incluye 1499 estaciones localizadas en 975 sitios y cerca del 10% son lugares en donde se tiene 2, 3 o 4 técnicas de medición geodésica. Las coordenadas geocéntricas de las estaciones, sus variaciones temporales y los parámetros de los EOP están dados a la época de referencia 2010,0 (IERS, 2016)

5.3. Sistemas y marcos de referencia regional SIRGAS

5.3.1. El Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

El proyecto SIRGAS inició formalmente en 1993 bajo el nombre de Sistema Geocéntrico para América del Sur, con el objetivo de materializar el ITRS en Sudamérica (Brunini, 2007) y (Brunini y Sánchez, 2012). En el año 2001, el nombre cambia oficialmente Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), debido fundamentalmente al incremento en el número de estaciones continuas

ubicadas en el resto de los países del continente. Las actividades científicas y técnicas son coordinadas por los Grupos de Trabajo en colaboración con el consejo científico y los representantes de la IAG y el IPGH (SIRGAS, 2016).

La definición de SIRGAS es idéntica al ITRS y su realización es una densificación del ITRF, ocupándose además de la parte vertical. La realización de SIRGAS es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF, materializan el mismo sistema de referencia, y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), son compatibles en el nivel milimétrico. La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local (Brunini et al, 2012) y (SIRGAS, 2016).

Las estaciones GNSS de operación continua que están integradas de manera oficial a SIRGAS sobrepasan las 400 en todo el continente americano, de las cuales 59 son estaciones del Servicio Internacional del GNSS (IGS). Esta red de funcionamiento continuo denominada como SIRGAS-CON y semanalmente es

calculada y sus coordenadas a la época de observación, están en el mismo sistema que las órbitas satelitales finales GNSS (SIRGAS, 2016)

Todos los productos que se generan como parte de los diferentes proyectos de investigación enmarcados en SIRGAS son de acceso público y gratuito. Entre ellos, uno de los más representativos son las coordenadas semanales de las estaciones de la red SIRGAS-CON. Este conjunto de coordenadas se calcula en una primera etapa por los diferentes Centros de Procesamiento SIRGAS ubicados en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Uruguay y Venezuela, los cuales, entre otras tareas, están encargados de adelantar el procesamiento semanal de la totalidad de la red SIRGAS-CON.

Los datos generados (soluciones semilibres) por cada uno de los Centros de Procesamiento, son enviados semanalmente a los dos Centros de Combinación SIRGAS, localizados en el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE) de Brasil y el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas de la Universidad Técnica de Múnich (DGFI) en Alemania en donde se encargan de generar la solución final semanal de la red SIRGAS-CON. Las coordenadas geocéntricas que resultan de este proceso están vinculadas al ITRF considerado a la época de la medición. Para mayores detalles sobre el proceso de cálculo de la red SIRGAS-CON se puede consultar la dirección: <http://www.sirgas.org/>

5.4. Sistemas y marcos de referencia local SIRGAS-ES2007

Existe una gran variedad de Sistemas de Referencia de Coordenadas, de los cuales puede haber muchos aplicables a zonas específicas, sin embargo, solo uno es de uso oficial. En nuestro país antiguamente se utilizaba NAD27 referido al elipsoide Clarke 1866 y aunque también es aplicable el UTM16N, el Sistema de Referencia oficial es SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas), el cual usa un elipsoide GRS80 y el sistema de proyección cónico conforme de Lambert.

SIRGAS comenzó siendo el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur, sin embargo, en el año 2000 fue extendido al Caribe, Norte y Centro América convirtiéndose en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas y conservando su acrónimo

El sistema SIRGAS, como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y como marco de referencia es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre ITRF. Además, sus coordenadas están referidas a una época específica, tomando en cuenta sus variaciones a través de las velocidades individuales de dichas estaciones o mediante un modelo de velocidades con cobertura en todo el continente.

La materialización del sistema SIRGAS inició mediante dos campañas GPS, SIRGAS95 con 58 estaciones y SIRGAS2000 con 84 estaciones de referencia.

En la actualidad está materializado por una red de estaciones GNSS de funcionamiento continuo con coordenadas de alta precisión (asociadas a una época específica de referencia) y sus cambios a través del tiempo (velocidades de las estaciones). Esta red, llamada SIRGAS-CON, está compuesta actualmente por aproximadamente 400 estaciones distribuidas en América Latina y es procesada rutinariamente por los Centros de Análisis SIRGAS con el fin de proporcionar una realización precisa y actual del marco de referencia.

La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

El Marco de Referencia de El Salvador es una red de base GPS de 38 estaciones (Figura 28). Fue medido por el Departamento de Levantamiento de Control Geodésico del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) dependencia del Centro Nacional de Registro (CNR) utilizando posicionamiento GPS diferencial en subredes parciales y en 36 sesiones diarias entre octubre y diciembre de 2007. La mayoría de las estaciones de referencia fueron determinadas junto con un punto de control secundario para garantizar la estabilidad a largo plazo de la red. Esta red se denomina SIRGASES2007.8: SIRGAS El Salvador 2007.8 y, dado que SIRGAS es una densificación regional del ITRF, SIRGAS-ES2007.8 es la densificación nacional de SIRGAS en El

Salvador, la cual proporciona al país un marco de referencia confiable y compatible con las tecnologías GNSS.

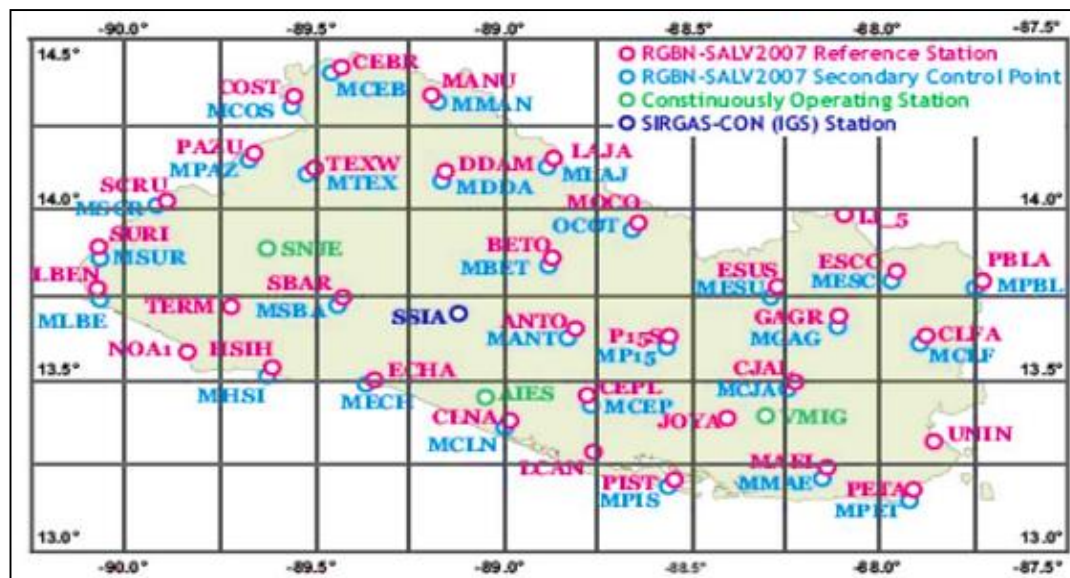


Figura 28 -Densificación del marco de referencia SIRGAS para El Salvador

Fuente: <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

PROYECCION CONICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007	
Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a = 6 378 137 m
Semieje menor	b = 6 356 752.31414 m
Achatamiento	1/f = 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	<u>13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Meridiano de origen	<u>88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS)</u>
1. paralelo estándar	<u>13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
2. paralelo estándar	<u>14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Factor de escala en el meridiano origen:	0,999 96704
DATUM SIRGAS-ES2007	
Tx = 0 Ty = 0 Tz = 0	

Figura 29 - Parámetros de la proyección cónica conformal de Lambert SIRGAS-ES2007

Fuente: Centro nacional de registro (CNR)

CAPÍTULO VI: PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

6.1. Definición proyecciones cartográficas

Es la acción de lograr que un objeto sea visible sobre la figura de otro de impulsar una cosa hacia adelante o de planificar (Porto, 2013). Existen por lo tanto diferentes tipos de proyecciones como las descritas en el ítem 3.4 Tipos de proyecciones cartográficas:

Una proyección se puede definir como un sistema ordenado que se transforma desde la superficie curva de la tierra, la red de meridianos y paralelos, en una superficie plana, que servirá para la construcción de un mapa.

Todas las proyecciones tienen cierta distinción y, cuando mayor es el área representada en un mapa, mayor es la distorsión de la proyección cartográfica. Sin embargo, se han diseñado diversos tipos de proyecciones cartográficas, en las cuales el factor de distorsión que resulta de querer representar una superficie redonda sobre una superficie plana es contrarrestado significativamente.

6.1.1. Parámetros de proyección

Una proyección por sí sola no es suficiente para definir un sistema de coordenadas proyectadas, se necesita saber dónde está el centro de la proyección, si se ha utilizado un factor de escala. Sin conocer estos parámetros de proyección no se puede definir un sistema de coordenadas.

Los parámetros de proyección especifican el origen y personalizan una proyección para un área de interés. los parámetros angulares utilizan las

unidades del sistema de coordenadas geográficas, mientras que los lineales utilizan las del sistema de coordenadas proyectadas.

6.1.2. Parámetros lineales

El falso este es un valor lineal aplicado al origen de las coordenadas X, mientras que el falso norte es un valor lineal aplicado al origen de las coordenadas Y. los valores de falso Norte y Falso Este se suelen aplicar para garantizar que todos los valores de la proyección cartográficas “Y” y “X” sean positivos. Estos también pueden usarse para reducir el rango de los valores de X o Y.

6.1.3. Parámetros angulares

Tabla 6 - Parámetros de proyección

Parámetro angular	Descripción
Meridiano central o longitud de origen	Definen el origen de las coordenadas X. tanto el meridiano central o longitud de origen son sinónimos.
Latitud de Origen o Paralelo central	Define el origen de las coordenadas Y. Este parámetro no se puede Ubicar en el centro de la proyección y se utiliza en las proyecciones cónicas para establecer el origen de las coordenadas Y, por debajo del área de interés.
Longitud del centro	Se utiliza con las proyecciones de Mercator Oblicua Hotine (de dos puntos y acimut) para

Longitud del centro	definir el origen de las coordenadas X. Normalmente equivale a los parámetros meridianos central y Longitud de origen
Latitud del centro	Se utiliza con las proyecciones de Mercator Oblicua Hotine (de dos puntos y acimut) para definir el origen de las coordenadas Y. Siendo este el centro de la proyección
Paralelo estándar 1 y Paralelo estándar 2	Se utiliza con proyecciones cónicas para definir las líneas de latitud cuando la escala es 1.0 al definir una proyección conforme cónica de Lambert con un paralelo estándar este define el origen de las coordenadas Y

Fuente: Elaboración Propia

6.1.4. Parámetros sin unidades

El factor de escala es un valor sin unidades aplicado al punto o línea central de una proyección cartográfica.

El factor de escala suele ser algo inferior a uno. El sistema de coordenadas Universal transversal de Mercator (UTM), que utiliza la proyección transversal de Mercator, tiene un factor de escala de 0,9996. En lugar de 1,0, la escala a lo largo del meridiano central de la proyección es 0,9996. Así se crean dos líneas casi paralelas a unos 180 kilómetros, o aproximadamente 1°, del punto donde la escala es 1,0. El factor de escala reduce la distorsión general de la proyección en el área de interés.

6.2. Universal Trasversa de Mercator UTM

6.2.1. Proyección de Mercator

La proyección Mercator es una de las más revolucionarias en la cartografía y fue presentado por Gerardus Mercator en 1569, se trata de una proyección que conserva la forma o relación angular entre puntos, en la que se utiliza una proyección cilíndrica como la descrita en el ítem 3.4.2 Proyecciones cilíndricas ubicado en la página 27. Es una de las proyecciones más utilizadas, aunque por lo general en forma modificada debido a la distorsión que esta genera con zonas que se encuentran alejadas del ecuador, aunque para corregir estas deformaciones en latitudes altas se usan proyecciones pseudocilíndricas, como lo son la de Van der Grinter, en la cual se generan paralelos y meridianos circulares.

Esta proyección cilíndrica se creó originalmente para mostrar rumbos de brújulas precisos para la navegación marítima. una de las características de esta proyección es que todas las formas locales son precisas y se definen correctamente en una escala infinitesimal. (Snyder, 1987).

La proyección de Mercator es una proyección cilíndrica en donde los meridianos son líneas paralelas entre sí y equidistantes las cuales se extienden al infinito al acercarse a los polos. Mientras que los paralelos o líneas de latitud son perpendiculares a los meridianos y de la misma longitud que la línea ecuatorial pero la distancia entre ellas aumenta al acercarse a los polos, la

retícula de esta proyección es simétrica en la línea ecuatorial y el meridiano central. Toda línea recta que es dibujada en esta proyección representa un rumbo real de la brújula, pero normalmente no describen la distancia más corta entre puntos, y el área se distorsiona progresivamente a medida se acerca a regiones polares. Esta proyección es adecuada para regiones cercanas a la línea ecuatorial ya que las distorsiones en esta zona son mínimas y, los polos no se pueden representar en esta proyección, únicamente se proyectan las áreas que se encuentre entre la latitud 89 grados norte y 89 grados sur. La distorsión en áreas grandes hace que la proyección de Mercator no sea adecuada para mapamundis geográficos generales. En la **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.** se representa la superficie terrestre en un plano utilizando la proyección Mercator



Figura 30 - Proyección Mercator.

Fuente: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>

Proyección Transversa de Mercator

La proyección transversa de Mercator también conocida como proyección Gauss-Krüger, es muy parecida a la proyección Mercator con la diferencia que esta proyección es tangente al elipsoide a lo largo de un meridiano en lugar del ecuador. El meridiano central debe situarse en el centro de la región de interés, ya que de esta forma es minimizado la distorsión de las propiedades de esa región. Esta proyección es la más idónea para proyectar regiones orientadas de norte a sur ya que la proyección minimiza la distorsión en la dirección de los meridianos, como por ejemplo en los países alargados de norte a sur puede ser perfectamente utilizada esta proyección.

Los sistemas de coordenadas de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y de Gauss-Krüger se basa en la proyección Transversa de Mercator y el sistema de coordenadas State Plane, utilizadas por todas las zonas norte-sur. diversos países utilizan esta proyección para sus mapas topográficos y sistemas de coordenadas a gran escala. (Snyder, 1987)

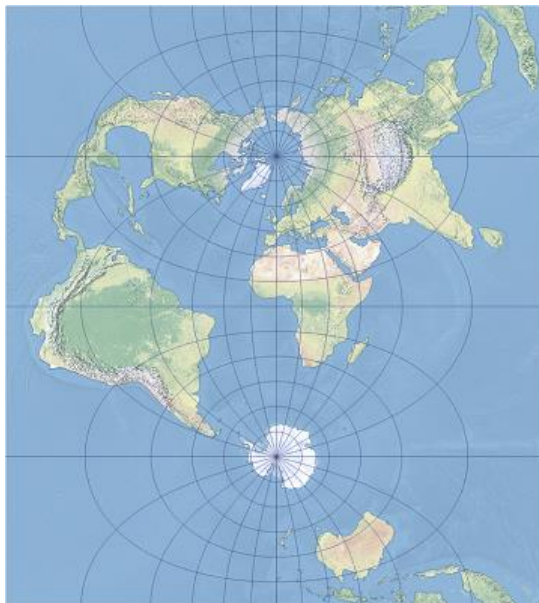


Figura 31 - Proyección transversal de Mercator.

Fuente: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>

Los parámetros utilizados en la proyección transversal de Mercator son los siguientes.

- Falso Este.
- Falso Norte.
- Meridiano Central.
- Factor de escala.
- Latitud de Origen.

6.3. Cónica Conformal de Lambert Secante

Esta proyección suele basarse en dos paralelos estándar, pero también puede definirse con un solo paralelo estándar y un factor de escala. Es idónea para la representación de cartografía en zonas que se prolongan en una orientación de este a oeste en latitudes medias, como es el caso de nuestro país. Hoy e día se

emplea en la cartografía topográfica oficial en todo el mundo. Las formas esféricas y elipsoidales de la proyección de mapa cónica conforme de Lambert fueron desarrolladas por Johann H. Lambert en 1772. (ArcGIS Pro, s.f.)

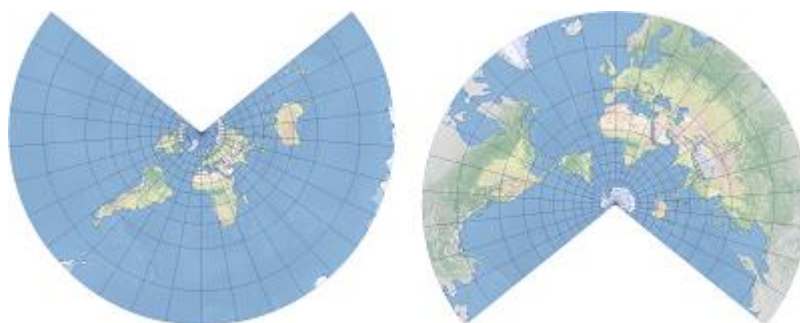


Figura 32 - Proyección cónica conforme de Lambert.

Fuente: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>

La proyección cónica conforme de Lambert es una proyección cónica. Todos los meridianos son líneas rectas equidistantes que convergen en un punto común. Su espaciado aumenta al alejarse de los paralelos estándar.

La proyección cónica conforme de Lambert es una proyección de mapa conforme. Las direcciones, los ángulos y las formas se mantienen en la escala infinitesimal. Las distancias solo son precisas a lo largo de los paralelos estándar. La escala, el área y las distancias se distorsionan progresivamente al alejarse de los paralelos estándar, pero permanecen iguales a lo largo de cualquier paralelo y son simétricos en el meridiano central. La proyección cónica conforme de Lambert es idónea para la representación cartográfica conforme de masas de

tierra en latitudes medias que se prolongan en una orientación de este a oeste, en lugar de aquellas cuya tendencia es de norte a sur.

La implementación de la proyección cónica conforme de Lambert no muestra todo el conjunto del mundo. Los paralelos estándar pueden encontrarse en cualquier latitud, excepto en los polos opuestos.

Existen tres variantes, La variante cónica conforme de Lambert es una variante general que admite todos los posibles parámetros de la proyección. La variante cónica conforme de Lambert 1SP solo admite definiciones con un paralelo estándar y factor de escala. La variante cónica conforme de Lambert 2SP solo admite definiciones con dos paralelos estándar (ArcGIS Pro, s.f.).

Los parámetros de la proyección cónica conforme de Lambert son los siguientes:

- Falso Este.
- Falso Norte.
- Meridiano central.
- Paralelo estándar 1.
- Paralelo estándar 2.
- Factor de escala.
- Latitud de origen.

CAPÍTULO VII: FUNDAMENTOS DE FOTOGRAMETRÍA

7.1. Fotogrametría

¿Qué es la fotogrametría? Antes de dar una definición debemos conocer cuál es el significado o etimología de la palabra “Fotogrametría”. Fotogrametría proviene del vocablo griego:

- Photo: Luz
- Gramma: Dibujo, trazo o representación
- Metrón: Medir

De acuerdo a esto último el significado completo de la fotogrametría, sería entonces “Medir objetos por medio de la luz”, sin embargo, muchas sociedades fotogramétricas le dan también el significado de “Medir sobre Fotos”



Figura 33 - Medición sobre fotografía

Fuente: <https://www.sutori.com/es/historia/historia-de-la-fotogrametria--zFK9osqTfD3iBDD5urtcH9Lu>

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

a) Propuesta por la **Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS)** que nos dice que **“La fotogrametría es una ciencia que se encarga de interpretar las características métricas y geométricas de un objeto por medio de la fotografía”**.

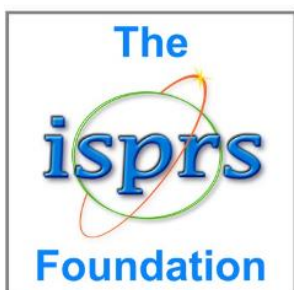


Figura 34 - Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos

Fuente: <https://www.isprs.org/>

b) La **Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS)** por su parte ofrece una definición más amplia. Esta sociedad, además de ciencia, define a la fotogrametría como **“Un arte y/o tecnología que se encarga de la medición e interpretación de los objetos en una imagen y de los patrones de energía electromagnética”**.

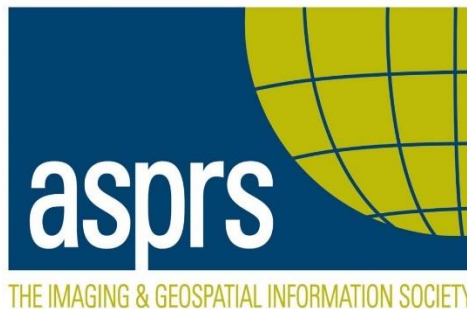


Figura 35 - Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS)

Fuente: <https://www.asprs.org/>

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

Definición de Estereoscopia: cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen.



Figura 36 - Fotogrametría con dron de ala fija

Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>

7.2. Historia de la fotogrametría

A pesar de sus 160 años de vida, la fotogrametría es una técnica que no ha perdido su valor. Su evolución y la ampliación de su ámbito de actuación la convierten en un sistema clave para el estudio y la definición precisa de la forma, las dimensiones y/o la posición en el espacio de un objeto.

Aunque la fecha de nacimiento de la fotogrametría es 1858, cuando el coronel francés Aimé Laussedat consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía, lo cierto es que un siglo antes ya hay constancia del uso de perspectivas con fines cartográficos. En 1725 M.A. Capeller cartografió el monte Pilatus con un procedimiento similar al método de las intersecciones de la topografía, pero no obtuvo las precisiones adecuadas y su idea no cuajó.

Con el trabajo de Laussedat, considerado como el padre de la fotogrametría, comienza la fotogrametría terrestre. Los años posteriores se fueron perfeccionando los aparatos utilizados en la captura de fotografías, así como las técnicas. También comenzó a utilizarse los globos aerostáticos y las cometas para la toma de fotografías aéreas, pero no fue hasta la invención del avión, en la I Guerra Mundial, cuando la fotogrametría aérea alcanzó su máximo reconocimiento. Pronto se percataron de las ventajas de utilizar estas naves para la toma de fotos en serie y se construyeron las primeras cámaras aéreas. Fue Otto Von Grubber quien, en 1928, propuso la idea de la triangulación aérea para

disminuir costos en los trabajos de campo y para que el proceso se realizara de con mayor rapidez.



Figura 37 - Fotogrametría, evolución y uso

Fuente: <https://www.globalmediterranea.es/fotogrametria-evolucion-uso/>

7.2.1. En la historia de la fotogrametría se pueden distinguir cuatro etapas:

La fotogrametría analógica: A partir de 1858 el francés Laussedat, consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía, siendo este el primer inicio de la fotogrametría, que en su día se conoció con el nombre de fotogrametría ordinaria y que ahora llamamos fotogrametría analógica. La invención del avión (1902) permitió desarrollar la moderna fotogrametría aérea, haciendo mucho más rentable la restitución de mapas topográficos. Hasta entonces, las fotos que se realizaron estaban limitadas generalmente a la fotogrametría terrestre. El avión se utilizó por primera vez para uso topográfico en 1913.



Figura 38 - Restituidor analógico Wild

Fuente: <https://mundogeo.com/1998/12/15/a-fotogrametria-e-definitivamente-digital/>

La fotogrametría analítica: Se destaca la aparición de los ordenadores electrónicos, que supuso una gran ayuda en el campo de la fotogrametría. Los componentes electrónicos sustituyeron a los componentes mecánicos de los restituidores, y a partir de entonces, muchas de las operaciones realizadas manual o mecánicamente se realizan en ordenadores periféricos. En esta etapa puede destacarse que la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un mono-comparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas (x, y) de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema.



Figura 39 - Restituidor analítico, Leica

Fuente: <https://mundogeo.com/1998/12/15/a-fotogrametria-e-definitivamente-digital/>

La fotogrametría digital: Comienza con el desarrollo de la aviación en la Primera Guerra Mundial y la necesidad de ambos bandos de obtener fotografías aéreas del campamento contrario. En la fotogrametría aérea la cámara está en movimiento, y para poder efectuar la restitución, es preciso conocer el punto exacto en que se impresiono el fotograma. La revolución del soporte digital ha supuesto para la fotogrametría cambios profundos en:

Acceso a las imágenes: la naturaleza gráfica de las imágenes, y no solo la gráfica, sino de cualquier banda del espectro electromagnético, implica que las fotos pueden ser retocadas adaptándose a las necesidades requeridas, se puede remuestrear de forma sencilla y sin involucrar complicados procesos químicos.

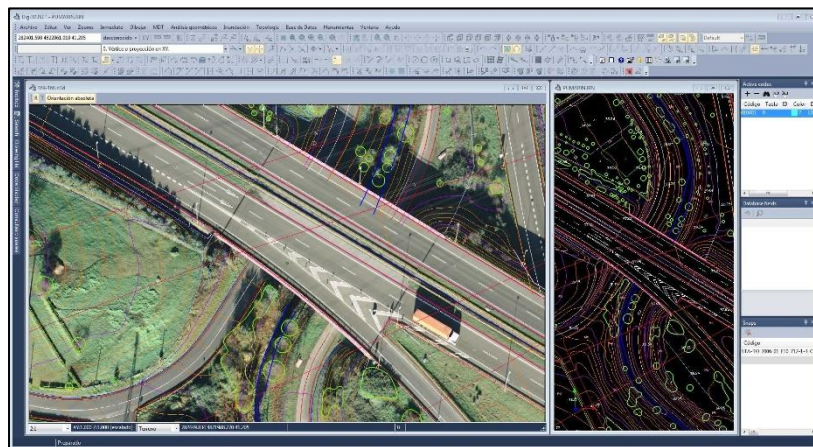


Figura 40 - Imagen digitalizada

Fuente: <https://www.digi21.net/digi3d>

Reformulación de disciplinas: todos los procesos asociados a la nueva imagen digital y a sus nuevas formas de trabajar con ellas, han provocado en la fotogrametría una fusión de disciplinas.

La utilización de cámaras de gran formato: Desde el punto de vista de los fundamentos teóricos hay poca diferencia entre esta etapa y la anterior pues ambas parten del mismo punto (la imagen digital) y terminan en el mismo punto (la cartografía digital). Sin embargo, desde un punto de vista práctico y comercial, las diferencias son enormes, hasta el punto de que podemos decir que las posibilidades abiertas por esta nueva etapa tienen un alcance y repercusión mayores que los de las etapas precedentes.

7.3. Evolución de la fotogrametría

El último gran hito de la fotogrametría surgió con la llegada de la informática y los avances tecnológicos dando paso primero a la fotogrametría analítica y después a la digital. Gracias a ellos se ha podido montar cámaras fotográficas digitales, con gran calidad y precisión, sobre drones para obtener imágenes perfectas y sin errores. Además, esa tecnología permite acceder a terrenos de difícil acceso, aporta más agilidad y rapidez en la toma de datos, así como una alta precisión y permite resolver los problemas que pueden aparecer.

Y todos esos avances han permitido que la fotogrametría amplíe su ámbito de actuación. Desde su aparición, la principal aplicación ha sido la generación de mapas topográficos y planos. En la actualidad también se utiliza en arqueología y documentación del patrimonio cultural, arquitectura, planeamiento y ordenación del territorio, medio ambiente y también en campos como la investigación policial, la medicina, la ergonomía o incluso en el cine y la industria del videojuego, para crear espacios y personajes más reales.

7.3.1. Estado actual de la Fotogrametría

En estos momentos nos encontramos en una fase de transición de los procedimientos puramente analíticos a los digitales. Los primeros sensores aerotransportados digitales y métricos ya han salido al mercado.

La situación actual en el mundo fotogramétrico se caracteriza por una serie de tendencias:

El uso de cámaras analógicas y/o digitales aerotransportadas sincronizados con sistemas de posicionamiento espacial y de navegación inercial, GPS/INS.

El uso de cámaras digitales multiespectrales. Las resoluciones espectral y radiométrica son mayores en las cámaras de estado sólido (CCD) que en las cámaras convencionales.

Sistemas digitales automatizados multitarea y multiproducto, de fácil manejo, compatibles y abiertos. En una misma estación fotogramétrica digital se pueden realizar orientaciones, modelos digitales, ortoimágenes, visualizaciones tridimensionales, triangulaciones, etc.

La integración de datos en Sistemas de Información geográfica.

7.4. Tipos de fotogrametría

La Fotogrametría se encarga de estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

Existen dos formas en la que podemos hacer fotogrametría: La primera de ellas se encuentra definida según el tipo de fotografía o según la distancia con el objeto que es fotografiado, teniendo así:

La fotogrametría terrestre: la cual básicamente tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de

la cámara y el objeto es perfectamente conocida. Básicamente sería tomar fotografías a un objeto desde diferentes perspectivas o ángulos de visión.

Por otra parte, tenemos también la fotogrametría Aérea, en la cual se utilizan fotografías aéreas tomadas desde una cámara ubicada en una plataforma especial ya sea por un avión o un dron. También se consideran las imágenes provenientes de diferentes sensores ubicados en los satélites.

Por otra parte, la segunda clasificación de la fotogrametría viene dada según el tipo de tratamiento o el *tipo de instrumental utilizado*. Dentro de esta clasificación se encuentran:

Fotogrametría analógica, que 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. Fue la primera parte de la fotogrametría que se desarrolló.



Figura 41 - Restituidor analógico Wild

Fuente: https://ar.pinterest.com/diego_mestre/restituidores-fotogrametricos/

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. Se posibilita la integración de la información a programas de tipo CAD.



Figura 42 - Análisis computacional, matemático y cartográfico, levantamientos arquitectónicos y arqueológicos

Fuente: <https://www.eea.csic.es/laac/laac-fotogrametria/>

Fotogrametría digital: es la fotogrametría que se utiliza actualmente y emplea el uso de las computadoras y los programas o software aplicados a dar origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc. Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza estas operaciones por comparación de imágenes; finalmente el resultado es una imagen en formato ráster o vectorial.

Lo interesante de esta salida (digital) es que puede ser utilizada, como información base para la generación de los conocidos Sistemas de Información Geográfica (SIG).

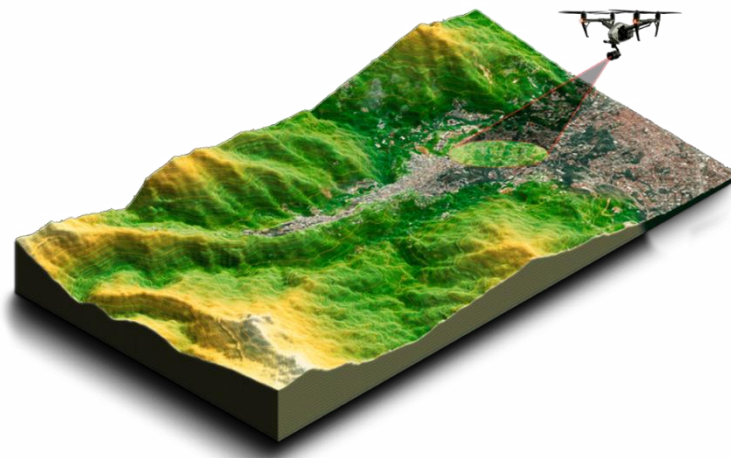


Figura 43 - levantamiento de mapas de terrenos y catastros

Fuente: <https://uavlatam.com/que-es-la-fotogrametria-como-funciona/>

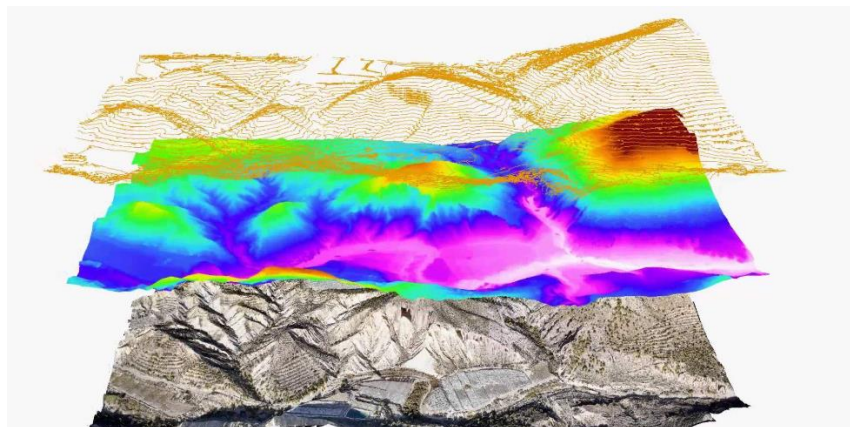


Figura 44 - Fotogrametría y sus procesos.

Fuente: <https://tecnoceano.com/fotogrametria-datos-generales/>

7.5. Método de la fotogrametría

Fotografiar los objetos: Será necesario una previa planificación del vuelo y de las tomas de fotografías (se hace en la fase de proyecto de vuelo), tras la planificación se procede a la obtención de imágenes (Vuelo), y a un posterior procesado.



Figura 45 - Planificación de vuelo

Fuente: <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Medir las imágenes: Reconstruir los haces en la fase de orientación interna, reconstruir su posición en el espacio en la fase de orientación externa: orientación relativa (proceso mediante el cual se forma un modelo), orientación absoluta (proceso mediante el cual el modelo estereoscópico se desplaza en el espacio. Una vez orientado y posicionado el haz se procede a reconstruir el objeto (restitución)

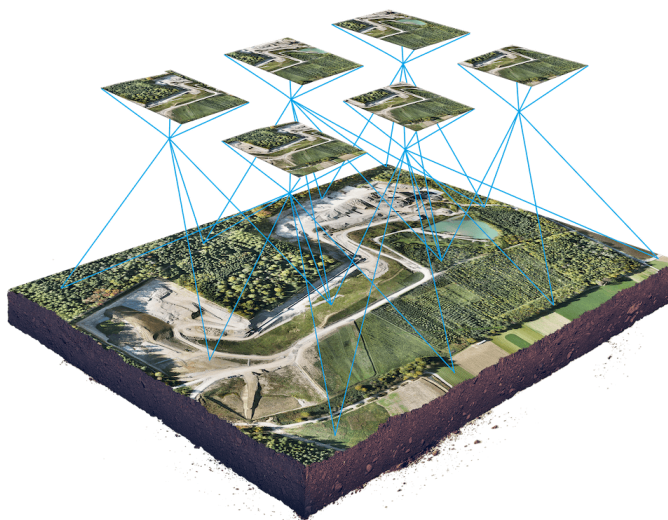


Figura 46 - Posición de fotografías

Fuente: <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Medir el objeto y reducir las medidas a algún tipo de representación, siendo necesario el uso de un restituidor analógico o digital.

Fotogrametría aérea

El principio operativo de la fotogrametría aérea se basa en un avión que avanza disparando fotos consecutivas, cada cierto intervalo. Después, mediante métodos de corrección y restitución se obtienen ortofotos., las cuales representan fielmente la superficie de la tierra, se pueden georreferenciar para usar en proyectos, midiendo superficies, distancias, apreciando áreas que serían imposibles desde tierra y sirviendo de base para nuevos proyectos.

7.6. Fotogrametría con drones

En relación con la fotogrametría en topografía, la fotogrametría con drones puede definirse como la técnica utilizada para realizar mediciones, tanto de dimensiones, como de formas y posición de objetos en el espacio, y a través de la superposición de imágenes captadas, poder realizar mediciones en 3D. Esta técnica permite la generación de planos y mapas con mucha precisión.

Antes de que los drones entraran a escena, las fotografías aéreas se obtenían utilizando avionetas y/o helicópteros, lo cual significaba riesgos y costos muy altos. Las fotografías satelitales también se utilizaban para realizar estos trabajos, pero tampoco tenían buena definición. Los productos obtenidos eran poco precisos.



Figura 47 - Fotogrametría con drones

Fuente: <https://otromodo.cl/web/2023/03/10/fotogrametria-con-drones-y-su-uso-en-topografia/>

7.6.1. Ventajas de la fotogrametría con drones

Existen varias ventajas que enumeramos a continuación. Una de ellas se refiere a la rapidez para la realización de los trabajos fotogramétricos. Los

tiempos se han reducido considerablemente debido a la precisión en la aerotriangulación fotogramétrica, que es la forma de obtener las coordenadas de diversos puntos del terreno a través de fotografías, así como también el procesamiento de dichas imágenes a través de software especializado que agiliza el trabajo fotogramétrico. En este mismo punto y como ventaja adicional, encontramos que los costes de operación son mucho más bajos. La realización de fotogrametría con drones resulta mucho más económica respecto a los otros métodos de captación de la información.

Otra ventaja se refiere a la seguridad de los operarios quienes realizan sus actividades de manera remota. Esto se realiza generalmente en una estación de trabajo y los drones se encargan del resto. Ya no es necesario que los operarios recorran físicamente terrenos escarpados o espacios que en muchos casos implicarían riesgos para ellos. También facilita el trabajo en grandes extensiones, de ahí que cada vez se use más la fotogrametría con drones en carreteras, por ejemplo.

La magnífica resolución en las imágenes es otra gran ventaja de la que podemos hablar. Con los drones pueden realizarse tomas a distintas alturas, permitiendo una gran calidad, así como mayor control de los resultados.

Con los drones y sensores adecuados se tendrán resultados de calidad de acuerdo con los proyectos a realizar, entre las aplicaciones más comunes están:

- **Cartografía:** creación de mapas catastrales por medio de la digitalización

de las ortografías georreferenciadas.

- **Prospección:** son utilizados para la exploración de terrenos con yacimientos geológicos.
- **Hidrológicas:** exploración de terrenos o cuencas para estudios hidrológicos.
- **Agricultura:** identificación de cultivos, tipos de plantas, tipos de suelos etc.
- **Control de obra:** inspecciones para el control de proyectos u avances de obras civiles.

7.6.2. Principales aplicaciones de la fotogrametría UAV

La fotogrametría con drones tiene actualmente muchas aplicaciones y son extensas las áreas o nichos en las que puede trabajarse. La ingeniería fotogramétrica tiene su aplicación en: agricultura de precisión, minería, agronomía, medio ambiente (impacto ambiental) y evaluación de la vegetación. Para el tema municipal podemos encontrar catastro, ingeniería y obras civiles, planeación y ordenamiento territorial.

Así también inspección de infraestructura térmica / paneles solares, geología, tanto tectónica como estructural. En otras áreas también encontramos arquitectura y arqueología, entre muchas otra como:

Agricultura de precisión con drones

La agricultura de precisión en términos generales, tiene como objeto estimar, evaluar y entender la variabilidad del campo a fin de obtener información valiosa. Todo ello se realiza a través de una serie de herramientas tecnológicas que permiten optimizar la calidad y productividad de los suelos. Los drones en la agricultura de precisión, recogen datos e información a partir de los sensores multiespectrales con los que cuentan. Al final, ello se traduce en poder tomar mejores decisiones al momento de aplicar mejoras a la producción y/o adecuar las correcciones que se requieran.

Catastro

La fotogrametría con drones enfocada a diferentes áreas municipales ha sido de gran valor. Este es el caso del catastro municipal. Temas como la actualización del padrón catastral, el cálculo de impuesto predial, avalúos catastrales, así como los traslados de dominio, son realizados con mayor precisión y eficiencia. Los tiempos del proceso, desde la toma de información hasta su procesamiento, se han reducido considerablemente gracias a esta herramienta.

Arquitectura

Otra área en la que se ha aplicado la fotogrametría con drones es la arquitectura. La cual ha crecido enormemente en los últimos años. El escaneo en 3D tanto en interiores como en exteriores, al aplicarse con el software adecuado

ha permitido trabajos importantes en esta rama. La preservación del valor histórico es una de las muchas áreas en las que puede aplicarse esta tecnología.

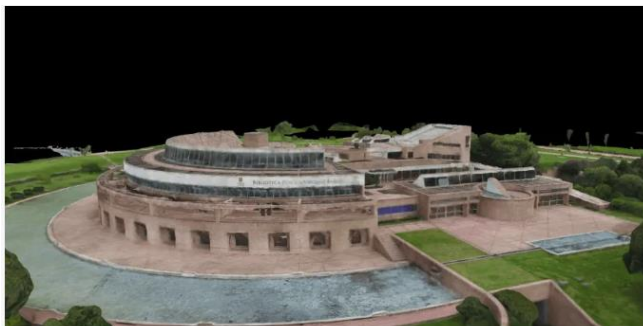


Figura 48 - Fotogrametría en arquitectura

Fuente: <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Minería

La utilización de la fotogrametría con drones en la industria de la minería está siendo cada vez más relevante. En esta rama es muy importante la medición de cantidades y volúmenes de los materiales que se extraen. Llevar el control y organización del espacio donde se realizan las extracciones de materiales, así como de la cantidad de productos extraídos es vital. Los drones son muy importantes para conocer a profundidad el terreno en el que estamos trabajando, y con ellos, conocer las características particulares y las rutas de acceso para evitar la mayor cantidad de riesgos posibles.

Infraestructura térmica / paneles solares

La información que se obtiene a través de la fotogrametría con drones aplicada a inspecciones de infraestructura térmica y paneles solares es de gran utilidad. Se obtiene información muy valiosa a partir de todas las imágenes capturadas.

Esto se realiza a través de sensores térmicos en los drones. Con la información recabada, es posible realizar estudios longitudinales y análisis comparativos, dando como resultado evaluaciones completas de estos sitios.

Ingeniería y obras civiles

Son muchas las áreas de aplicación de la fotogrametría con drones en ingeniería y obras civiles. Esto es por el gran desarrollo que suponen para las ciudades. Por mencionar algunas, como ejemplo nos referiremos a carreteras, puentes, túneles, acueductos, alcantarillado, edificios, análisis hidrológicos, planeación urbana, diseños viales, etc. Las inspecciones que se realizan con drones, implican un ahorro substancial tanto en tiempos como en los recursos económicos aplicados garantizando resultados muy precisos.

7.6.3. Software para fotogrametría con drones

Existen diferentes tipos de software para procesar información fotogramétrica. Hay gran cantidad de herramientas que podemos utilizar. Encontraremos algunas versiones gratuitas, otras en las que se otorga un periodo de prueba y otras que son versiones de pago. Podrás elegir entre ellas dependiendo de los trabajos que desees realizar y los resultados que desees obtener. Aunque existen muchas aplicaciones, los softwares de Pix4D o Agisoft Metashape (versión más actual de Agisoft Photoscan) pueden serte de mucha utilidad para el procesamiento de la información.

Pix4D

Las características de este software de fotogrametría digital, hacen que sea muy versátil y a la vez una muy buena opción en todo lo que se refiere a procesamiento de datos fotogramétricos. En general, funciona generando nubes de puntos que son comunes entre ellos, con lo cual pueden construirse ortomosaicos y modelos digitales de superficies y de terrenos a partir de grupos de imágenes sobrepuestas. Con lo anterior, es posible generar tanto cartografía 2D, así como modelos en 3D. Tiene diferentes versiones dependiendo el área y/o los análisis que desees realizar.



Figura 49 - Software para fotogrametría digital

Fuente: <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Agisoft PhotoScan y Metashape

El software de Agisoft PhotoScan se actualiza y presenta la versión 2.0.1 ahora llamada Agisoft Metashape. Esta versión contiene todas las características profesionales del PhotoScan original y ofrece algunas más mejorando la versión.

Este es un software que genera nubes de puntos densas, modelos poligonales texturizados, índices DSM / DTM de imágenes y ortomosáicos. Como herramienta de fotogrametría, Metashape es un software muy completo. Gracias a todas sus características, se obtienen resultados muy precisos y confiables.

7.6.4. Los mejores drones para fotogrametría

Se debe tener en cuenta que la elección del dron o dron que se pretende utilizar para los trabajos fotogramétricos es muy importante. Existen distintos drones que podemos usar para este fin, desde los más básicos hasta los más potentes existentes en el mercado. Todo dependerá del tipo de trabajo que realices y los fines que persigas. Opciones como el **Mavic 2 Pro** o **Phantom 4** son drones **DJI** pueden darte excelentes resultados si buscas comenzar a explorar este tema.

Actualmente tenemos la ventaja de poder elegir entre diversos drones y precios. Existen por supuesto drones más avanzados si ya cuentas con más experiencia.

- 1.Mavic 2 Pro
- 2.DJI Inspire 2
- 3.Phantom 4 Pro V2
- 4.Mavic 2 Zoom
- 5.Matrice 300 RTK

Tabla 7 - Los mejores drones para fotogrametría

Los mejores drones para fotogrametría	
 <p>Mavic 2 Pro</p>	 <p>DJI Inspire 2</p>
 <p>Phantom 4 Pro V2</p>	 <p>Mavic 2 Zoom</p>
 <p>Matrice 300 RTK</p>	

Fuente: <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

CAPÍTULO VIII: GENERALIDADES DE LOS DRONES

8.1. Funcionamiento de drones

Los drones funcionan de manera muy similar a otros medios de transporte aéreo como un helicóptero o un avión: se enciende el motor, se pone en marcha y las hélices giran para posibilitar el vuelo. Luego, con los mandos del control remoto, el piloto va dirigiendo el vuelo desde la tierra. Muchos drones tienen la opción de fijar, de manera automática, un rumbo. Esto es posible gracias a la incorporación de un GPS que se ajusta para llegar al destino indicado. El recorrido es registrado por una cámara cuya imagen el piloto puede ver desde su mando.



Figura 50 - Mando a control remoto y dron

Fuente: Elaboración Propia

La mayoría de los modelos de drones suelen tener cuatro hélices, aunque hay modelos de tres, seis y hasta ocho. Las hélices suelen ser a dos palas y, para que el vehículo se mantenga estable en el aire, dos hélices rotan en un sentido y las otras en sentido contrario.



Figura 51 - Sentido del giro de las hélices de un dron

Fuente: <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-functiona-un-dron-con-explicacion-de-helices-y-motores/>

8.1.1. ¿Cómo funciona un dron?

Hoy en día, los Drones son muy fáciles de volar en cualquier dirección. También pueden flotar en un solo lugar de manera muy suave. La ingeniería y el diseño son diferentes a los de un avión o helicóptero para volar.

En este capítulo veremos cómo vuela un Drone, la dirección requerida del motor, la configuración, el diseño de la hélice junto con el empuje del motor del cuadricóptero y los cálculos requeridos.



Figura 52 - Vuelo de un dron

Fuente: <https://www.a7la-home.com/es/how-do-drones-actually-fly/>

Entonces, ¿cómo es que un dron flota o vuela en cualquier dirección, se levanta o desciende en un momento al tocar la palanca del mando a distancia? Los drones también pueden volar de forma autónoma a través del software de navegación de waypoints programado y volar en cualquier dirección de un punto a otro. Veamos la tecnología del dron, que lo hace posible.

La dirección de la hélice junto con la rotación y velocidad del motor del dron, es lo que hace posible su vuelo y maniobrabilidad.

El controlador de vuelo del dron envía información a los motores a través de sus circuitos electrónicos de control de velocidad (ESC) sobre el empuje, las RPM (revoluciones por minuto) y la dirección. El controlador de vuelo también combinará datos IMU, Gyro y GPS antes de enviar señales a los motores de los cuadricópteros sobre el empuje y la velocidad del rotor.

Aunque la tecnología de los aviones teledirigidos y de los drones de hoy en día es moderna, todavía utilizan los antiguos principios de vuelo, gravedad, acción y pares de reacción de los aviones.

En la fabricación de drones, hélices y diseño de motores, las 4 fuerzas que afectan a todo el vuelo (peso, elevación, empuje y resistencia) son también consideraciones importantes.

Las matemáticas también se utilizan para calcular el empuje del motor del cuadricóptero, mientras que la aerodinámica de la aeronave se utiliza para el

diseño de la hélice y el movimiento del aire por encima, por debajo y alrededor del cuadricóptero.

La importancia de cómo funciona y cómo vuela un dron

Con un poco de experiencia, volar un dron se convierte en algo automático. Usted mueve las palancas en la Estación Terrestre del Controlador Remoto que envía el dron en cualquier dirección que se desee que vuele. No necesitamos pensar en lo que hacen los motores o las hélices.



Figura 53 - Mando de control remoto del dron

Fuente: <https://www.al-top.com/producto/control-remoto-sdk-para-dji-phantom-4-rtk/>

Suponiendo que el dron no vuele correctamente. Tal vez esté tirando en una dirección o no esté flotando suavemente. Bueno, comprender cómo funciona un dron y cómo vuela ayudará a localizar el problema con un motor o una hélice, especialmente si una inspección visual no muestra una falla.

Cuando entienda el diseño de la hélice del dron y el empuje del motor, podrá hacer cambios en su cuadricóptero, como retirar la cámara e instalar otra carga útil, como un sensor de tiempo de vuelo o un sensor Lidar.



Figura 54 - Dron Phantom 4 Pro con sensor LIDAR

Fuente: <https://mettatec.com/es/ppk-kit-phantom-4/>

Volar con una carga útil diferente tendrá un efecto sobre el control, el vuelo y el equilibrio del avión no tripulado. Una carga útil diferente requerirá entonces un empuje diferente del motor del dron.

8.1.2. Explicación de la dirección del motor y de la hélice del dron

Básicamente, el movimiento en el mando a distancia se sincroniza con el dron y este envía señales a la central de control de vuelo. Este controlador central de vuelo envía esta información a los Controladores Electrónicos de Velocidad (ESCs) de cada motor, que a su vez dirigen sus motores para aumentar o disminuir la velocidad.

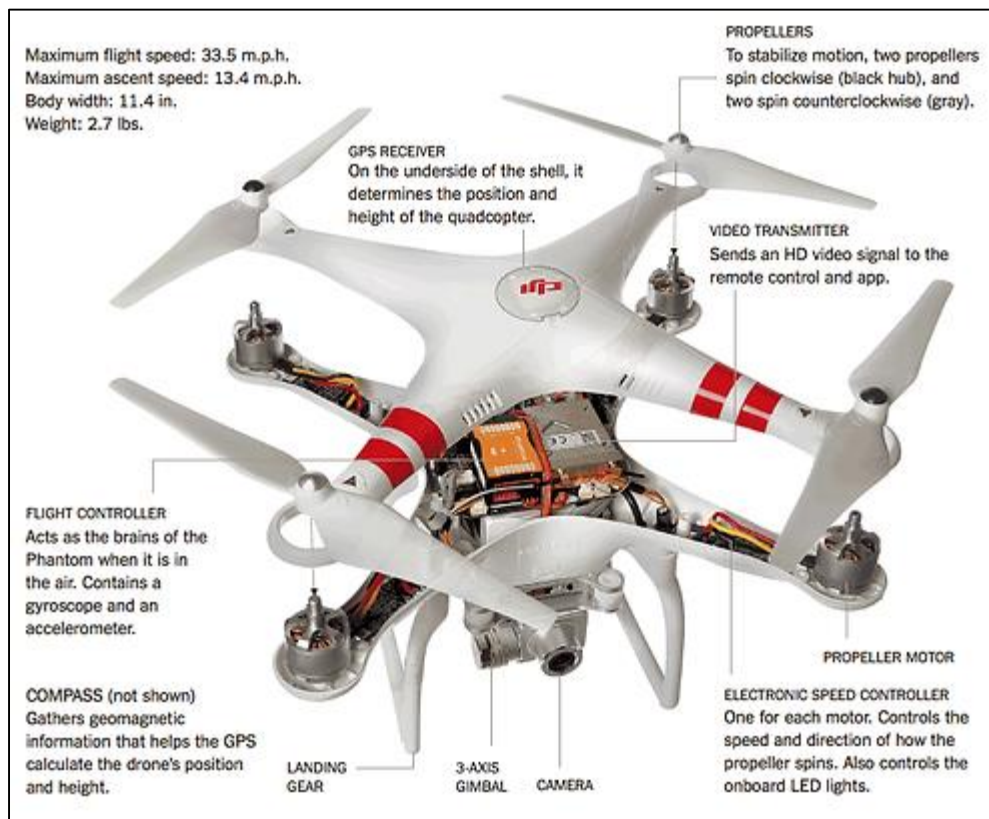


Figura 55 - ESC (Electronic Speed Control)

Fuente: <https://aerlyper.es/funcionamiento-de-un-dron-lo-que-debes-saber/>

Control Remoto de Movimiento con Palanca → Controlador Central de Vuelo
 → Circuitos Electrónicos de Control de Velocidad (ESCs) → Motores y Hélices
 → Movimiento Quadcopter o Hover.

Controlador central de vuelo

El controlador central de vuelo también toma información de IMU, giroscopio, módulos GPS y sensores de detección de obstáculos si están en el dron. Realiza

cálculos de cálculo utilizando parámetros y algoritmos de vuelo programados y envía estos datos a los reguladores electrónicos de velocidad.

La mayoría de los controladores de vuelo abarcan el IMU, GPS, Giroscopio y muchas más características para controlar el vuelo y la estabilidad del dron. Muy a menudo, tienen IMUs duales para redundancia y otras características de seguridad, como Return-To-Home.

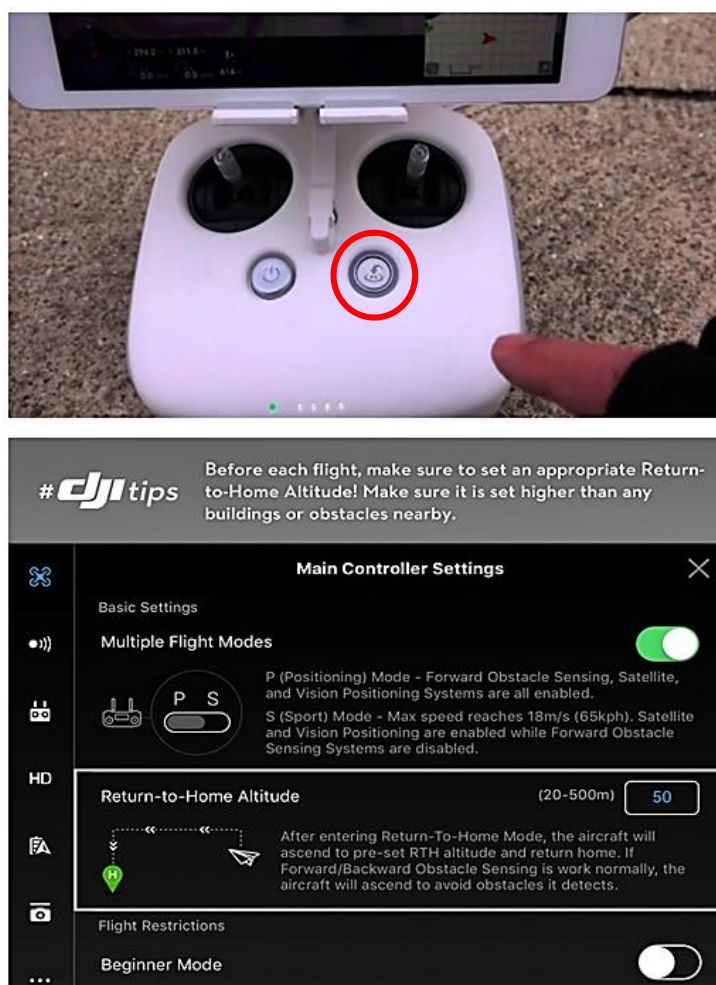


Figura 56 - Función Return-To-Home

Fuente: <https://www.d1store.com.au/lounge/content/top-5-ways-to-prevent-flyaways-must-have-knowledge-for-drone-pilots>

Un ejemplo de controlador central de vuelo sería el DJI N3 Flight Controller. Tiene tantas características y puede trabajar con una gran variedad de motores.



Figura 57 - DJI N3 Flight Controller

Fuente: <https://www.dji.com/n3>

Circuitos electrónicos de control de velocidad (ESC)

Cada motor de cuadriciclo tiene un circuito llamado Control electrónico de velocidad (ESC). Un controlador electrónico de velocidad es un circuito electrónico con el propósito de variar la velocidad de un motor eléctrico, su dirección y también el frenado.

Los Controladores Electrónicos de Velocidad son un componente esencial de los modernos cuadricópteros. Ofrecen alta potencia, alta frecuencia y alta resolución de CA trifásica a los motores. Al mismo tiempo, estos ESCs son realmente pequeños y compactos.

Los cuadricópteros y los drones dependen enteramente de la velocidad variable de los motores que accionan las hélices. Esta amplia variación y el

empuje de RPM y el control de la velocidad del motor / hélice le da al dron todo el control necesario para volar.

Para entender más sobre los Controladores Electrónicos de Velocidad, vea este magnífico video llamado «RC Basics – The ESC».

Dirección de la hélice del motor del dron

Vertical Lift – Dirección de la hélice del motor del dron

Para que un dron se eleve en el aire, se debe crear una fuerza que iguale o exceda la fuerza de la gravedad. Esta es la idea básica detrás de la elevación del avión, que se reduce a controlar la fuerza ascendente y descendente.

Ahora, los cuadricópteros utilizan el diseño del motor y la dirección de la hélice para la propulsión para controlar básicamente la fuerza de gravedad contra el cuadricóptero.

El giro de las palas de la hélice del dron empuja el aire hacia abajo. Todas las fuerzas vienen en pares (Tercera Ley de Newtons), lo que significa que para cada fuerza de acción hay una fuerza de reacción igual (en tamaño) y opuesta (en dirección). Por lo tanto, a medida que el rotor empuja hacia abajo en el aire, el aire empuja hacia arriba en el rotor. Cuanto más rápido giren los rotores, mayor será la elevación y viceversa.

Ahora, un dron puede hacer tres cosas en el plano vertical: flotar, subir o bajar.

Flotar – Para volar, el empuje de la red de los cuatro rotores empuja el dron hacia arriba y debe ser exactamente igual a la fuerza gravitacional que lo empuja hacia abajo.

Ascenso de ascenso – Aumentando el empuje (velocidad) de los cuatro rotores del cuadricóptero para que la fuerza ascendente sea mayor que el peso y la fuerza de gravedad.

Descenso Vertical – El descenso requiere hacer exactamente lo contrario de la subida. Disminuya el empuje del rotor (velocidad) para que la fuerza neta sea hacia abajo.

Dirección de la hélice del dron: guiñada, cabeceo y balanceo

Antes de ahondar en la configuración del motor y la hélice del dron, vamos a explicar un poco sobre la terminología utilizada cuando vuela hacia delante, hacia atrás, de lado o girando mientras se desplaza por el aire. Estos son conocidos como **Pitch, Roll y Yaw**.

Yaw o Guiñada – Es la rotación o giro de la cabeza del cuadricóptero, ya sea a la derecha o a la izquierda. Es el movimiento básico para hacer girar el cuadricóptero. En la mayoría de los drones, se consigue utilizando el acelerador izquierdo, ya sea a la izquierda o a la derecha.

Pitch – Este es el movimiento del dron hacia adelante y hacia atrás. La inclinación hacia adelante se logra generalmente empujando la palanca del

acelerador hacia adelante, lo que hace que el dron se incline y se mueva hacia adelante, lejos de usted. La inclinación hacia atrás se logra moviendo la palanca del acelerador hacia atrás.

Roll – La mayoría de la gente se confunde con Roll y Yaw. Roll está haciendo que el cuadricóptero vuele de lado, ya sea a la izquierda o a la derecha. El balanceo es controlado por el acelerador derecho, haciendo que vuele a la izquierda o a la derecha.

Dirección del motor del dron para el Yaw

Guiñada es la desviación o rotación de la cabeza del cuadricóptero hacia la derecha o hacia la izquierda. En un avión teledirigido como el DJI Mavic Pro o el último Mavic 2 Pro, la acción de Yaw se controla con la palanca de control derecha del mando a distancia. Mover el palo hacia la izquierda o hacia la derecha hará que el cuadricóptero gire hacia la izquierda o hacia la derecha.

El movimiento en la estación terrena de control remoto envía señales al controlador de vuelo, que a su vez envía los datos de los circuitos ESC del cuadricóptero que controlan la configuración del motor y la velocidad a los motores.

Para ver cómo funciona esto realmente, eche un vistazo al diagrama de configuración de la hélice del cuadricóptero que se muestra a continuación. El diagrama es de un DJI Phantom 3 quadcopter, visto desde arriba con los rotores etiquetados del 1 al 4.



Figura 58 - Configuración de hélices de un dron

Fuente: <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-funciona-un-dron-con-explicacion-de-helices-y-motores/>

En este diagrama se puede ver la configuración del motor del cuadricóptero, con los motores de 2 / 4 girando en sentido contrario a las agujas del reloj (motores CCW) y los de 1 / 3 girando en sentido de las agujas del reloj (motores CW). Con los dos juegos de motores de cuadricópteros configurados para girar en direcciones opuestas, el momento angular total es cero.

El momento angular es el equivalente rotacional del momento lineal y se calcula multiplicando la velocidad angular por el momento de inercia. ¿Cuál es el momento de inercia? Es similar a la masa, excepto que trata de la rotación. El momento angular depende de la velocidad de giro de los rotores.

Conceptualmente, el momento de inercia puede considerarse como la representación de la resistencia del objeto al cambio en la velocidad angular.

Si no hay par en los motores de los cuadráticos, entonces el momento angular total debe permanecer constante, que es cero. Para entender el movimiento angular del dron anterior, piense en los 2 y 4 rotores azules en sentido contrario a las agujas del reloj que tienen un momento angular positivo y los motores verdes en sentido de las agujas del reloj que tienen un momento angular negativo. Asignaré a cada motor un valor de $-4, +4, -4, +4, +4$, que equivale a cero.

Para girar el dron hacia la derecha, entonces una disminución en la velocidad angular del motor 1 para tener un momento angular de -2 en lugar de -4 . Si no pasara nada más, el momento angular total del cuadricóptero sería ahora de $+2$. Ahora, eso no puede pasar. El dron girará ahora en el sentido de las agujas del reloj para que el cuerpo del dron tenga un momento angular de -2 .

Disminuir el giro del rotor 1 en efecto causó que el dron rote, pero también causa un problema. También disminuyó el empuje del motor 1. Ahora la fuerza ascendente de la red no es igual a la fuerza gravitacional y el cuadricóptero desciende.

También el empuje del motor del cuadricóptero no es el mismo, por lo que el cuadricóptero se desequilibra. El cuadricóptero se inclinará hacia abajo en la dirección del motor 1.

Para girar el dron sin crear los desequilibrios anteriores, luego una disminución en el giro de los motores 1 y 3 con un aumento en el giro de los rotores 2 y 4.

El momento angular de los rotores aún no llega a cero, por lo que el cuerpo del dron debe girar. Sin embargo, la fuerza total permanece igual a la fuerza gravitacional y el dron continúa flotando. Debido a que los rotores de empuje inferiores son diagonalmente opuestos entre sí, el dron puede permanecer equilibrado.

Dirección de la hélice del cuadricóptero para el Pitch (cabeceo) y Roll (balanceo)

Debido a que la mayoría de los cuadricópteros son simétricos (DJI Phantom 4, Ehang Ghost, Autel X-Star y Holy Stone HS 100 dron, por ejemplo), no hay diferencia entre avanzar o retroceder. Lo mismo ocurre con el movimiento de lado a lado. Cómo volar hacia adelante también explica cómo volar hacia atrás o hacia los lados.

Para poder volar hacia adelante, se requiere un aumento en las revoluciones del motor del cuadricóptero (velocidad de rotación) de los rotores 3 y 4 (motores traseros) y una disminución en la velocidad de los rotores 1 y 2 (motores delanteros). La fuerza de empuje total permanecerá igual al peso, por lo que el dron permanecerá en el mismo nivel vertical.

Además, como uno de los rotores traseros gira en sentido contrario a las agujas del reloj y el otro en sentido de las agujas del reloj, el aumento de la rotación de esos motores seguirá produciendo un momento angular cero. Lo mismo ocurre con los rotores delanteros, por lo que el dron no gira.

Sin embargo, la mayor fuerza en la parte trasera del dron significa que se inclinará hacia adelante. Ahora un ligero aumento en el empuje para todos los rotores producirá una fuerza de empuje neta que tiene un componente para equilibrar el peso junto con un componente de movimiento hacia adelante.

8.1.3. Cómo funcionan los motores del dron

Arriba, discutimos cómo funcionan los motores y las hélices del dron. Aquí encontrará información adicional sobre los motores de cuatro cilindros, con los últimos diseños e innovaciones en tecnología de motores, junto con las mejores marcas.

Motores de dron sin escobillas

Casi todos los drones lanzados en los últimos años y en el futuro están usando motores eléctricos sin escobillas. Los motores sin escobilla son más eficientes, más fiables y más silenciosos que los motores cepillados. El tipo de motor y su diseño es muy importante. Un motor más eficiente significa menos agotamiento de la batería y más tiempo de vuelo.

La estabilidad es muy importante para un cuadricóptero, por lo que los motores superiores producen muy poca vibración en el motor, lo que significa que el controlador de vuelo tiene menos trabajo que hacer para mantener el cuadricóptero estable.

Aquí hay 2 excelentes artículos que explican todo sobre los motores brushless y cómo elegir un motor quadcopter.

- **Motores sin escobillas y cómo funcionan**
- **Cómo elegir los motores para su dron**

Dirección del motor en sentido horario (CW) y antihorario (CCW)

Un cuadricóptero debe tener 4 motores. Para tener un cuadricóptero equilibrado, la rotación de la hélice debe estar hacia el cuerpo principal del cuadricóptero. Para lograrlo, necesita la siguiente configuración del motor del cuadrático:

- Frontal izquierdo – Motor a derechas (CW).
- Frontal derecho – Motor en sentido contrario a las agujas del reloj (CCW).
- Atrás a la izquierda – Motor en sentido contrario a las agujas del reloj (CCW).
- Atrás Derecha – Motor a la derecha (CW).

8.1.4. Diseño de hélices de cuatro patas

Explicación del tamaño de la hélice

Las hélices de drones vienen en una gran variedad de materiales, dimensiones y precios de abajo a arriba de la gama. Generalmente, los puntales más baratos se fabrican con menos precisión y son más propensos a crear vibraciones.

Esto se aplica especialmente al extremo relativamente más grande del espectro de propulsión, con diferencias cada vez menos perceptibles para las embarcaciones más pequeñas. Si usted está volando un quadcopter con la intención de producir fotos aéreas o películas de alta calidad, entonces vale la

pena gastar dinero en hélices de alta calidad. Además, utilice un Prop Balancer de calidad para comprobar las hélices de su cuadricóptero en unos pocos vuelos.

Hay tres medidas simples a tener en cuenta al elegir las hélices si está diseñando o buscando mejorar su dron.

Longitud – La primera es la longitud (Diámetro), usualmente dada en pulgadas. La longitud de una hélice es el diámetro de un disco que la hélice hace cuando está girando.

Cuanto más alto sea el valor nominal de Kv de sus motores, más pequeños tendrán que ser sus puntales. Los puntales más pequeños permiten mayores velocidades, pero menor eficiencia. Una configuración de puntal más grande (con motores de Kv correspondientemente bajos) es más fácil de volar de forma constante. También utiliza menos corriente y levanta más peso.

La mejor manera de calibrar la gama correcta de motores y puntales es consultar las recomendaciones del fabricante si está construyendo un dron.

Paso de hélice – Esta segunda medición también es muy importante. Las dimensiones del puntal se indican en la forma 21 x 7.0 pulgadas (533 x 178 mm) que es el sistema de propulsión DJI E2000. El primer número se refiere a la longitud de la hélice como se indica arriba. El segundo es el paso, definido como la distancia a la que un puntal se movería hacia adelante a través de un sólido en una sola vuelta completa. Por ejemplo, esta hélice con un paso de 7,0 pulgadas se movería hacia adelante 7,0 pulgadas en una revolución.

Taladro – El último se conoce como medición de taladro, que es simplemente el tamaño del agujero en el centro del puntal. Esta debe estar adaptada al eje de los motores elegidos. Hay adaptadores disponibles para reducir el diámetro interior de un puntal. Alternativamente, algunos puntales, como los producidos por T-Motor, utilizan un sistema de montaje directo mediante el cual los tornillos fijan los puntales directamente a la cabeza del motor.

Autocierre – La mayoría de los cuadricópteros hoy en día utilizan puntales de autocierre. A estos se les llama «Self locking», porque en un cuadricóptero, 2 motores giran en el sentido de las agujas del reloj y los otros 2 giran en el sentido contrario. Al utilizar roscas de hélice que son opuestas a la dirección de giro del motor, los puntales se bloquean automáticamente y no se aflojan al volar.

Hélices grandes o pequeñas

Cuanto mayor sea el paso, mayor será el empuje y la potencia necesaria del motor. Típicamente, los multi-rotors usan puntales con pasos en el rango de 3 a 5 pulgadas. Los pasos más bajos son más eficientes. Cuanto más grande sea el puntal (ya sea aumentando el diámetro, o el paso o ambos), más energía se necesita para girarlo. Sin embargo, una hélice más grande o una mayor longitud de paso aumentarán la velocidad de su aeronave, pero también utilizarán más potencia.

En general, un puntal de menor diámetro o paso puede girar más rápido (a mayores revoluciones), ya que el motor no necesita trabajar tan duro para girar, por lo que tira de menos corriente. Tienden a correr más suavemente y se sienten más sensibles a los palos. El cambio más rápido de RPM debido a la menor inercia ayuda a la estabilidad del cuadricóptero.

Hélices en sentido horario (CW) y antihorario (CCW)

El cuadricóptero se suministra con 4 hélices de diferente diseño, una en el sentido de las agujas del reloj y otra en el sentido contrario. Cuando usted está comprando o viendo hélices, leerá acerca de CW que significa hélices en el sentido de las agujas del reloj y CCW que significa hélices en el sentido contrario a las agujas del reloj.

Por lo tanto, las hélices CCW y CW son necesarias para generar empuje, así como para tener un movimiento de guiñada opuesto que se anula mutuamente en vuelo. Para leer más sobre las hélices de cuadricópteros, aquí hay un buen artículo titulado «Cómo elegir las hélices para un Mini Quad».

La imagen de abajo es de la CW y CCW de los puntales del DJI Mavic Pro quadcopter. Ambos están marcados con «8330F» que es el puntal por defecto con el que viene el Mavic Pro. Sin embargo, en la hélice CW está marcada como «8330F CW». Así que es bueno mirar de cerca a sus accesorios para averiguar si son de CW o CCW.

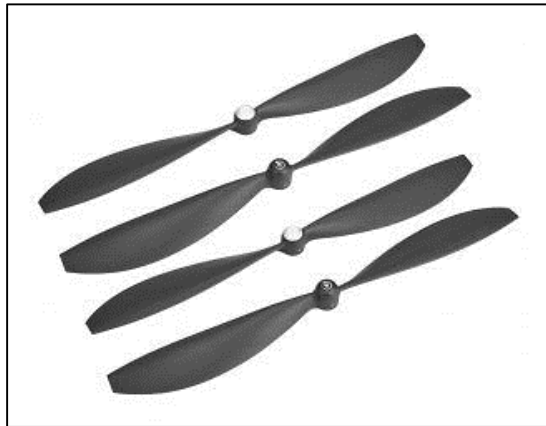


Figura 59 - Tipo de hélices de un dron

Fuente: <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-funciona-un-dron-con-explicacion-de-helices-y-motores/>

Material de la hélice del dron

El material de la hélice del cuadricóptero es generalmente plástico o el extremo superior con fibra de carbono. Sin embargo, también puede comprar hélices de madera que generalmente se ven en el sector de los modelos de aviones.

8.2. Características y Tipos de drones

8.2.1. Drones de Ala Fija

: Son aeronaves no tripuladas que vuelan gracias a la sustentación generada por la velocidad de vuelo y la forma de sus alas, es más eficiente respecto a la aerodinámica, ya que, con la configuración adecuada, puede permanecer bastante tiempo sin necesidad de utilizar el motor gracias al planeo. Utilizado para topografía no tan accidentada.



Figura 60 - Dron de ala fija

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.2.2. Drones de ala rotatoria

Generan la sustentación a través de las fuerzas que se producen en las hélices de sus rotores. Proporciona una gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su simpleza a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje. Según el número rotores que monte el dron existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). Utilizado para topografías accidentadas.



Figura 61 - Dron de alas giratorias

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.2.3. Dron VTOL

(Del inglés de Vertical Take-Off and Landing, «despegue y aterrizaje vertical»), es una fusión entre un dron de ala rotatoria y un dron de ala fija. Su innovador sistema de despegue vertical, le permite despegar y aterrizar en cualquier tipo de terreno y cubrir extensiones de terreno considerables. Utilizado generalmente para topografías notan abruptas



Figura 62 - Dron VTOL

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.3. Tipos de sensores

8.3.1. Cámara RGB

Cámara RGB: Captura imágenes en el espectro visible (RGB), es utilizada para levantamientos topográficos. La resolución está expresada por el número de píxeles, las más usadas son de 12MP, 20MP, 24MP, 36MP y 42MP, entre mayor resolución mayor cobertura de área.



Figura 63 - Cámara RGB

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.3.2. Distancia focal

Generalmente representada en milímetros, es la descripción básica de un lente fotográfico. No es una medida de la distancia real de un lente, sino que es un cálculo de la distancia óptica desde el punto en donde los rayos convergen hasta formar una imagen nítida de un objeto para el sensor digital. La distancia focal indica el ángulo de visión, es decir, cuanto se captura de la escena. Mientras más larga sea la distancia focal, más estrecho será el ángulo de visión y mayor será el aumento. Mientras más corta sea la distancia focal, más ancho será el ángulo de visión y menor será el aumento.

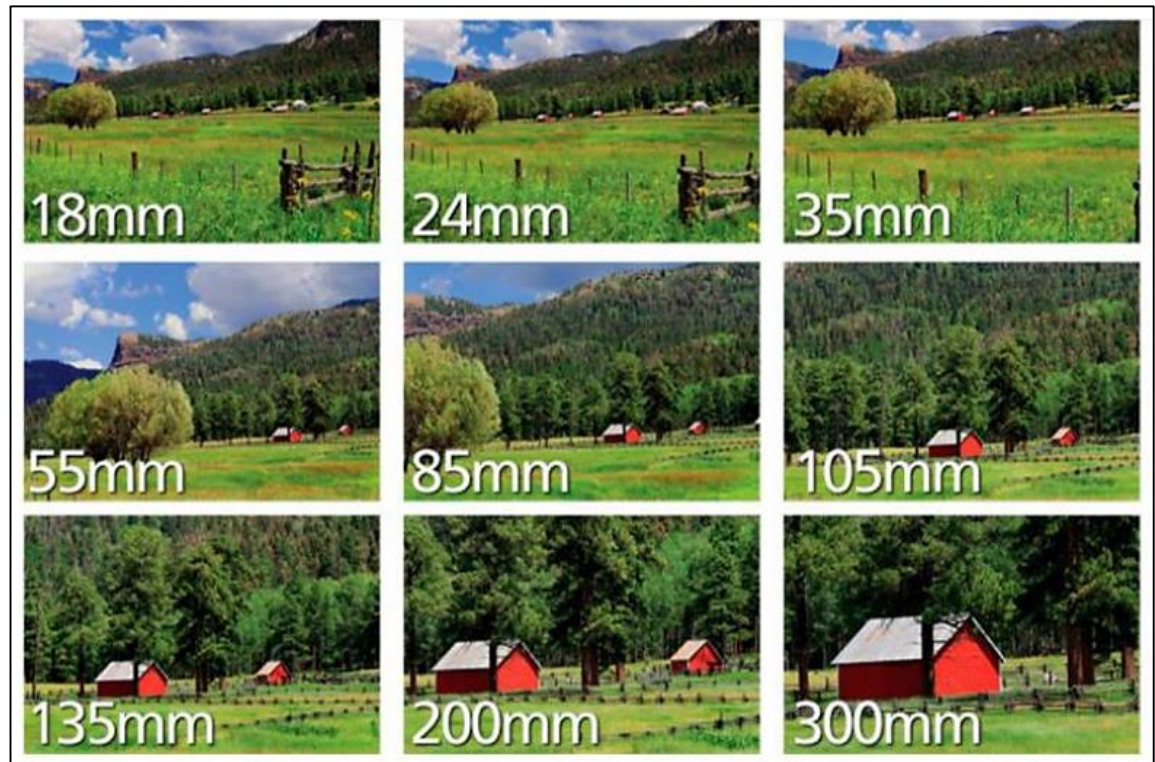


Figura 64 - Diferentes distancias focales

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.3.3. Cámara multispectral

Captura imágenes en diferentes longitudes de onda, como: Azul, Verde, Roja, Red-Edge (Borde rojo) y Nir (Infrarrojo cercano), utilizada para agricultura de precisión que corresponde al estudio de la salud de las plantas, asimismo investigación del medio ambiente.

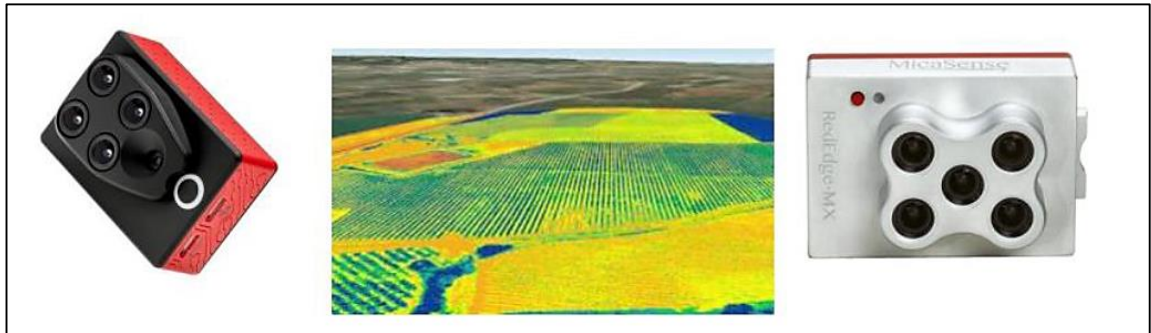


Figura 65 - Cámara multispectral

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.3.4. Cámara térmica

Captura imágenes en radiación calorífica que emite un cuerpo, utilizada para extinción de incendios, agricultura, inspección de tejados, líneas eléctricas, torres de telefonía móvil, seguridad y zonas de difícil acceso.



Figura 66 - Cámara térmica

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

8.3.5. Lidar

La tecnología LIDAR es una técnica de detección remota por láser que mapea un entorno 3D utilizando una georreferenciación directa precisa. La técnica LIDAR está basada en tecnología láser, la cual permite saber la distancia entre el emisor láser y una superficie gracias a un haz de láser pulsado; las ventajas de la técnica LIDAR frente a la fotogrametría con drones son que puede llegar a cualquier área evitando las “zonas de sombra”, llegando incluso a poder “ver” debajo de la vegetación o en zonas con edificios altos debido a los ecos del LIDAR.

Con esta tecnología también es posible detectar los cables del tendido eléctrico, telefónico, etc. gracias la condición metálica de éstos. Además, una característica adicional a destacar de la tecnología LIDAR es la obtención de una precisión altimétrica de gran calidad.



Figura 67 - Imagen capturada con sensor LIDAR

Fuente: Curso de Especialización En Tecnología GPS y Sensores Remotos / Ing. Wilfredo Amaya Zelaya

CAPÍTULO IX: PLAN DE VUELO

9.1. Software y reconocimiento del área

9.1.1. Software a utilizar en el plan de vuelo

Para la planificación de vuelo con Dron es necesario disponer de aplicaciones que tengan la capacidad de controlar el dispositivo, ajustar los sensores, verificar telemetría y otros parámetros que son necesarios a la hora del vuelo, si los softwares no son compatibles con el dispositivo o no tienen la capacidad de realizar los procesamientos en tiempo real, es probable que se tenga algún accidente o se tenga un levantamiento erróneo.

Uno de los softwares para la configuración de los sensores de vuelo y la calibración del Dron es la aplicación **DJI GO 4**, de igual forma se utilizará la aplicación **Pix4Dcapture** para la creación del plan de vuelo, Al utilizar dichas aplicaciones se requiere la aplicación **ctrl+DJI** cuando se usa Pix4Dcapture para drones DJI compatibles.

DJI GO 4



Figura 68 - Logo
DJI GO

Fuente:
<https://dji-go-4.es.aptoide.com/a>
pp

DJI GO 4 es una aplicación diseñada para funcionar con todos los productos DJI. Algunos de los productos que admite la aplicación DJI GO 4 son Phantom 4, Phantom 4 Pro, Inspire 2 y Mavic Pro. La aplicación proporciona transmisión de imágenes casi en tiempo real y ajuste de la configuración de la cámara, así como edición y uso compartido de imágenes aéreas.

Algunos aspectos que se destaca la aplicación son:

- Controles avanzados de la cámara
- Transmisión de imágenes de alta calidad en tiempo real.
- Editor actualizado con interfaz de usuario mejorada
- Más plantillas y pistas de música en Editor
- Conveniente descarga, edición y uso compartido de videos
- Grabación de datos de vuelo casi en tiempo real

Pix4Dcapture



Figura 69 - Logo
Pix4Dcapture

Fuente:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pix4d.pix4dmapper&hl=es&gl=US>

Pix4Dcapture es una herramienta profesional que ayuda al mapeo de drones. Es la herramienta perfecta para capturar automáticamente datos de imágenes (RGB, térmicos) para obtener modelos y mapas 3D óptimos. Ayuda a procesar fácilmente imágenes posteriores al vuelo, en la nube o en aplicaciones de escritorio, produciendo mapas y modelos georreferenciados que se

adaptan a muchas necesidades como lo son los levantamientos topográficos.

Características y beneficios:

- Mapeo de drones completamente automatizado
- Telemetría de drones y alimentación en vivo de la cámara durante la adquisición de la imagen
- Planes de vuelo diferentes para diferentes necesidades
- Misión Polígono para mapeo general
- Grid Mission para mapeo general

- Misión de doble cuadrícula para una mejor reconstrucción del modelo 3D
- Misión circular para la reconstrucción de modelos 3D de puntos de interés
- Misión de vuelo libre para mapeo vertical de objetos con control de vuelo manual
- Parámetros de vuelo para cada misión; solapamiento de imagen lateral, ángulo de cámara, altitud
- velocidad de vuelo: se puede ajustar según los requisitos del área.
- Guardar o duplicar misiones para volar la misma área de interés varias veces
- Combina varias misiones en un solo proyecto en el administrador de proyectos
- Planificación precisa de la misión al importar archivos KML / KMZ
- Almacena el mapa base con su plan de vuelo utilizando mapas sin conexión
- Cambiar proveedor de mapa base de calle / satélite
- Flujo de trabajo continuo con el software de procesamiento de Pix4D
- Transferencia automatizada de imágenes de dron e a dispositivo
- Cargar imágenes directamente desde el dispositivo al software Pix4D en la nube para su procesamiento



Figura 70 -
Logo Ctrl + DJI

Fuente:
[https://ctrl-
dji.es.aptoide.com/
app](https://ctrl-dji.es.aptoide.com/app)

Ctrl+DJI

Para realizar la compatibilidad de Pix4Dcapture con drones DJI es necesario obtener el controlador Ctrl+DJI; Permite a Pix4D capturar el monitoreo en tiempo real de los drones, como: Batería, posición, orientación y velocidad en tres dimensiones.

9.1.2. Reconocimiento de área

➤ Acceso al área

Para acceder a la cárcava en estudio se llega al final de la Avenida el Guaje, lo cual se continua en un camino a pie, hasta llegar al área a levantar. La cárcava se encuentra en intervención por lo que hay un acceso para vehículos pesados, en el camino se encuentra material suelto proveniente del paso vehicular y de la escorrentía de agua que se tiene en la zona.

Estos son los accesos principales de la cárcava El Matazano, ya que la demás área se encuentra limitada por la misma cárcava, se pueden visualizar en la Figura 71:



Figura 71 - Acceso al área en estudio

Fuente: Elaboración Propia

➤ **Área a levantar**

El Área a levantar está delimitada por la misma cárcava lo cual se trata de abordar la mayor superficie que sea posible, como se ve en la Figura 72 y Figura 73, teniendo en cuenta los obstáculos como árboles, los taludes de la cárcava, postes de energía, nivel de carga del dispositivo y teniendo en consideración la elevación de vuelo por la cercanía del Aeropuerto de Ilopango.



Figura 72 - Inspección del área a levantar

Fuente: Elaboración Propia



Figura 73 - Área en planta a levantar

Fuente: Elaboración Propia

➤ **Identificación de obstáculos físicos en el sitio**

Ladera de la cárcava: El lugar provisto para el despegue del dron, se encuentra en la parte alta de la cárcava por lo que la altura de las laderas no afecta en el recorrido del vuelo.

Árboles en la zona: la altura de la copa de los árboles está a no más de 20 metros del nivel del área de despegue, por lo que se tendrá que considerar al menos una altura de vuelo de 35 metros.

Postes eléctricos o telefónicos: El área está libre de postes eléctricos o telefónicos por lo que no hay alguna afectación en el vuelo.

➤ **Ubicación de mojones**

La zona de estudio no cuenta con algún mojón geodésico o mojón local para facilitar la obtención de coordenadas de los puntos de control del levantamiento.

➤ **Visualización de la ventana o mascara de elevación del lugar**

En la zona se encuentra una buena mascara de elevación por lo que el Angulo esta entre los 20° , lo cual asegura buena precisión en el levantamiento, como se puede observar en la Figura 74.

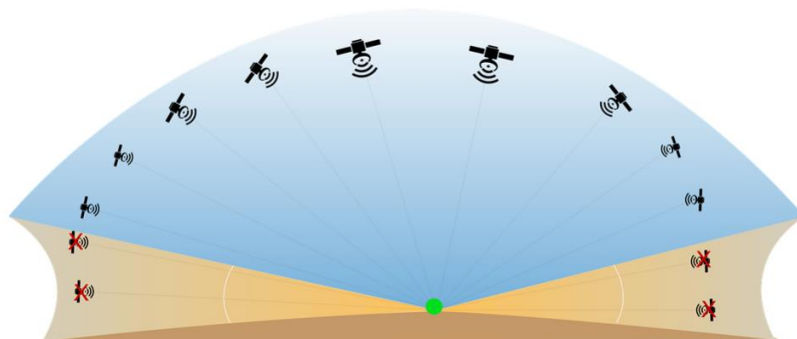


Figura 74 - Esquema de ventana de elevación

Fuente: Elaboración Propia

9.2. Calibración de sensores del DRON

9.2.1. Calibración del IMU y brújula integrada en el dron

Los primeros pasos a verificar antes de un vuelo corresponden a la calibración del IMU y de la brújula integrada en el Dron; La Unidad de Medición Inercial o IMU por sus siglas en inglés (Inertial Measurement Unit); es un dispositivo electrónico que mide e informa de la aceleración, la orientación, las velocidades angulares y otras fuerzas gravitatorias. Se compone de 3 acelerómetros, 3 giroscopios y, en función de las necesidades de cabo, 3 magnetómetros. Uno por eje para cada uno de los tres ejes del vehículo: balanceo, cabeceo y guiñada.

Por lo tanto, el IMU nos permite conocer de manera precisa y en tiempo real el vector de desplazamiento, su velocidad y posición, cualquier error en la calibración del IMU ocasionara errores en el vuelo y en el levantamiento.

Para el presente trabajo la calibración del IMU se realizó con el dron DJI Phantom 4 Pro, conjuntamente con un dispositivo Ipad, lo cual debemos de tener instalado el software controlador del Dron, en este caso la aplicación DJI GO 4.

➤ Pasos a seguir para la calibración del IMU y brújula del dron

- Realizar correctamente el armado del Dron, ubicando correctamente sus hélices y el despliegue del control remoto, conectando el dispositivo Android o IOS a este.
- Encender el Dron y el control remoto, encendiendo el control remoto primero y después el encendido del dron.

- Al iniciar el sistema del dispositivo, se abre la aplicación DJI GO 4
- Automáticamente se habrá reconocido el modelo de Dron



Figura 75 - Reconocimiento de dron en aplicación

Fuente: Elaboración Propia

Observaremos en la parte superior de nuestro dispositivo el modelo que ha reconocido la aplicación, y en la parte inferior el estado de este dispositivo por lo que tendremos que leer “Conectado”, al confirmar este estado presionaremos el botón llamado “VUELA”

Luego Visualizaremos en la aplicación la interfaz de vuelo, la cual nos permitirá ver todos los parámetros del Dron, como, la telemetría, niveles de batería, mapa del sitio y otras opciones que nos facilitaran el vuelo.

Recordar que el dron debe de permanecer en una zona de despegue estable y plana para prevenir algún accidente.

- Interfaz de vuelo en la aplicación DJI, como se muestra en la Figura 76.



Figura 76 - Interfaz de DJI GO

Fuente: Elaboración Propia

En la interfaz encontraremos:

- ✓ Estado de la aeronave
- ✓ Botón de despegue
- ✓ Botón de aterrizaje o home
- ✓ Modos de vuelo
- ✓ Telemetría de Vuelo
- ✓ Vista satelital y ubicación del Dron
- ✓ Barra de operación de cámara
- ✓ Configuración general del Dron
- ✓ Nivel de batería
- ✓ Señal de video
- ✓ Señal de control
- ✓ Numero de satélites

- En la esquina superior derecha observaremos un botón de la configuración del Dron, presionaremos este botón “configuración general”, y en el menú que se despliega debe seleccionarse el primer icono con forma de dron y desplazarse hasta la Configuración avanzada. Posterior dentro de ella deslizar hacia abajo hasta encontrar la opción “Sensores”, se pueden observar visualmente los pasos en la siguiente Figura 77:

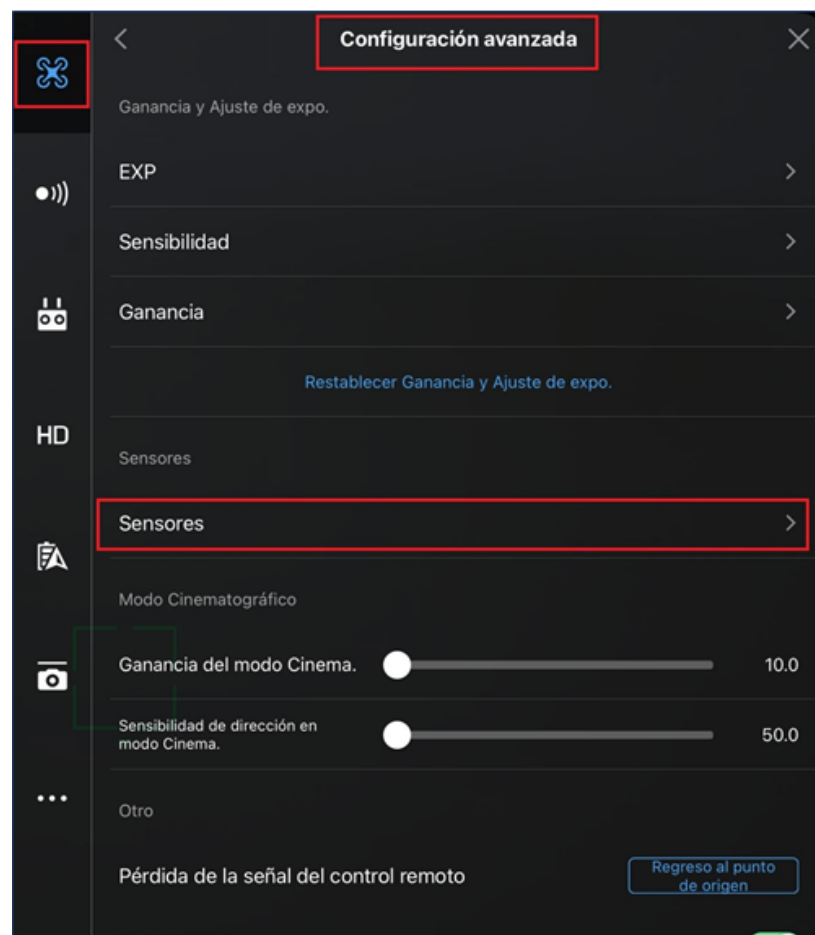


Figura 77 - Configuración de sensores

Fuente: Elaboración propia

- Un nuevo menú será desplegado, acá podemos elegir el sensor que debemos calibrar, ya sea la IMU o la brújula del Dron y seleccionaremos la opción “calibrar la IMU” ya que por este sensor se iniciará.

CALIBRACION DE IMU

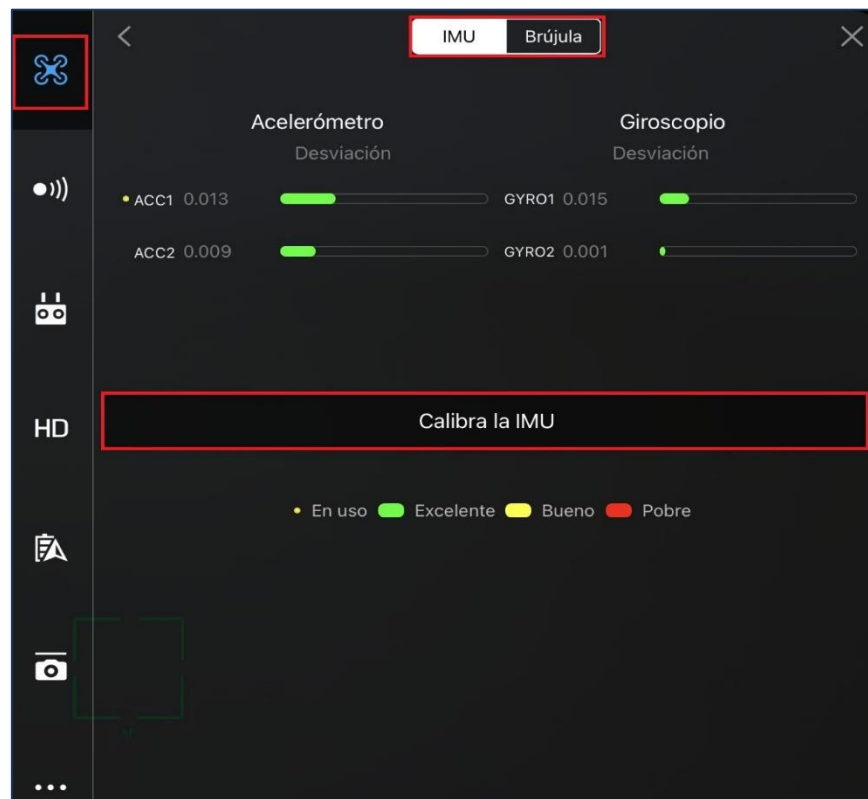


Figura 78 - Calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

Al pulsar el botón “Calibrar la IMU”, ver Figura 78, se deben de seguir las instrucciones que proporciona la aplicación, esta advertirá que se deben extraer las hélices del Dron, de no arrancar motores, ni mover la aeronave, al verificar que todo este correctamente se debe pulsar el botón “Inicio”, ver Figura 79.



Figura 79 - Inicio de calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

- Desde este punto se deben de seguir las indicaciones de la aplicación, como se muestran en las imágenes:

Paso 1: Se coloca el Dron tal cual se indica en las figuras de la aplicación



Figura 80 - Paso 1 de calibración de IMU

Fuente: Elaboración Propia

Paso 2 – Ladear el Dron al lado izquierdo, ver Figura 81.



Figura 81 - Paso 2 de calibración de IMU

Fuente: Elaboración Propia

Paso 3 – Ladear el Dron al lado Derecho, ver Figura 82.



Figura 82 - Paso 3 de calibración de IMU

Fuente: Elaboración Propia

Paso 4 – Inclinar el Dron hacia adelante, ver Figura 83.



Figura 83 - Paso 4 de calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

Paso 5 – Inclinar el Dron hacia atrás, tal y como se muestra en la Figura 84.



Figura 84 - Paso 5 de calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

Paso 6 – Colocar el Dron con el tren de aterrizaje hacia arriba, Figura 85.



Figura 85 - Paso 6 de calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

- Al finalizar correctamente los pasos descritos por la aplicación, esta mostrara un mensaje de éxito en la calibración, ver Figura 86.



Figura 86 - Finalización de calibración del IMU

Fuente: Elaboración Propia

Se presenta una esquematización rápida de la calibración de la IMU:

Paso 1



Figura 87 - IMU, Colocación en una superficie plana

Paso 2



Figura 88 - IMU, Inclinación hacia la izquierda

Paso 3



Figura 89 - IMU, Inclinación hacia la derecha

Paso 4



Figura 90 - IMU, Inclinación hacia adelante

Paso 5



Figura 91 - IMU, Inclinación hacia atrás

Paso 6



Figura 92 - IMU, Tren de aterrizaje hacia arriba

Fuente de figuras: (Carbajal, Najera, & Rodriguez, 2022)

CALIBRACION DE BRUJULA

La brújula de un dron es el sistema que le “dice” al dron donde se encuentra con respecto al campo magnético de la tierra. O lo que es lo mismo, orienta al dron en sus movimientos con respecto a su posición. De este modo, se sabe hacia donde se desplaza el mismo.

- En configuraciones avanzadas, en la opción de sensores, presionamos donde dice “Brújula”, luego de esto presionamos el botón “Calibrar Brújula”, ver Figura 93.

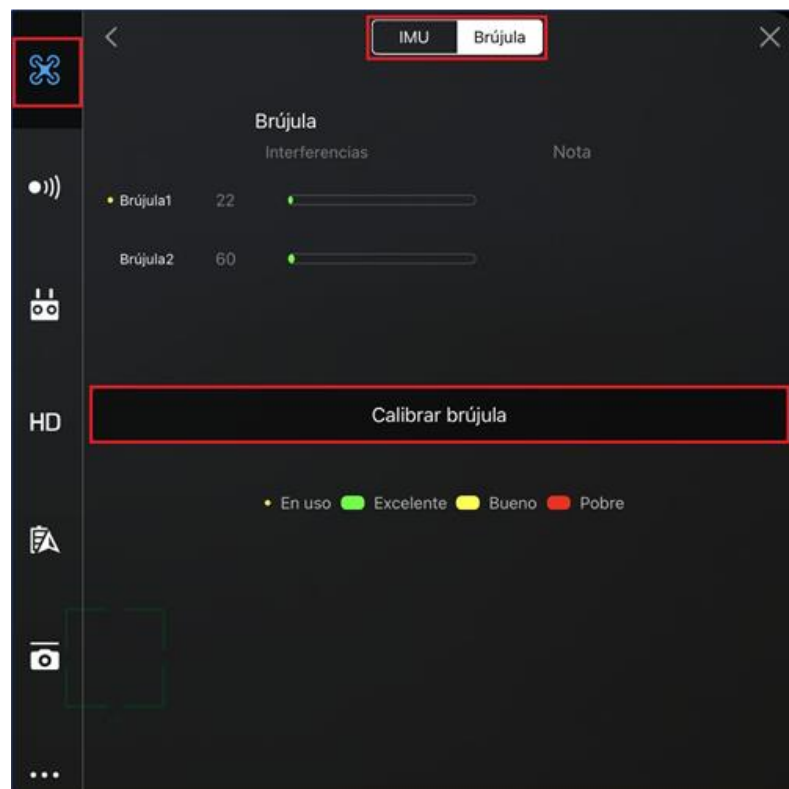


Figura 93 - Calibración de brújula

Fuente: Elaboración Propia

- Se deben de seguir los pasos que muestra la aplicación

Paso 1 – Se debe rotar el dron 360° horizontalmente, sobre su eje Z



Figura 94 - Paso 1 de calibración de brújula

Fuente: Elaboración Propia

Paso 2 – Se debe inclinar el dron y volver a rotar el dron 360° Verticalmente, sobre su eje Y.

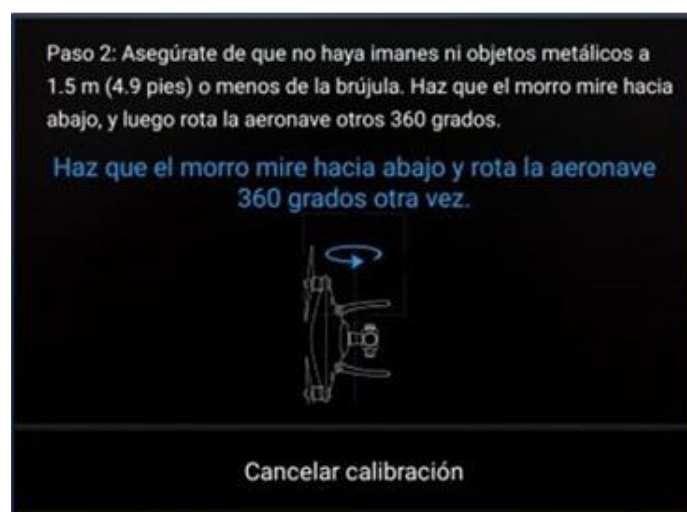


Figura 95 - Paso 2 de calibración de brújula

Fuente: Elaboración Propia

- Al finalizar la calibración de la brújula se mostrará un mensaje “Se ha terminado de calibrar la brújula”. Para finalizar, presionar OK

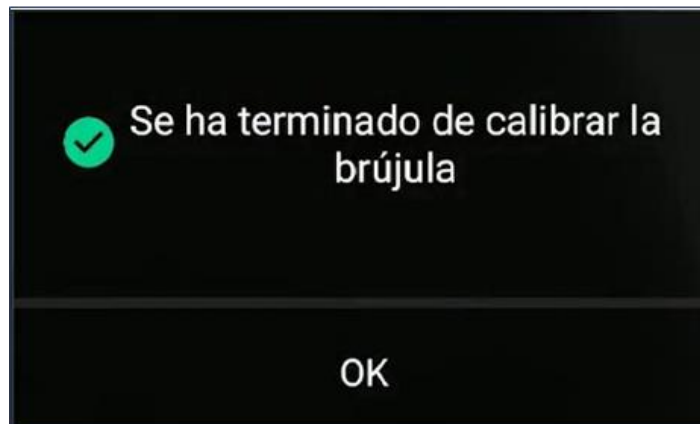


Figura 96 - Finalización de calibración de brújula

Fuente: Elaboración Propia

9.2.2. Calibración del GIMBAL



Figura 97 – Gimbal

Fuente: (DRONE, s.f.)

Un GIMBAL es un estabilizador externo para hacer grabaciones. Este accesorio permite corregir las vibraciones y obtener movimientos suaves y fluidos cuando movemos la cámara durante una grabación.

- En la configuración general en el menú que se abre seleccionar el icono con forma de cámara, en la Configuración del estabilizador, seleccionar “Calibración automática del estabilizador”, ver Figura 98.

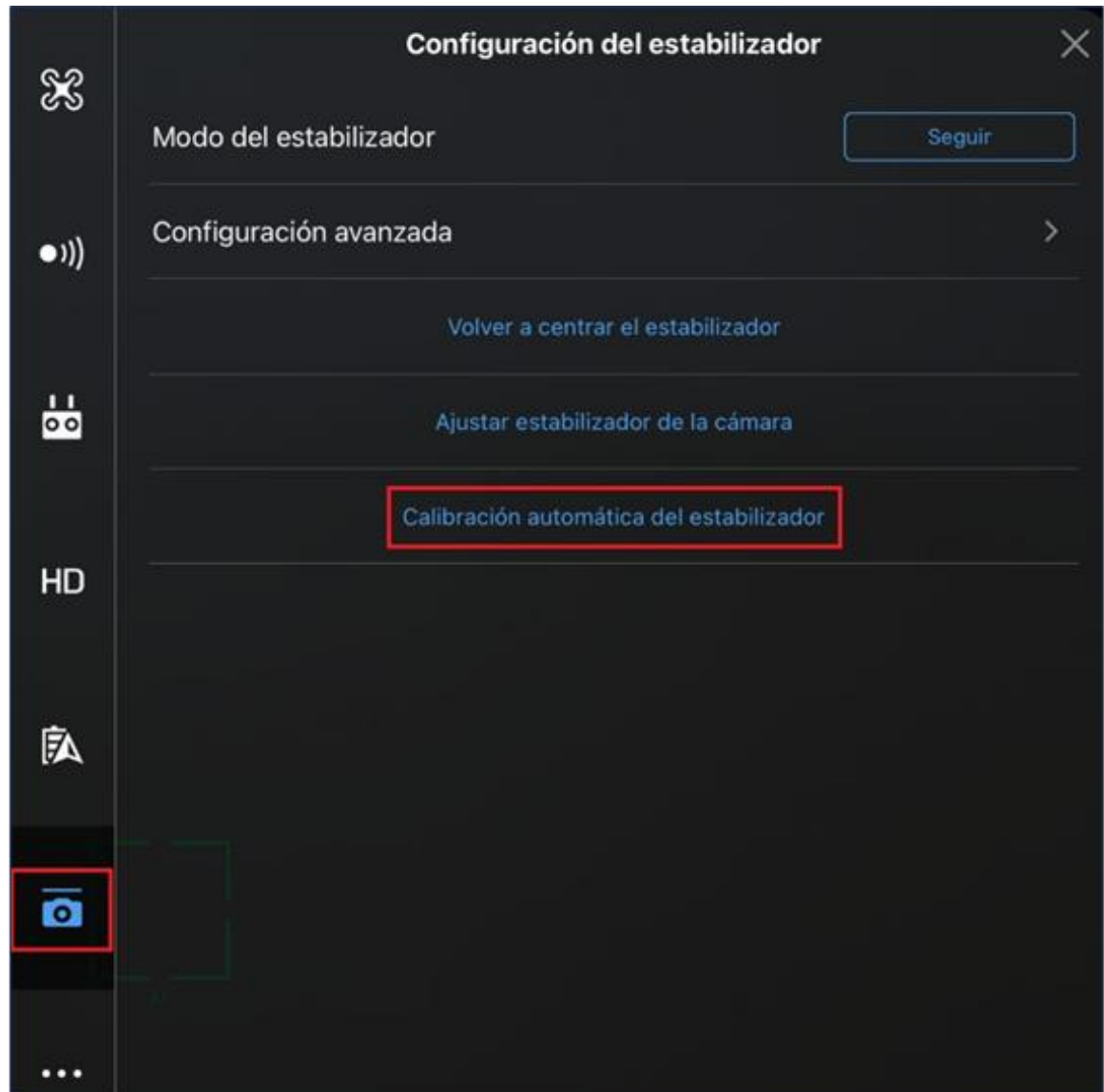


Figura 98 - Calibración del estabilizador

Fuente: Elaboración propia

- Al haber iniciado la calibración, se desplegará un mensaje, donde nos indica que debemos de colocar el Dron en un área nivelada y que no exista nada que obstruya los movimientos del estabilizador



Figura 99 - Notificación de calibración de Gimbal

Fuente: Elaboración propia

- Se iniciará el progreso de calibración automática mostrándose el porcentaje de avance del proceso de calibración, se debe de esperar hasta que este proceso culmine, al finalizar mostrará un mensaje de “Estabilizador Calibrado”

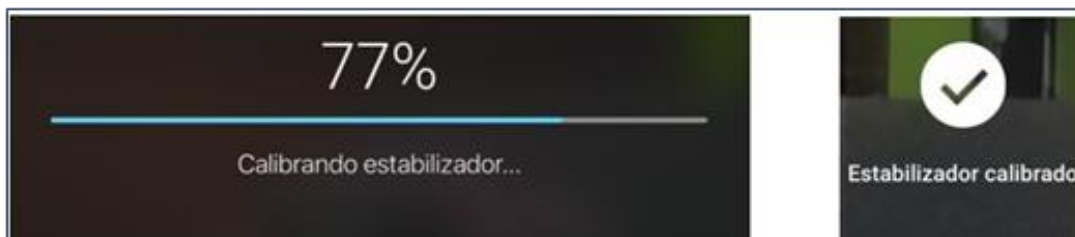


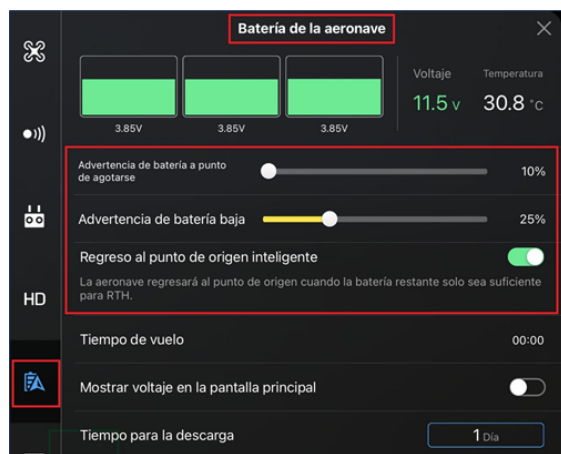
Figura 100 - Proceso de calibración de Gimbal

Fuente: Elaboración propia

9.2.3. Regreso al punto de origen inteligente

El regreso al punto de origen inteligente o muchas veces llamado “Regreso a casa”, RETURN TO HOME, por sus siglas en ingles RTH, este es un parámetro que permite que descienda el Dron con cierto margen de agotamiento de batería, para que no exista la posibilidad que la aeronave se desplome, este se activa cuando la batería de vuelo inteligente alcanza el nivel de batería preestablecido, donde el Dron vuelve automáticamente a las coordenadas iniciales donde realizo el ascenso.

- En la configuración general de la interfaz de vuelo de la aplicación DJI GO, seleccionamos el icono con la forma de batería “Batería de la aeronave”, acá se podrán modificar los porcentajes de advertencia y nivel de batería agotada para activar el RTH, ver Figura 101.



La advertencia de batería baja notifica al operador que la batería se está agotando; El nivel de agotamiento de batería es el porcentaje con el cual el dron descenderá a su punto de origen o RTH.

Figura 101 - Configuración de la batería de la aeronave

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje recomendable para que el operador sea advertido de una batería baja es del 30%, en este punto es de buena práctica hacer volver al Dron a su lugar de origen; Un nivel de agotamiento de batería recomendable es del 20%, en este punto el Dron automáticamente vuelve a su lugar de origen, dándole tiempo para poder regresar desde la distancia que se encuentra.

El RTH puede ser activado por el usuario, cuando se da clic en el botón RTH en el control remoto de la aeronave o dentro de la aplicación. Una vez pulsado este botón, el dron comenzará su recorrido de regreso al punto donde inició su vuelo. Esto puede detenerse en cualquier momento al presionar el botón pausa de vuelo en el mando a distancia o presionando el icono detener en la aplicación.

9.2.4. Sistema anticolidión

Los sensores anticolidión o sistema de detección visual, exploran continuamente el entorno cercano y detecta obstáculos en tiempo real. Cuando se usa con un controlador de vuelo DJI, puede indicarle a su sistema de vuelo que evite colisiones automáticamente, incluso a altas velocidades.

- En la configuración general de la interfaz de vuelo de la aplicación DJI GO, seleccionamos el icono con la forma de sensor de aproximación “Configuración de navegación visual” en esta ventana se podrán habilitar o deshabilitar los sensores anticolidión del Dron, para el levantamiento fotogramétrico se tendrán que habilitar todos los sensores anticolidión.

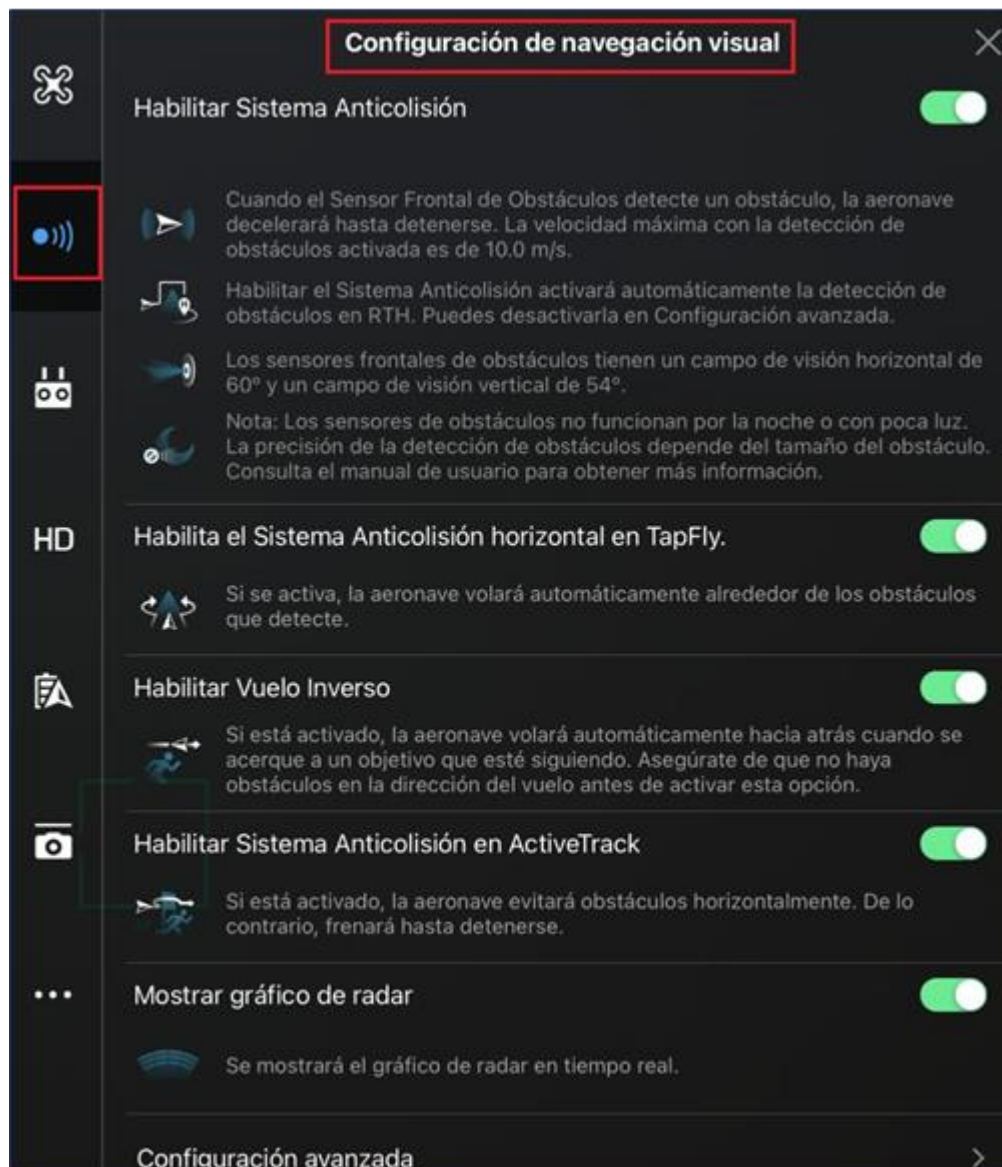


Figura 102 - Configuración del sistema de anticolisión

Fuente: Elaboración propia

Al habilitar estos sensores se previene que el Dron colisione con cualquier objeto como paredes, arboles, postes eléctricos, maquinaria, entre otros, por lo que de esta manera se cuida el equipo.

9.3. Planificación del vuelo

La correcta planificación del vuelo del dron es el proceso que tiene mayor influencia en la calidad de los resultados que generan los procesadores de imágenes. Es importante la calidad, la resolución, el número de imágenes, la altura a la que se toman, pues los aspectos más importantes son:

- Suficiente solape entre imágenes
- Adecuada localización y orientación de las fotos

Pix4D Capture es una aplicación compatible con IOS y Android para planificar el vuelo y la toma de imágenes.

La orientación de las fotografías y el solape entre ellas se consigue según el tipo de vuelo que realicemos, en este trabajo realizaremos una misión de doble cuadrícula para reconstruir del modelo 3D.

PASOS PARA LA CREACION DE UN PLAN DE VUELO

- Seleccione su dron, como se muestra en la Figura 103.

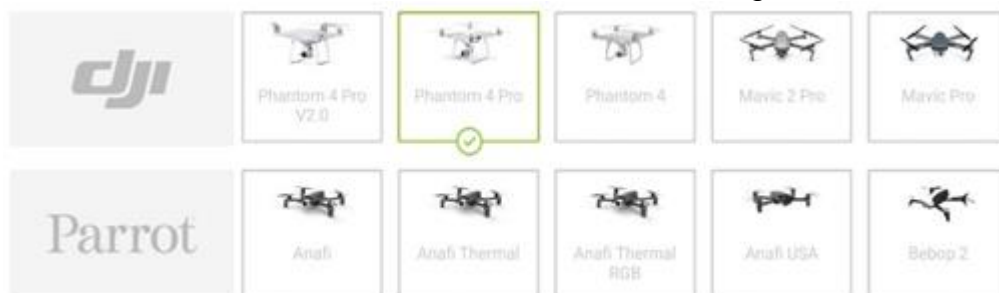


Figura 103 - Selección de Dron

Fuente: Elaboración Propia

Seleccione su dron entre la amplia gama de modelos compatibles, incluidas las principales marcas como Parrot y DJI.

- Seleccionamos la misión de doble cuadrícula para la obtención de un modelo en 3D, ver Figura 104.

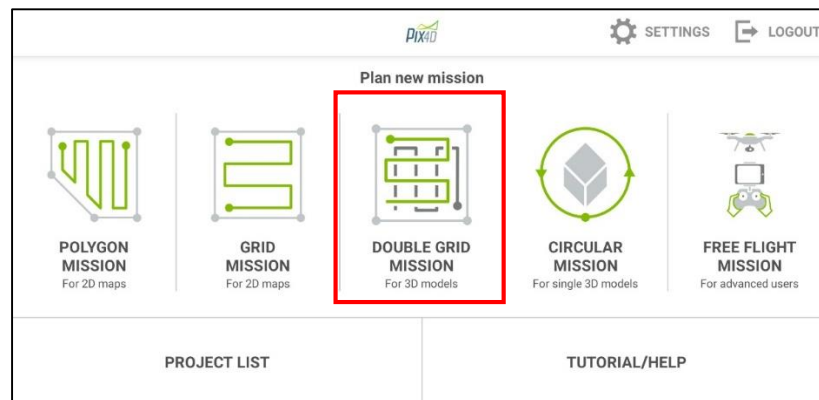


Figura 104 - Seleccionar tipo de misión

Fuente: Elaboración propia

- Ajuste su plan de vuelo y parámetros de drones

En la zona del levantamiento fotogramétrico, se debe preparar el vuelo en función de las condiciones que se encuentren en el sitio, ver Figura 105.



Figura 105 - Ajustes de plan de vuelo

Fuente: Elaboración propia

- Inicio de Vuelo

Al presionar inicio START, las imágenes se toman automáticamente por el UAV de acuerdo con el plan de adquisición de imágenes seleccionadas sin intervención del usuario y almacenadas en la memoria externa.

- Cargue para su procesamiento

Al finalizar el vuelo Pix4Dcapture descarga automáticamente las ortofotos con los cuales se obtendrán resultados que puede medir, analizar y compartir con facilidad.

9.4. Ediciones del plan de vuelo

- Ajuste su plan de vuelo y parámetros de drones



Figura 106 - Edición del área de vuelo

Fuente: Elaboración propia

Defina el tamaño de una misión para mapear áreas de todos los

tamaños, el área a mapear se puede definir moviendo los vértices del polígono hasta llevarla a la zona a levantar que es deseada, de igual forma esta área se puede rotar y desplazar. Los parámetros de mapeo como la superposición de imágenes, el ángulo de la cámara y la altitud de vuelo se pueden definir según sean las necesidades del proyecto.



Figura 107 - Rotación del área

Fuente: Elaboración propia



Figura 108 - Desplazamiento del área

Fuente: Elaboración propia



Figura 109 - Final de vuelo en el levantamiento

Fuente: Elaboración propia

El área a levantar se puede girar para que se adapte mejor al terreno, se sostiene en la flecha y se rota, como se muestra en la Figura 107.

El área también se puede desplazar en cualquier sentido para una mejor ubicación, como se muestra en la Figura 108.

El final del levantamiento fotogramétrico se ubica lo más cercano al lugar de origen, ya que ayuda al mejor rendimiento de la batería, se puede observar en la Figura 109.



Figura 110 - Altura de vuelo en misión

Fuente: Elaboración propia

La altura de vuelo se establece mediante los obstáculos y el número de fotografías a obtener; Si el número de ortofotos aumenta, aumenta el tiempo de vuelo, de igual forma para obtener una alta resolución en las ortofotos se tiene que considerar el GSD (distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo).

Cuanto mayor es el valor del GSD de la imagen, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles serán menos visibles). Con estos parámetros la aplicación calculará un estimado del tiempo requerido para completar el recorrido de la rejilla. Se deberá cuidar en todo caso que el tiempo no exceda el límite permitido, es decir, que durante el tiempo que se ejecuta la misión el nivel la batería sea mayor al 20%, estos parámetros se pueden observar en la Figura 110.

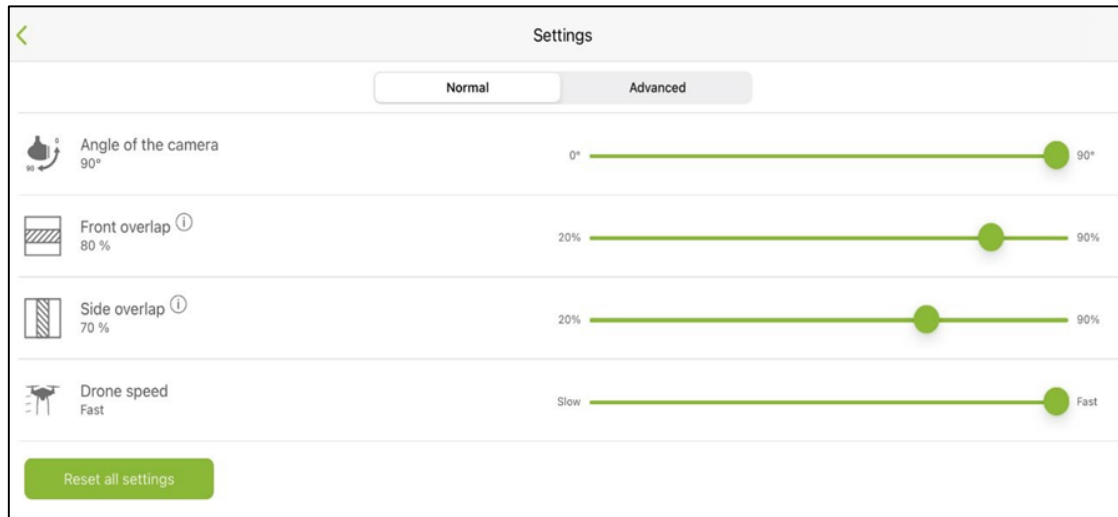


Figura 111 - Configuraciones de vuelo

Fuente: Elaboración propia

Ángulo de la cámara: Esta se configura de 0° a 90°, donde 90° permitirá la captura de fotografías perpendiculares y de 0° a 89° grados, fotografías oblicuas, ver Figura 111.

Traslape: Porcentaje de superposición longitudinal y transversal de las fotografías desde 20% a 90%, ver Figura 111.

Velocidad: Esta se podrá configurar en el rango de Lento a Rápido en 5 niveles donde rápido representa la velocidad máxima de la aeronave, ver Figura 111.

CAPÍTULO X: LEVANTAMIENTO EN CAMPO

10.1. Descripción del lugar de levantamiento

La cárcava en estudio se sitúa en el municipio de Soyapango, Cantón El Matazano, con coordenadas geográficas: 13°40'45.81" Norte, 89°08'19.15" Oeste, con una elevación media de 639 metros, su principal formación se debe a suelos muy erosivos que a medida han transcurrido los años esta cárcava ha aumentado su dimensión, con un ancho promedio de 150 metros, como se muestra en la Figura 112:



Figura 112 - Lugar de levantamiento

Fuente: Elaboración propia

La cárcava se encuentra al este del volcán de San Salvador con una distancia entre ellos de 17.6 Km, y al oeste del lago de Ilopango a 5.2 Km, ver Figura 113.

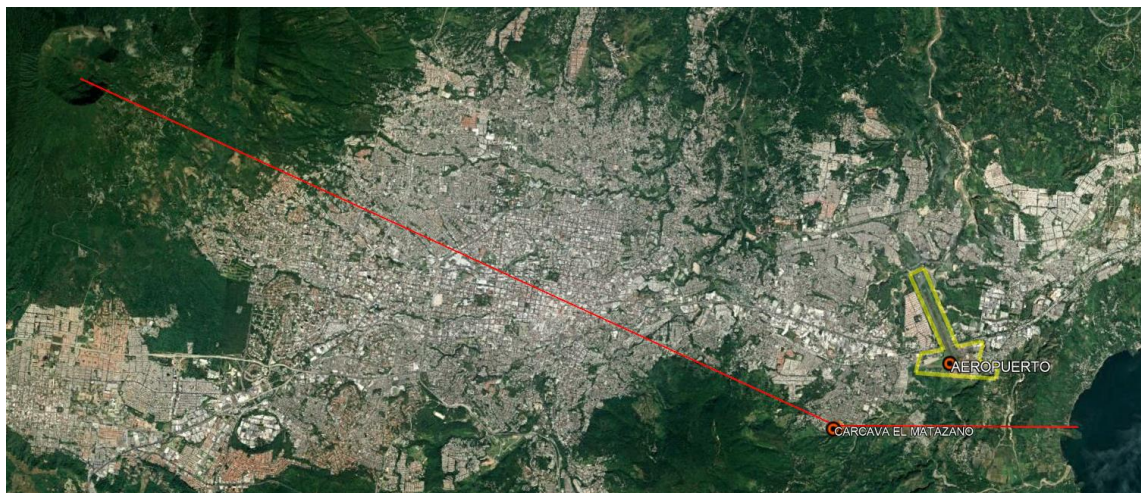


Figura 113 - Referencia de la cárcava

Fuente: Elaboración propia

Se encuentra a 2 Km del perímetro del Aeropuerto de Ilopango, por lo cual se deben de tomar consideraciones a la hora de planificar el vuelo, ver Figura 114.



Figura 114 - Distancia hacia el aeropuerto de Ilopango

Fuente: Elaboración propia

10.2. Descripción del plan de vuelo

La misión de vuelo realizada en el presente trabajo, se describe por parámetros esenciales, como lo es el tiempo de vuelo, altura de vuelo, GSD, como otros factores, que son limitados por el área en estudio y la topografía del sitio.

Los siguientes parámetros fueron utilizados en el levantamiento fotogramétrico realizado en la cárcava El Matazano:

Área en estudio: La zona a estudiar la limitan las laderas de la cárcava por lo cual la misión de vuelo cuenta con 157 metros de largo y 110 metros de ancho, teniendo un área de 17,270 m², abarcando la cárcava en su totalidad; el área de estudio la muestra la aplicación en la parte baja de la pantalla y de igual forma se puede visualizar de forma gráfica en la pantalla, como lo muestra la Figura 115.



Figura 115 - Área a levantar

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo de vuelo: Este factor es directamente proporcional con las dimensiones del área en estudio, al aumentar el área de estudio aumenta el tiempo de vuelo; El tiempo también depende de la altura de vuelo, pero este es inversamente proporcional, si nosotros aumentamos la altura de vuelo, disminuimos el tiempo pero hay tener cuidado al modificar estos factores, ya que entre mayor altitud el GSD se ve modificado, ya que si se quiere tener una buena resolución el GSD tiene que ser el menor que se pueda en el área de estudio.

El tiempo de vuelo del levantamiento es de 13 minutos con 0 segundos y este se podrá observar en la parte baja de la pantalla, como se muestra en la siguiente Figura 116.



Figura 116 - Tiempo de vuelo

Fuente: Elaboración propia

Se debe tomar en cuenta el nivel de carga de la batería del Dron, ya que puede terminarse la carga mientras el dron aun este en el vuelo, por lo que se deberá activar el RTH o retorno al punto de origen inteligente.

Elevación de vuelo en misión: La elevación está limitada por la altitud de los obstáculos en la zona y el área a cubrir; en el área a levantar se observan arboles a no más de 20 metros de elevación, laderas y postes de energía o telefonía no afectan en el vuelo o cualquier otro obstáculo que se pudiera presentar, por lo que la elevación de vuelo se definió de 40 metros desde el sitio de despegue.

La elevación se muestra en la pantalla del dispositivo al lado izquierdo por medio de una scroll bar que se puede deslizar para establecer la elevación, como se muestra en la siguiente Figura 117.



Figura 117 - Elevación de vuelo

Fuente: Elaboración propia

Velocidad, Angulo de cámara y traslapes: La misión de vuelo se definió con una velocidad de vuelo del Dron menor a 8 m/s, el ángulo de inclinación de la cámara de 70°, y los traslapes de 80%, como se observan en la Figura 118.

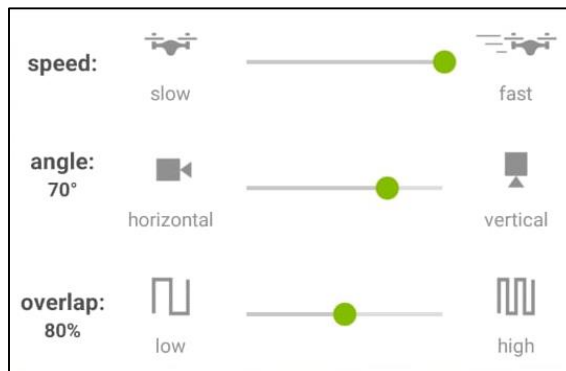


Figura 118 - Traslape, Velocidad y ángulo de cámara en Vuelo

Fuente: Elaboración propia

GSD: este parámetro depende del área en estudio, traslapes y elevación del Dron, por lo que al cambiar individualmente uno de los factores anteriores cambia el valor del GSD, por lo que se deberá tener el mayor cuidado que el GSD sea el menor que sea posible, recordando que entre menor sea este valor mayor será la resolución del modelo en 3D que se querrá obtener, el valor del GSD obtenido en campo fue de 1.16 cm por pixel, como se muestra en la Figura 119.



Figura 119 - GSD en campo

Fuente: Elaboración propia

10.3. Levantamiento fotogramétrico con dron

10.3.1. Verificar el correcto armado del Dron y su controlador

ARMADO DE DRON PHANTOM 4 PRO

- Preparación del Dron: A la hora de sacar el dron de su estuche, se debe de verificar que todos sus accesorios estén completos, que las baterías estén cargadas y recordar de quitar el protector del Gimbal.
- Instalación de hélices: Existen dos tipos de hélices, se diferencian por un círculo de diferente color, unos negros (Ver Figura 120) y otros plateados (Ver Figura 121), el dron tiene marcas donde indica el color de la hélice que se le instalara.

En los puntos negros se coloca la hélice con marca negra.

En los puntos plateada se coloca la hélice con marca plateada.



Figura 120 - Hélice de dron con marca negra

Fuente: (DRON)



Figura 121 - Hélice de dron con marca plateada

Fuente: (DRON)

Las hélices se colocan haciéndoles presión hacia abajo y girándolas anti-horariamente. Se debe de asegurar que las hélices estén colocadas adecuadamente.

- Colocación de batería: la batería se introduce en el compartimiento que trae el dron exclusivamente para las baterías, y se presiona hasta que se escucha un clic, ver Figura 122.



Figura 122 - Instalación de batería del dron

Fuente: (DRON)

- Despliegue de control remoto: Se le deberán desplegar las antenas para que la telemetría no falle, se le coloca el dispositivo a usar, ya sea Android o IOS, en la Figura 123, se observa la forma incorrecta de colocar las antenas del control remoto, y en la Figura 124 se observa la forma que es correcta.

□

Forma incorrecta de colocar las antenas, nunca cruzadas



Figura 123 - Forma incorrecta de colocación de antenas

Fuente: (DRON)

La forma correcta de colocar las antenas es paralela y en dirección al dron.



Figura 124 - Forma correcta de colocación de antenas

Fuente: (DRON)

ENCENDIDO DE DRON Y CONTROL REMOTO

- Tanto el dron como el control remoto se encienden de la misma manera, se presiona una vez y se vuelve a presionar sostenidamente hasta que enciendan las luces de carga de batería, ver Figura 125.



Figura 125 - Encendido de Dron

Fuente: (DRON)

Presionar el botón de encendido dos veces, la primera una pulsación rápida y la segunda una pulsación continua hasta que enciendan las luces, las siguientes figuras muestran la pulsación a realizar para el encendido del dron.



10.3.2. Lugar de despegue

El punto donde se despegará el dron tiene que cumplir los requisitos:

- Tiene que ser un lugar a cielo abierto, sin ningún obstáculo sobre él, como árboles, cables de energía o telefonía, o algún objeto de impida en ascenso del Dron.
- El lugar debe contar con una máscara de elevación aceptable.
- No debe haber en el lugar interferencia electromagnética
- Debe ser un lugar plano y estable, este lugar no tiene que ser de hierro, ya que este podría interferir en los sensores.
- Se debe situar en un lugar donde se tenga visualización en todo momento con el Dron

10.3.3. Verificación de calibración de sensores

La calibración de los sensores debe de revisarse antes del vuelo y se tienen que realizar los procedimientos adecuados, tal cual y como se describen en el numeral 9.2. *Calibración de los sensores del Dron* del presente trabajo.

10.3.4. Verificación del plan de vuelo

La creación del plan de vuelo se describe en el numeral 9.3. *planificación del plan de vuelo*, del presente trabajo, y los parámetros a utilizar están detallados en el numeral 10.2. *Descripción del plan de vuelo*, es necesario verificar el plan de vuelo antes de iniciar la misión.

10.3.5. Inicio de misión

Cuando ya se tiene el plan de vuelo y el Dron preparado, se coloca en el sitio de despegue y se presiona el botón “START”, al Dron se le debe, de dar un monitoreo constante e ir revisando las fotografías tomadas, lo cual se pueden visualizar en tiempo real en el dispositivo, ver Figura 126.

El Dron debe de llevar el recorrido preestablecido en el plan de vuelo tomando fotografías a lo largo de este.

Al finalizar el plan de vuelo el dron activara la función de regreso al punto de origen, al aterrizar la aeronave, esta empezara a descargar las fotografías en el dispositivo móvil por lo cual se deberá dejar que termine de realizar este proceso.



Figura 126 - Misión de vuelo

Fuente: Elaboración propia

10.4. Levantamiento con GPS o estación total de los puntos de control fotogramétricos (puntos de apoyo)

10.4.1. Puntos de control

Conocidos técnicamente también como Puntos de Control Fotogramétrico (PCF) ver Figura 127 y Figura 128, son marcas colocadas estratégicamente en el área del levantamiento que contrastan con el terreno natural para que puedan ser visualizadas por medio de las ortofotos tomadas.

Para aplicaciones de topografía es fundamental que se realice un control terrestre en campo, con ello ajustar el modelo al sistema de referencia local, para nuestro caso en la Proyección Cónica Conformal de Lambert. Por lo general la densificación de puntos de fotocontrol se realiza con receptores GNSS (Diferencial GPS) en modo RTK o estático rápido. En algunas condiciones se puede utilizar otros instrumentos como la estación total, pero por cuestiones de tiempo se recomienda la técnica anterior.



Figura 127 - Punto de control fotogramétrico

Fuente: Elaboración propia



Figura 128 - PCF

Fuente: Elaboración propia

La colocación de los PCF se realiza de manera de distribuirlos por toda el área y que cumplan con la condición de un punto en la mayor y un punto en la menor elevación como se muestra en la Figura 129, además la distribución no le permita grados de libertad para rotar o desplazarse en un eje cuando el modelo se georreferenciado.



Figura 129 - Colocación de PCF en cárcava

Fuente: Elaboración propia

Se procede a georreferenciarlos por medio de un equipo receptor de señal satelital, para así obtener su localización real y precisa por medio de la técnica RTK (Real Time Kinematic o Navegación Satelital en Tiempo Real), según como se muestra en la Figura 130, Figura 131, Figura 132 y Figura 133.



Figura 130 - Georreferenciación de PCF 4

Fuente: Elaboración propia



Figura 131 - Georreferenciación de PCF 1

Fuente: Elaboración propia



Figura 132 - Georreferenciación de PCF 5

Fuente: Elaboración propia



Figura 133 - Georreferenciación de PCF 2

Fuente: Elaboración propia

10.4.2. Montaje del equipo

El equipo utilizado para el levantamiento GPS, es de doble frecuencia de señal satelital de la marca SOUTH, el cual para su funcionamiento consta de los siguientes elementos: Trípode, Bastones, Base nivelante, Antenas de señal satelital, Receptores de doble frecuencia base y rover, Colector y cinta métrica; ver Figura 134Figura 135Figura 136Figura 137.



Figura 134 - Receptor y colector

Fuente: Elaboración propia



Figura 135 - Receptor Utilizado como base

Fuente: Elaboración propia



Figura 136 - Base y Rover

Fuente: Elaboración propia



Figura 137 - Base de nivelación en trípode

Fuente: Elaboración propia

Se procedió al nivelado del trípode y la base, dentro del vértice geodésico denominado "CAST" (ver Figura 138), el cual se colocó estratégicamente en el área de la cárcava de El Matazano.



Figura 138 - Vértice geodésico colocado "CAST"

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar la nivelación se instaló la base del equipo GNSS en el vértice geodésico, también se le colocó el bastón al Rover para configurar los parámetros de medición por medio del colector, ver Figura 139.



Figura 139 - Colocación de bastón al Rover

Fuente: Elaboración propia

10.4.3. Cálculo de coordenadas de la base usando software

SGO

Para la asignación de la coordenada para el punto de la base que utilizaremos para la ubicación de los puntos de control, será necesario realizar el traslado de coordenadas desde el punto geodésico más cercano al proyecto, ubicado en el Aeropuerto Internacional de Ilopango.

Para ello llevaremos un receptor GNSS utilizándolo en modo estático, lo centraremos en el punto al cual hemos llamado CAST ubicado en la zona del proyecto, anotaremos los datos a utilizar para la realización del post-procesamiento, como lo son la altura del equipo, hora de inicio, hora de finalización de la toma de lectura, serial del equipo utilizado. Para nuestro procesamiento se muestran los datos de la bitácora de campo en la siguiente Figura 140.

Datos

Lugar :	Soyapango
Mojon Base :	ILOPANGO
Mojon :	CAST
Aparato	Stonex- 1049
Nombre Archivo	CAST
Altura (m):	1.945
Hora de Inicio	2:55
Hora de Finalizacion	4:56
Nombre Del Tecnico	FNA
Fecha	15/04/2023

Figura 140 - Bitácora de campo levantamiento punto CAST en modo estático

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar la recolección de información en el receptor GNSS, este nos brindará un archivo Rinex, el cual nos servirá de base para realizar el procesamiento con el software South Geomatic Office (SGO). El segundo archivo Rinex que necesitaremos será, el punto con coordenadas conocidas llamado SSIA ubicado en el aeropuerto de Internacional de Ilopango, para la obtención de este archivo visitaremos el sitio web oficial de la National Geodetic Survey, utilizando el siguiente enlace “ <https://geodesy.noaa.gov/UFCORS/> ”, el cual nos llevara al sitio web mostrado en la Figura 141, buscaremos el archivo con los datos creados en la bitácora, para cumplir con el mismo tiempo y hora de recolección de información entre los dos receptores.

The screenshot shows the 'User Friendly CORS (UFCORS)' website interface. The page title is 'User Friendly CORS (UFCORS)' and it is part of the 'National Geodetic Survey'. The navigation menu includes 'NGS Home', 'About NGS', 'Data & Imagery', 'Tools', 'Surveys', and 'Science & Education'. A search bar is located in the top right corner.

The main content area is titled 'Download Custom CORS data files' and includes a description: 'This utility allows you to obtain a specific block of Global Navigation Satellite System (GNSS) data, in Receiver INdependent EXchange (RINEX) format 2.11, for any site in the Continuously Operating Reference Station (CORS) Network.' Below this, it states 'Fields marked with an asterisk (*) are required.'

The 'Selection Criteria' section contains the following fields:

- *Start Date: A text input field with a dropdown arrow, showing '(First available data: Jan 01, 1994)' below it.
- Year: A dropdown menu set to '2023'.
- Day of Year: A dropdown menu set to '105'.
- Start Time: A dropdown menu set to '00:00'.
- Time Zone: A dropdown menu set to 'GMT - 6'.
- *Duration in Hour(s): A dropdown menu set to '1'.
- *Site ID: A dropdown menu set to 'SSIA', with a 'CORS Map' link next to it.
- Sampling Rate: A dropdown menu set to '15'.
- *Available Satellite Systems: A section with three checked checkboxes: 'Coordinate File', 'NGS data sheet', and 'IGS Orbits in SP3(c) format'.

Below the selection criteria, there is an 'Optional Files' section with three checked checkboxes: 'Coordinate File', 'NGS data sheet', and 'IGS Orbits in SP3(c) format'. A 'get CORS data file' button is located at the bottom of the form.

The footer of the page includes the text: 'Website Owner: National Geodetic Survey / Last modified by NGS.UFCORS Apr 24 2023' and a navigation menu with links: 'NGS Home', 'NGS Employees', 'Privacy Policy', 'Feedback', 'Disclaimer', 'USA.gov', 'Ready.gov', 'Site Map', and 'Contact Webmaster'.

Figura 141 - Parámetros de búsqueda para descarga del archivo Rinex SSIA

Fuente: elaboración propia

Se descargará una carpeta con la información necesaria para realizar el postprocesamiento, tal y como se muestra en la Figura 142.

Nombre	Tipo
igr22573.sp3	Archivo SP3
README.txt	Archivo TXT
ssia.log.txt	Archivo TXT
ssia_14.coord.txt	Archivo TXT
ssia1020.23n	Archivo 23N
ssia1020.23o	Archivo 23O

Figura 142 - Nombre de los archivos descargados para realizar postprocesamiento

Fuente: elaboración propia.

Con la base de datos obtenida en campo, por los receptores procederemos a procesar la información, utilizando el software SGO. Abrimos el software y crearemos un nuevo archivo al cual nombraremos como “TESIS” se desplegará la pantalla principal como la Figura 143, para ello nos vamos a la opción Nuevo proyecto Ubicado en la barra de herramientas, tal como se muestra en la Figura 144. abriendosenos un cuadro de dialogo en el cual definiremos las unidades de medida, nombre del archivo y ubicación del archivo generado, ver Figura 144.

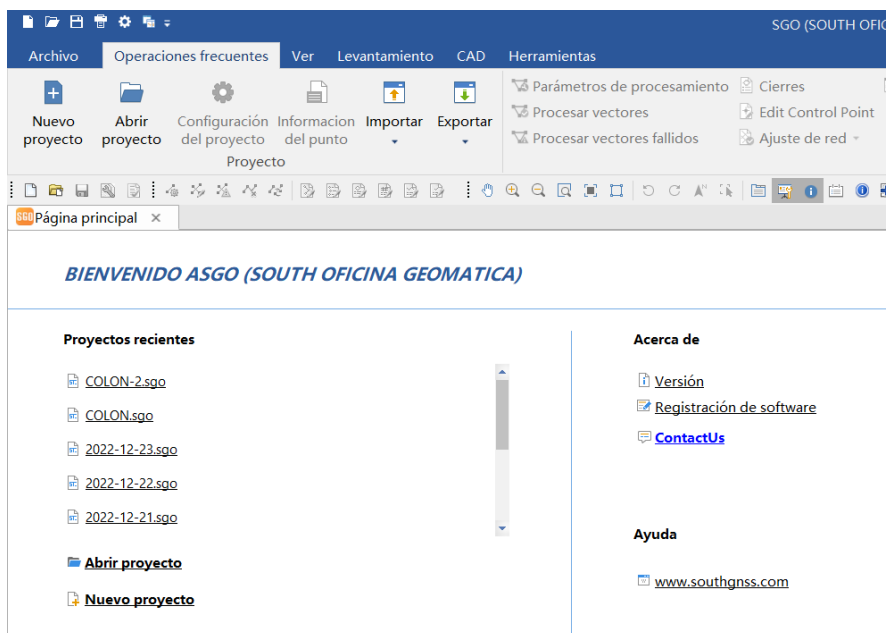


Figura 143 - Pantalla principal SGO

Fuente: Elaboración propia

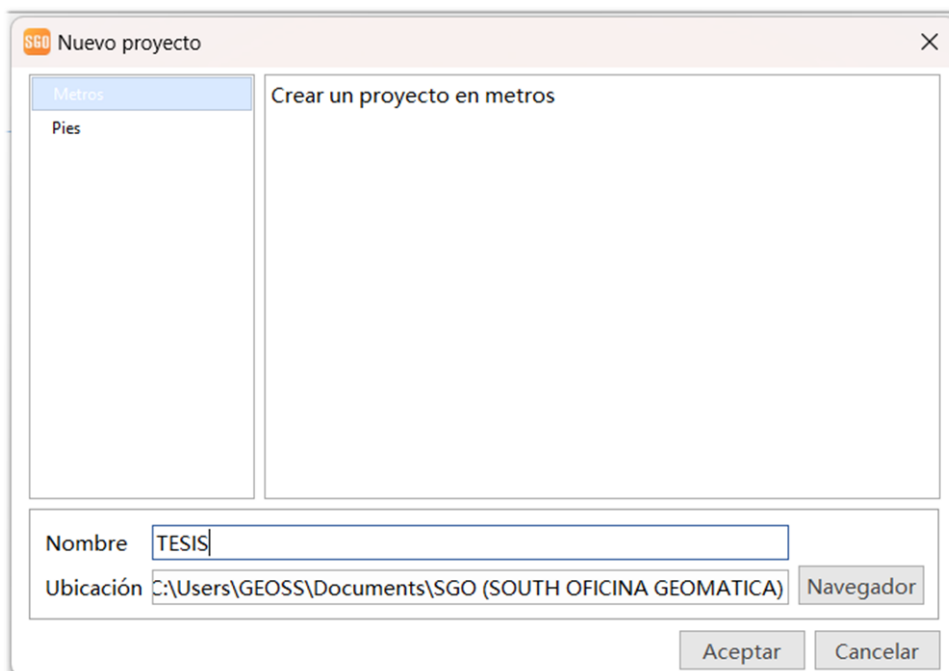


Figura 144 - Creación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la creación del proyecto, el programa automáticamente nos envía a un cuadro de diálogo en el cual podremos configurar el proyecto, definiendo información adicional como, información de la empresa y operadores tanto en campo como en oficina ver Figura 145, de igual forma configuraremos los parámetros del sistema de coordenadas a utilizar partiendo de los parámetros establecidos por el CNR para la proyección Lambert Sirgas El salvador, estos indicados en la Figura 146, Figura 147, Figura 148 y Figura 149, los cuales podemos encontrar en el apartado sistemas y marcos de referencia locales, Ubicado en el capítulo V sistemas de referencia geodésicos modernos.

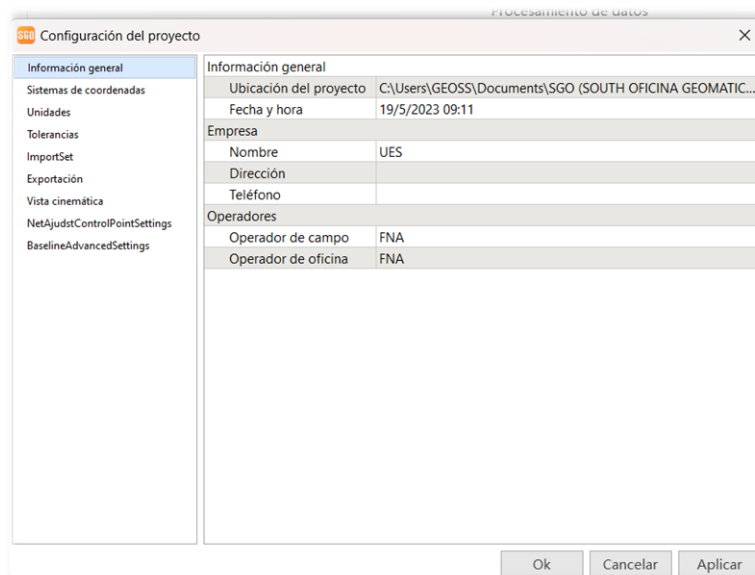


Figura 145 - Configuración de la información general del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

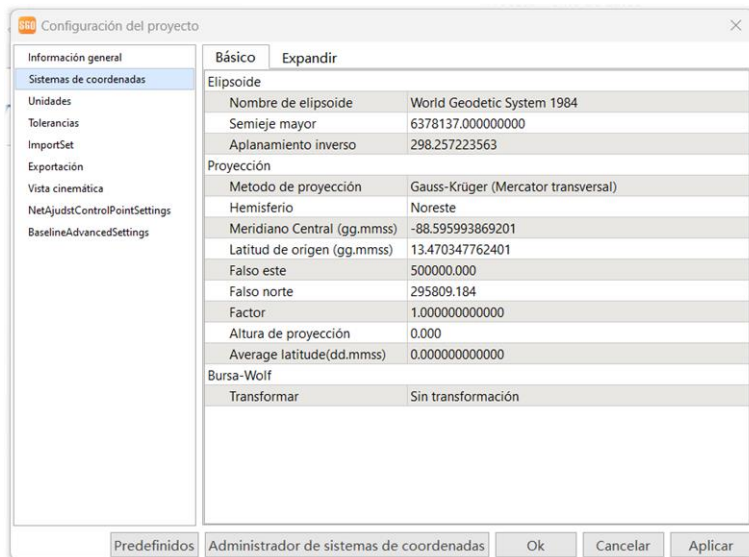


Figura 146 - Configuración del sistema de coordenadas del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

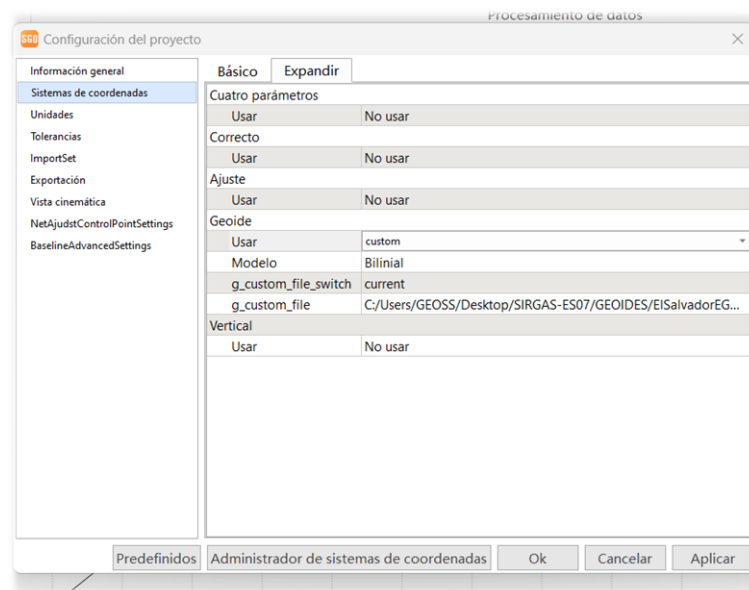


Figura 147 - Importación del archivo geoidal para la definición de los parámetros verticales de la proyección.

Fuente: Elaboración propia

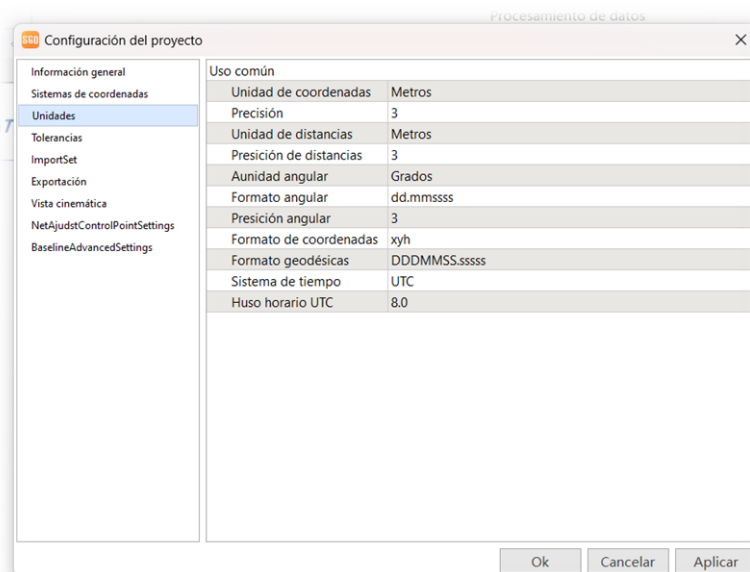


Figura 148 - Configuración del sistema de unidades del proyecto.

Fuente: elaboración propia

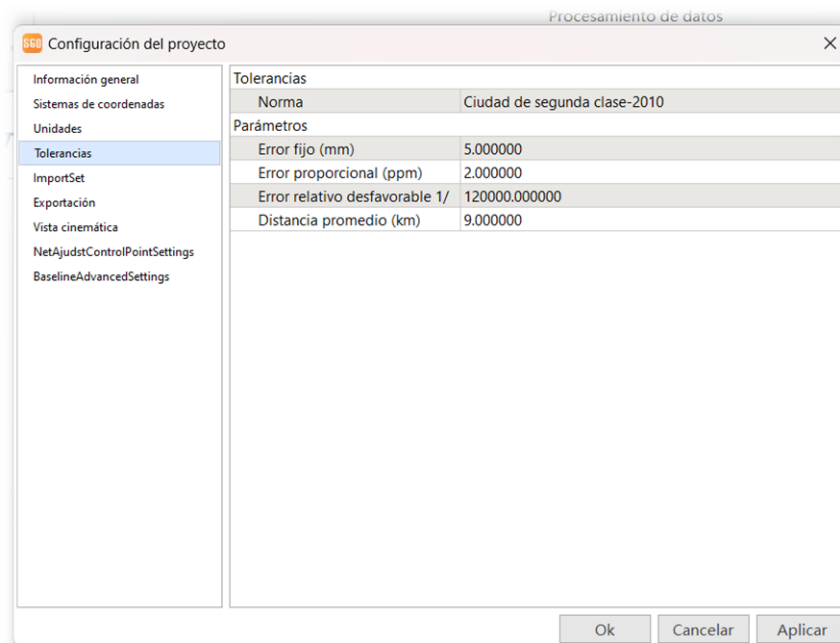


Figura 149 - Configuración de parámetros de tolerancia para el proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Creado el proyecto el software nos mostrara la ventana de mapas donde se visualizaran gráficamente todos los archivos cargados, y los vectores generados por el procesamiento de la información ver Figura 150, exportaremos los archivos Rinex, accediendo a la configuración importar, ubicada en la zona de funciones ver Figura 151, posterior se nos abrirá un cuadro de dialogo donde tendremos que buscar la ubicación de los archivos a importar, Figura 152 y Figura 153.

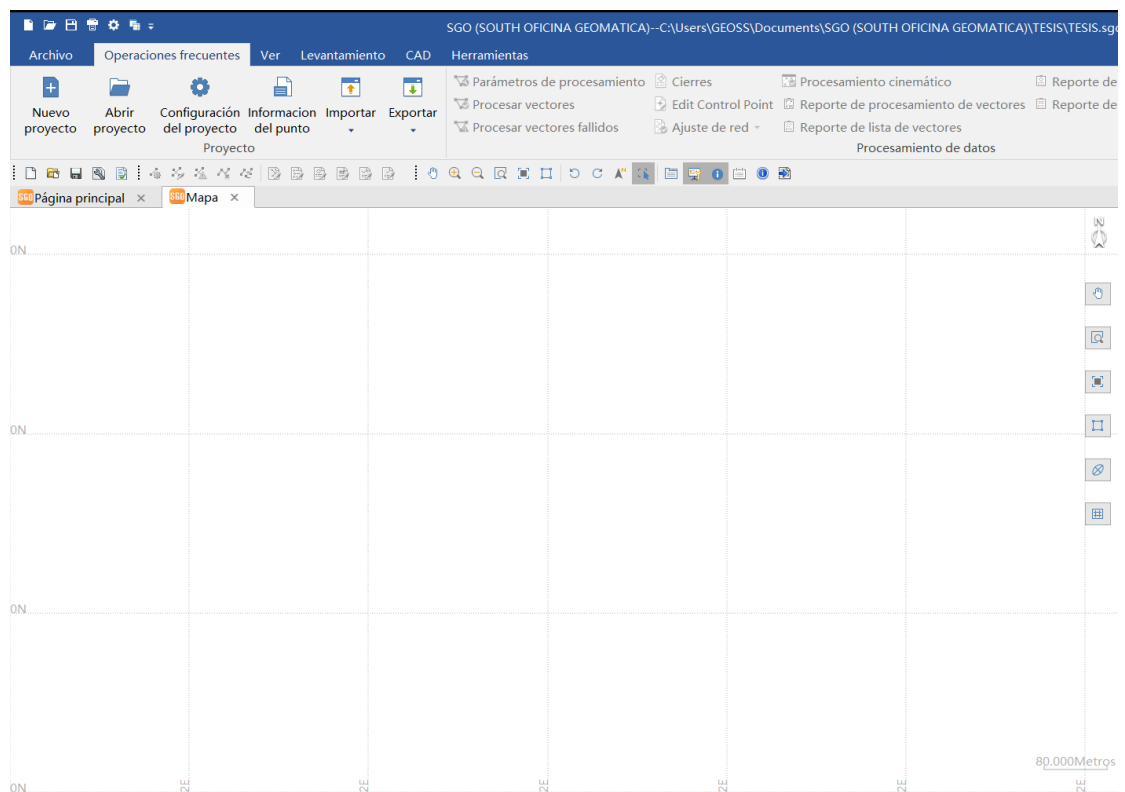


Figura 150 - Pantalla de visualización del mapa posterior a la creación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

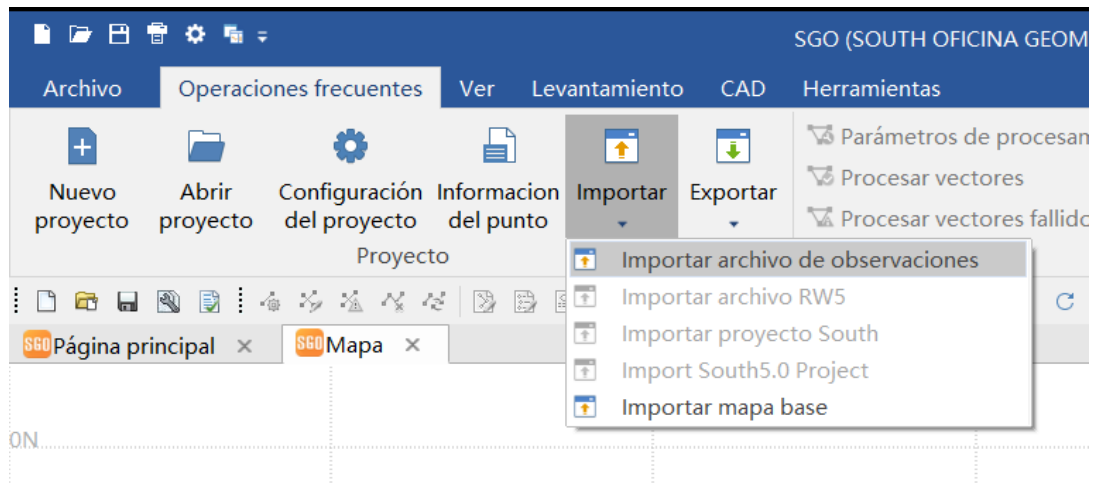


Figura 151 - Importación de archivos de observación

Fuente: Elaboración propia

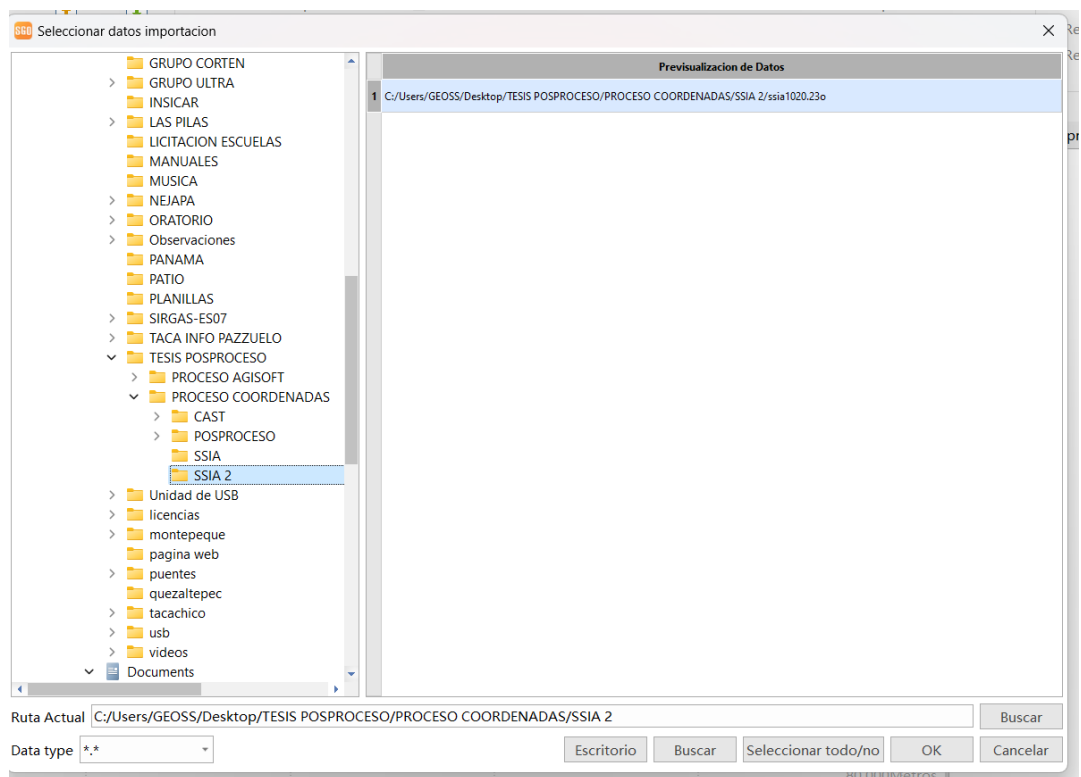


Figura 152 - Cuadro de diálogos para importación de los archivos Rinex del punto SSIA.

Fuente: Elaboración propia

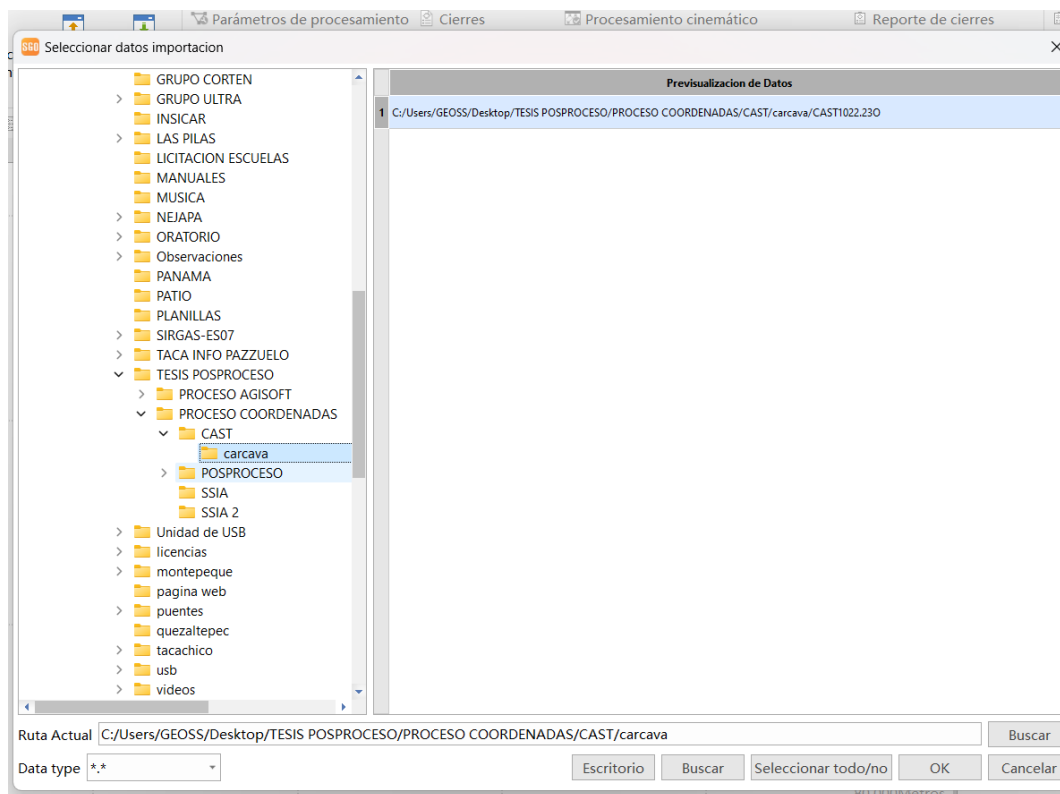


Figura 153 - Cuadro de diálogos para la importación de los archivos Rinex punto CAST.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de seleccionar el archivo a exportar se nos abrirá un cuadro donde nos brindará información referente al archivo, como hora de inicio de la toma de lectura, Hora de finalización de la toma de lecturas, altura de la antena, método de medición de la antena serial del equipo entre otros, estos datos se pueden observar en la Figura 154, dicha información debe ser comparada con la bitácora, y de no coincidir, ser editada en el software.

Id	File Name	Inicio	Final	Tipo de datos	Fabricante	Tipo de antena	Altura de antena	Método de medición de la antena	AntCalculateHeight	Número serial	CAU	
1	CAST	<input checked="" type="checkbox"/>	CAST1022.230	2023-04-13 04:54:45	2023-04-13 05:56:45	Estático	StaticToRinex	HX-GS425A	2.030	Centro de fase	2.030	STNS92431026 CAU

SeleceAll Nota: ajuste la identificación cuando sea diferente con la ingresada por el usuario!

Figura 154 - Cuadro de información del archivo exportado.

Fuente: Elaboración propia

Cargados en el software los archivos importados se nos mostraran en el mapa dos puntos con los nombres de los archivos los cuales hacen referencia a los documentos importados, y también una flecha indicándonos que ambos archivos Rinex se enlazaron correctamente, ver Figura 155, esto a causa de la no interrupción de la toma de lectura de los receptores, y la realización de estas al mismo tiempo. Al mismo tiempo se nos muestra un administrados de proyecto, donde nos indica la cantidad de puntos y vectores que el software a reconocido, con sus respectivas propiedades, ver Figura 156.

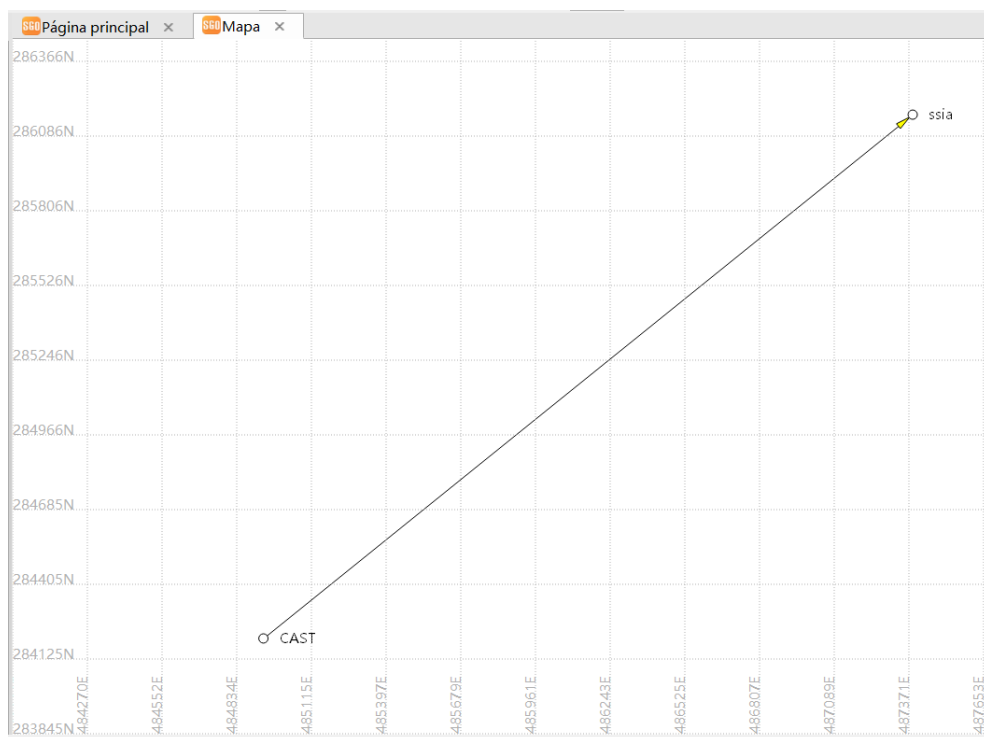


Figura 155 - Representación gráfica en el mapa de la generación de los puntos geodésicos a procesar.

Fuente: Elaboración propia

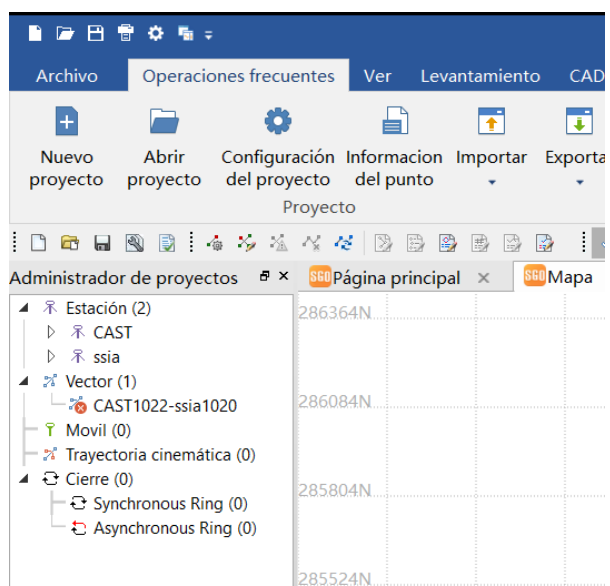



Figura 156 - Administrador de proyecto

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura anterior el vector creado se representa con la siguiente simbología  CAST1022-ssia1020 indicándonos que el vector aún no ha sido procesado; para ello nos iremos al administrador de tareas, daremos clic derecho en el punto “SSIA” y seleccionamos la opción adicionar datos del punto de control, llevándonos tal como se muestra en la Figura 157, volveremos a dar clic derecho y esta vez veremos habilitada la opción, edita puntos de control ver Figura 158, la cual seleccionamos, llevándonos a un cuadro de dialogo donde podremos editar las coordenadas del punto “SSIA”, ver Figura 159 y Figura 160, las cuales podremos verificar en el archivo descargado desde el sitio web oficial de la National Geodetic Survey, ver información completa en Anexo 3 - Archivo “README.txt” SSIA, Anexo 4 - Archivo “ssia.log.txt” SSIA, y Anexo 5 - Archivo “ssia_14.coord.txt” SSIA.

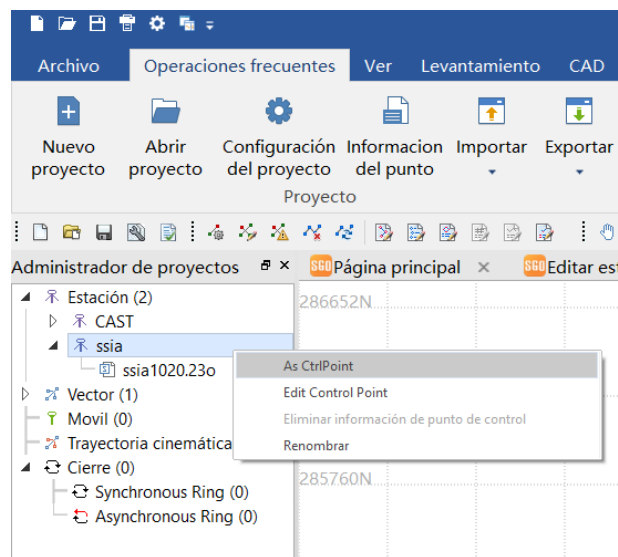


Figura 157 - Asignar a " SSIA " como punto conocido para el procesamiento de la información.

Fuente: Elaboración propia

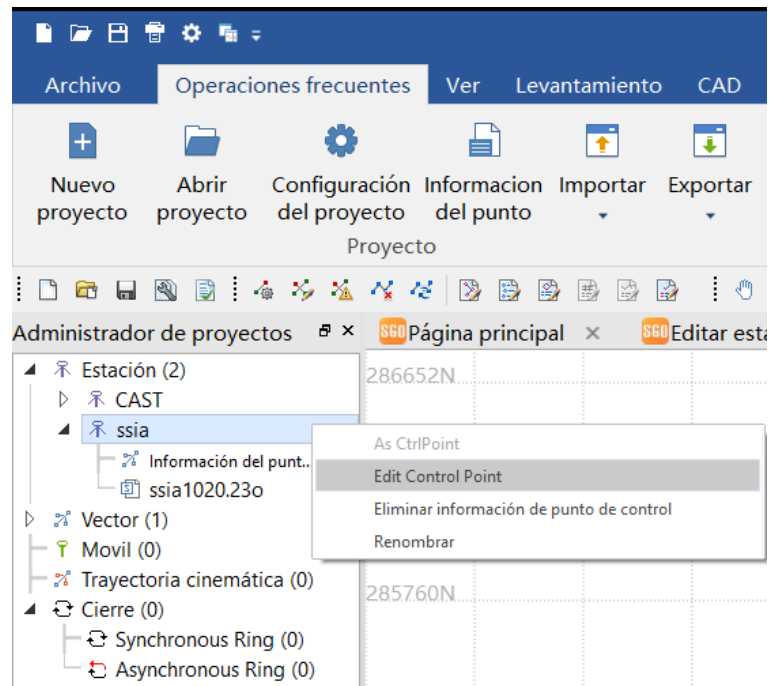


Figura 158 - Configuración de edición para punto de control "SSIA".

Fuente: Elaboración propia

```

***ITRF2014***
ILOPANGO AIRPORT (SSIA), UNIDENTIFIED DEPARTMENT OF EL SALVADOR
Retrieved from NGS DataBase on 01/31/23 at 17:38:43.

-----
Antenna Reference Point(ARP): ILOPANGO AIRPORT CORS ARP
-----
PID = AI8353

ITRF2014 POSITION (EPOCH 2010.0)
Computed in Jan 2023 using 14 days of data.
X = 95567.010 m latitude = 13 41 49.50775 N
Y = -6197785.568 m longitude = 089 06 59.74335 W
Z = 1500590.600 m ellipsoid height = 626.631 m

ITRF2014 VELOCITY
Computed in Jun 2019 using data through gpswk 1933.
VX = 0.0085 m/yr northward = 0.0014 m/yr
VY = 0.0015 m/yr eastward = 0.0085 m/yr
VZ = 0.0011 m/yr upward = -0.0011 m/yr

L1 Phase Center of the current GPS antenna: ILOPANGO AIRPORT CORS L1PC

```

Figura 159 coordenadas descargadas del sitio web oficial del National Geodetic Survey.

Fuente: Elaboración propia

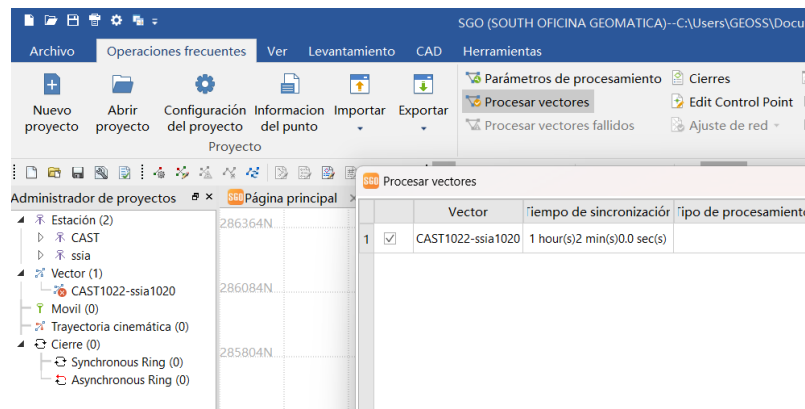


	Nombre de Punto	Enable	Coordenadas Norte Objetivo	Coordenadas Este Objetivo	Objetivo Elevación	X(m)	Y(m)	Z(m)	Latitud(DD.MMSS)	Longitud(DD.MMSS)	Altura
1	ssia	NEH	286164.4177	487386.1540	635.062				13.414950775	89.065974335	626.631

Figura 160 - Configuración de coordenada conocida para el punto base conocido.

Fuente: Elaboración propia.

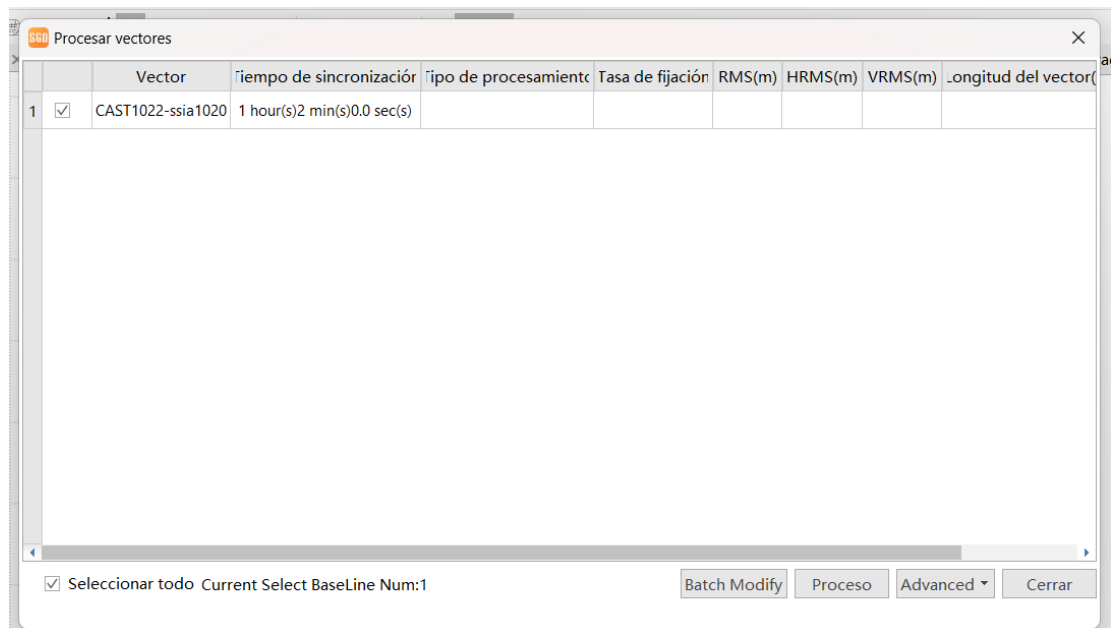
Posterior a la asignación de la coordenada a nuestro punto conocido iremos a la zona de funciones y seleccionamos la opción procesar vectores, ver Figura 161, abriéndose un cuadro con el tiempo de sincronización de la lectura de los puntos y el nombre del vector ver Figura 162, seleccionamos la opción procesar, teniendo así el resultado del procesamiento vectorial ver Figura 164, y mostrándose en el modelo una línea de color verde lo cual indica que el vector cumple con los parámetros de precisión establecida en el proyecto Figura 165.



Vector	tiempo de sincronización	tipo de procesamiento
1 <input checked="" type="checkbox"/> CAST1022-ssia1020	1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s)	

Figura 161 - Procesamiento de vector.

Fuente: Elaboración propia



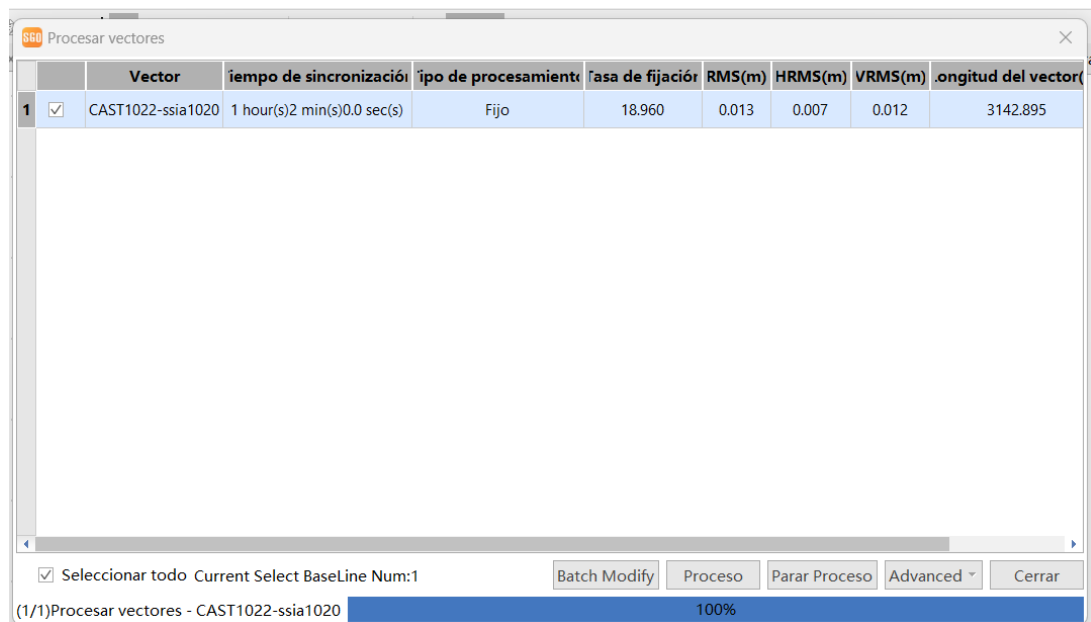
The screenshot shows a window titled "Procesar vectores" with a table containing one row of data. The table has the following columns: Vector, tiempo de sincronización, tipo de procesamiento, Tasa de fijación, RMS(m), HRMS(m), VRMS(m), and longitud del vector. The row contains the following values: 1, a checked checkbox, CAST1022-ssia1020, 1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s), and empty cells for the remaining columns.

	Vector	tiempo de sincronización	tipo de procesamiento	Tasa de fijación	RMS(m)	HRMS(m)	VRMS(m)	longitud del vector
1	<input checked="" type="checkbox"/> CAST1022-ssia1020	1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s)						

At the bottom of the window, there is a status bar with a checked checkbox, the text "Seleccionar todo Current Select BaseLine Num:1", and buttons for "Batch Modify", "Proceso", "Advanced", and "Cerrar".

Figura 162 - Información del vector a procesar.

Fuente: Elaboración propia



The screenshot shows the same "Procesar vectores" window, but now the table is populated with data. The row contains the following values: 1, a checked checkbox, CAST1022-ssia1020, 1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s), Fijo, 18.960, 0.013, 0.007, 0.012, and 3142.895. The status bar at the bottom shows a checked checkbox, the text "Seleccionar todo Current Select BaseLine Num:1", buttons for "Batch Modify", "Proceso", "Parar Proceso", "Advanced", and "Cerrar", and a progress bar labeled "(1/1)Procesar vectores - CAST1022-ssia1020" with a value of "100%".

	Vector	tiempo de sincronización	tipo de procesamiento	Tasa de fijación	RMS(m)	HRMS(m)	VRMS(m)	longitud del vector
1	<input checked="" type="checkbox"/> CAST1022-ssia1020	1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s)	Fijo	18.960	0.013	0.007	0.012	3142.895

At the bottom of the window, there is a status bar with a checked checkbox, the text "Seleccionar todo Current Select BaseLine Num:1", buttons for "Batch Modify", "Proceso", "Parar Proceso", "Advanced", and "Cerrar", and a progress bar labeled "(1/1)Procesar vectores - CAST1022-ssia1020" with a value of "100%".

Figura 163 - Procesamiento del vector que une la coordenada "SSIA" con "CAST".

Fuente: elaboración propia

Procesamiento de datos

SGO Procesar vectores

	Vector	tiempo de sincronización	tipo de procesamiento	tasa de fijación	RMS(m)	HRMS(m)	VRMS(m)	longitud del vector
1	<input type="checkbox"/> CAST1022-ssia1020	1 hour(s)2 min(s)0.0 sec(s)	Fijo	18.960	0.013	0.007	0.012	3142.895

Seleccionar todo Current Select BaseLine Num:0

Batch Modify Proceso Advanced Cerrar

Procesamiento de Linea Base completo!

Figura 164 - Resultados obtenidos del procesamiento del vector.

Fuente: Elaboración propia

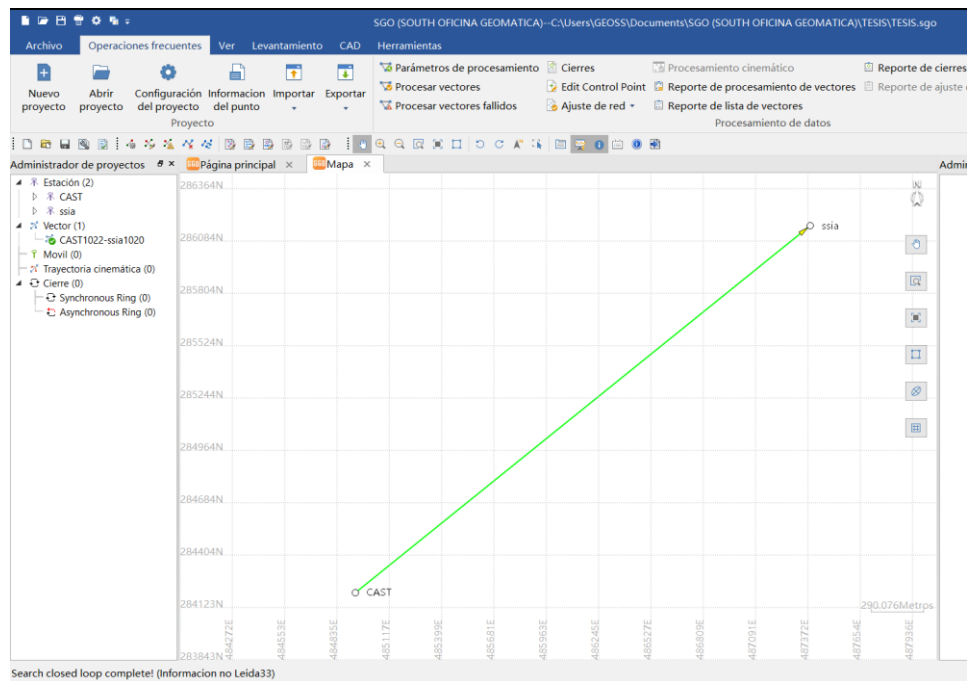


Figura 165 - Representación gráfica del cumplimiento de los parámetros establecidos para el proyecto.

Fuente: Elaboración Propia

Para finalizar el postproceso generaremos el reposte de procesamiento de ajuste de coordenada en 3D. para ello nos vamos a la zana funcional y seleccionamos la opción reposte de ajuste 3d, brindándonos un archivo de texto donde se presentan las precisiones obtenidas en el procesamiento del vector, y la asignación de coordenadas a los puntos ver Figura 166, ver resultado completo del procesamiento en Anexo 2 - Informe final del procesamiento de coordenadas.

Puntos conocidos										
#	Name	X(m)	Y(m)	Z(m)						
0	ssia	95567.010	-6197785.568	1500590.600						
Vectores										
#	From	To	X(m)	Y(m)	Z(m)	S(m)				
0	CAST	ssia	2444.868	514.663	1906.707	3142.895				
Parámetros de corrección del vector 3D										
#	From	To	Vx(cm)	Vy(cm)	Vz(cm)	Tolerancia (cm)				
0	CAST	ssia	0.000	0.000	0.000	1.630	Calificado			
Precisión ajustada										
#	From	To	S(m)	s(cm)	s/S	ppm				
0	CAST	ssia	3142.895	0.120	2601121	0.380				
Coordenadas 3D ajustadas										
#	Name	X(m)	Y(m)	Z(m)	sx(cm)	sy(cm)	sz(cm)	p(cm)		
0	CAST	93122.142	-6198300.231	1498683.893	0.080	0.170	0.080	0.080		
1	ssia	95567.010	-6197785.568	1500590.600	0.080	0.170	0.080	0.080		
Coordenadas geodésicas										
#	Name	B(dms)	L(dms)	H(m)	sB(cm)	sL(cm)	sH(cm)	E(cm)	F(cm)	T(d)
0	CAST	13d40'45.55802''	-89d08'21.34797''	639.265	0.090	0.080	0.170	0.090	0.080	6.3445
1	ssia	13d41'49.50775''	-89d06'59.74335''	626.631	0.090	0.080	0.170	0.090	0.080	6.4416
Coordenadas planas ajustadas										
Meridiano central = -88d59'59.93869''										
Falso norte (m) = 295809.184										
Falso este (m) = 500000.000										
#	Name	N(m)	E(m)							
0	CAST	284199.523	484932.629							
1	ssia	286163.482	487385.972							

Figura 166 - Reporte de procesamiento vectorial.

Fuente: Elaboración propia

10.4.4. Configuración de la Base y Rover

Para la configuración de los dispositivos GNSS en modo RTK, se utilizó una colector de marca SOUTH, modelo H6, con sistema operativo Android versión 8.0, lo cual contiene la aplicación SurvStar.

Procederemos abrir la aplicación, mostrándose así el menú indicado en la Figura 167, accedemos al submenú “Instrumentos”, y seleccionamos la opción “Comunicación”, abriéndose nos la pantalla mostrada en la Figura 168, dentro de la cual nos centraremos en la lista de dispositivos bluetooth, buscando el dispositivo del receptor nombrado por su serial (Figura 169), en nuestro caso utilizaremos el receptor con serial: S911C31486626346 (Figura 170), la cual conectaremos.

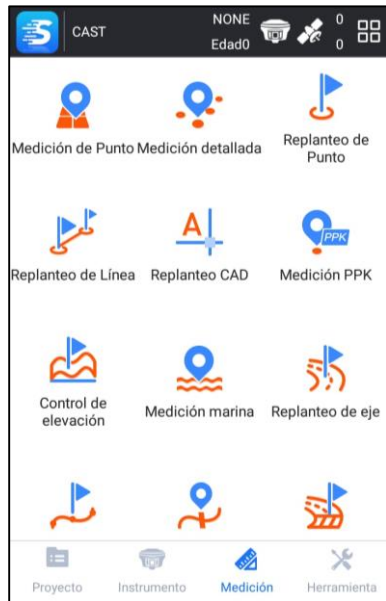


Figura 167 - Menú de aplicación

Fuente: Elaboración propia



Figura 168 - Submenú de aplicación "Instrumentos"

Fuente: Elaboración propia

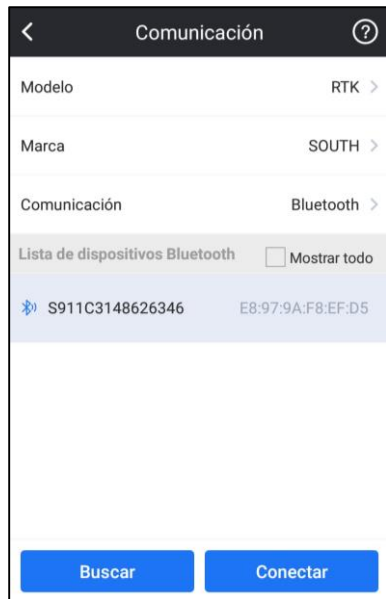


Figura 169 - Búsqueda Bluetooth de receptor

Fuente: Elaboración Propia



Figura 170 - Conexión Bluetooth de receptor

Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar la conexión con el equipo GNSS procedemos a crear nuestro trabajo para ello nos iremos al submenú proyecto que se muestra en la pantalla principal ver Figura 171, para posteriormente entrar al acceso directo llamado Gestor de proyecto, mostrándonos la pantalla indicado en la Figura 172, en donde creamos el nuevo proyecto al cual nombraremos CAST, y configuraremos según la Figura 173, este trabo creado se guardara automáticamente en la carpeta proyectos, dentro del dispositivo SH 6.

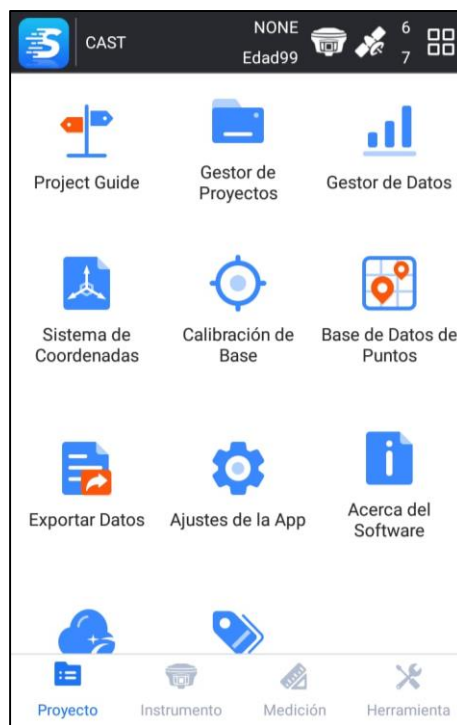


Figura 171 - Submenú "Proyecto" Gestor de proyectos

Fuente: Elaboración propia

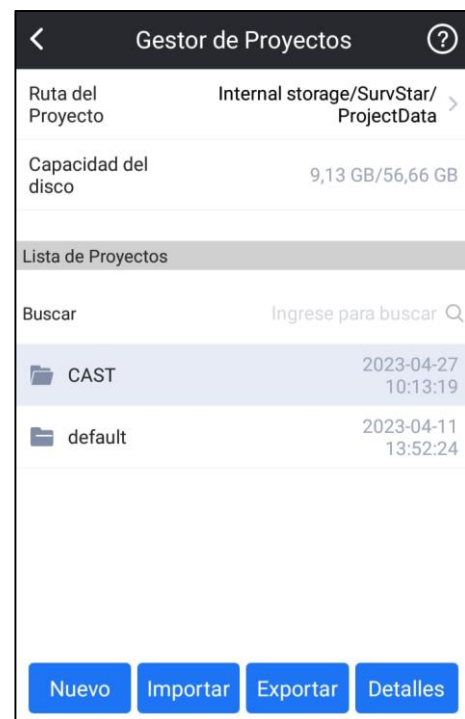


Figura 172 - Gestor de proyecto

Fuente: Elaboración propia

Proyecto Nuevo	
Nombre de Proyecto	CAST
Tipo de Sistema de Coordenadas	Parámetros de Proyecto Previo >
Operador	Fidel-Nicolas-Alonso
Instrumento	south <input type="text"/>
Notas	Por favor ingresar
Fecha	2023-05-19 19:57:01
Capacidad del disco	9,13 GB/56,66 GB
ACEPTAR	

Figura 173 - Creación de proyecto

Fuente: Elaboración propia

Para todo trabajo realizado con equipo GNSS en modo RTK es necesario la utilización de un sistema de coordenadas planas, que en nuestro caso utilizaremos el sistema de coordenadas Lambert Sirgas El Salvador, para ello utilizaremos los parámetros establecidos por el Centro Nacional de Registros, y el geoide “EL SALVADOR EGM-08” con extensión “.ggf” para la definición de coordenadas en el eje Z.

La Apss SurvStar, presenta una base de datos con diferente sistema de coordenadas, pero no se encuentra el sistema que utilizaremos, por ello se realiza la creación del sistema de coordenadas. Accedemos a la pantalla del

submenú Proyecto, seleccionando la opción Sistema de Coordenadas, el cual nos lleva a la pantalla mostrada en la Figura 175, en la que configuraremos las opciones del elipsoide, proyección, parámetros de ajuste Horizontal y parámetros del Geoide, según se muestra en las Figura 174, Figura 176 y Figura 177.

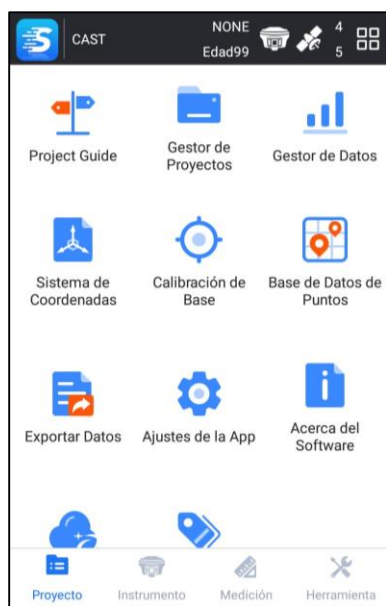


Figura 174 - Submenú "Proyecto" sistema de coordenadas

Fuente: Elaboración propia

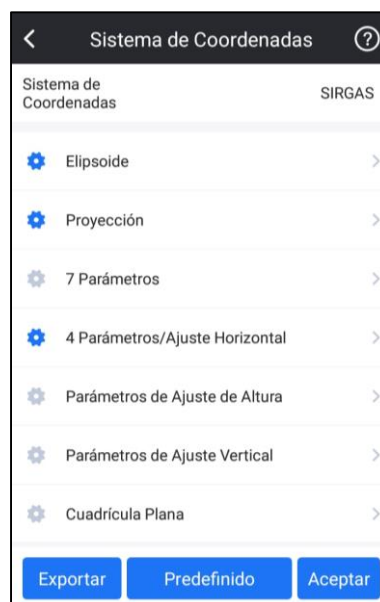


Figura 175 - Sistema de coordenadas

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Elipsoide	WGS 84 >
Semieje mayor	6378137.0
1/f	298.2572235629972

Aceptar

Figura 176 - Parámetros de Elipsoide

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Proyección	Cónica Conforme de Lambert(2ps) >
Meridiano Central	W88°59'59.93869200" 📍
Latitud de origen	N13°47'03.47762400"
Falso Norte	295809.184 m
Falso Este	500000.000 m
Paralelo Estándar 1	N13°19'03.47762400"
Paralelo Estándar 2	N14°15'03.47762400"

Aceptar

Figura 177 - Parámetros de proyección

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Utilizar	<input checked="" type="checkbox"/>
Traslación en Norte	0 m
Traslación en Este	0 m
Rotación	0°00'00.00000000"
Factor de escala	0.99996704
Origen Norte	0 m
Origen Este	0 m

Aceptar

Figura 178 - Parámetros y ajuste horizontal

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Utilizar	<input checked="" type="checkbox"/>
Métodos Geoidal	Bilineal >
Archivo de Geoide	ElSalvadorEGM08.ggf >

Aceptar

Figura 179 - Parámetros de Geoide

Fuente: Elaboración propia

Luego de la creación del sistema de coordenadas procederemos a continuar con la configuración del receptor, el cual ya enlazamos anteriormente con la colectora mediante vía bluetooth. Para lo cual nos vamos al submenú instrumento y seleccionamos la opción base, llevándonos así a la pantalla mostrada en la Figura 180 y configurando los parámetros indicados en la Figura 181, es importante recalcar que para el modo de inicio de la base se utilizan un modo manual, el cual nos permite introducir coordenadas conocidas con anterioridad, que para nuestro proyecto le colocaremos las calculadas anteriormente para el punto CAST, ver Figura 182 y Figura 183.



Figura 180 - Submenú "Instrumentos" y opción Base

Fuente: Elaboración propia

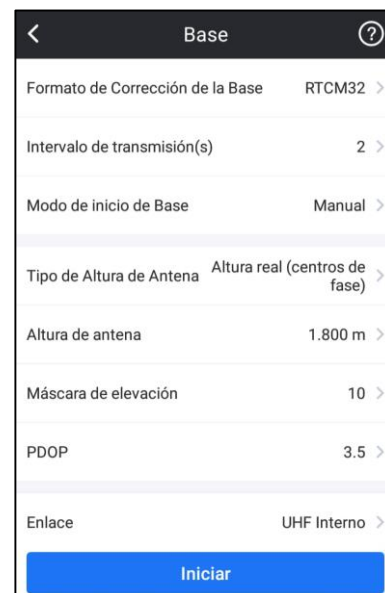


Figura 181 - Configuración de la Base

Fuente: Elaboración propia

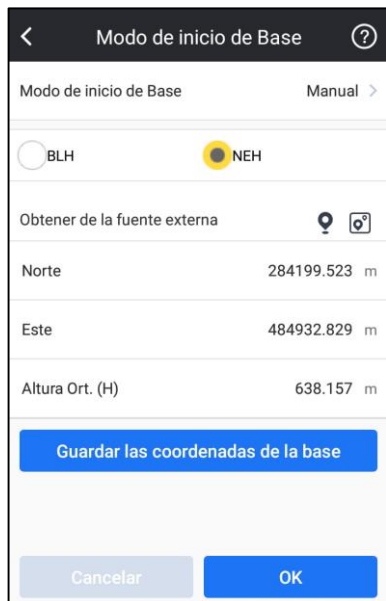


Figura 182 - Modo de inicio de bases

Fuente: Elaboración propia



Figura 183 - Parámetros de configuración del enlace

Fuente: Elaboración propia

Para la configuración del GNSS en modo Rover procederemos a configurar el equipo tal como lo hicimos anteriormente con la base, conectando el receptor mediante vía bluetooth con la colectora (ver Figura 184), se definen los mismos parámetros de configuración del enlace Figura 185, Figura 186 y Figura 187, y de esta forma tendremos configurado los receptores para trabajar en modo RTK.

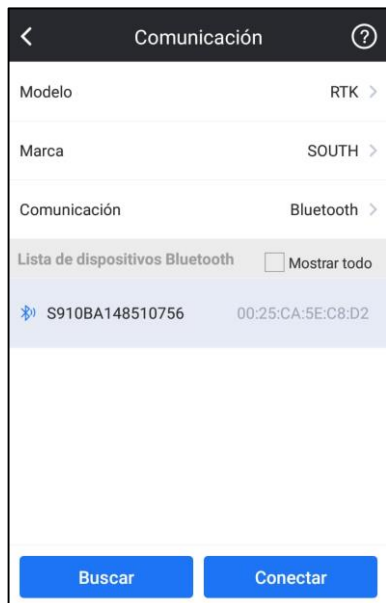


Figura 184 - Comunicación con receptor

Fuente: Elaboración propia

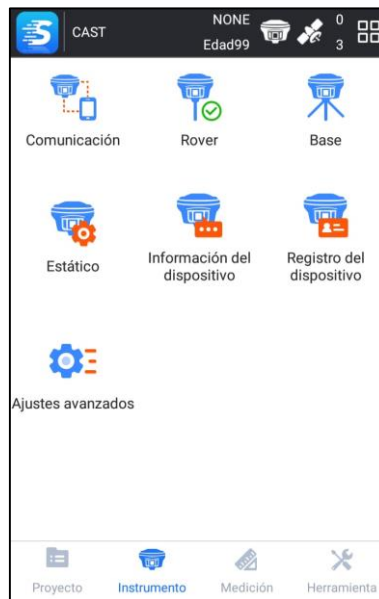


Figura 185 - Submenú "Instrumentos" configuración de Rover

Fuente: Elaboración propia

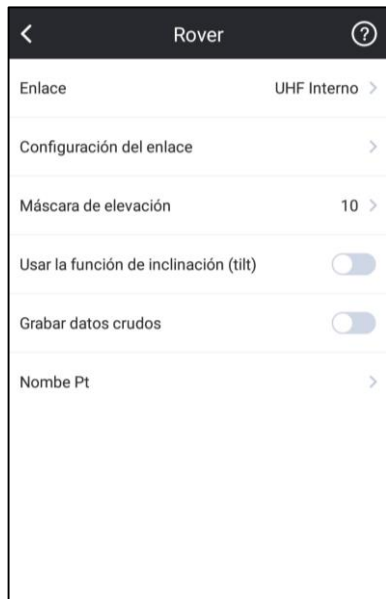


Figura 186 - Configuración de Rover

Fuente: Elaboración propia



Figura 187 - Configuración de parámetros de enlace de Rover

Fuente: Elaboración propia

10.4.5. Levantamiento de los puntos PCF

Posterior a la configuración de los receptores en modo Base y Rover, nos iremos al submenú medición, donde seleccionaremos la opción medición de puntos ver Figura 188, la cual nos llevará a la pantalla de medición ver Figura 189, donde se procederá a guardar cada uno de los puntos medidos con el receptor GNSS.



Figura 188 - Submenú "Medición" opción Medición de puntos

Fuente: Elaboración propia



Figura 189 - Medición de puntos

Fuente: Elaboración propia

Para verificar que la lectura es tomada con la precisión correcta deben ser verificados los siguientes parámetros.

Que se encuentre dentro de los parámetros de la configuración del estado fijo, para ello verificamos en la parte superior izquierda de la pantalla se nos muestre

la palabra “fijo”, con ello se garantiza que el Rover está recibiendo correctamente la señal de los satélites y la corrección de la base ver Figura 190, el Hcmc sea menor a 0.030, el Vcmc sea menor a 0.030, el PDOP sea menor a 6.0, el GDOP sea menor a 3.5, la burbuja del bastón se encuentre dentro del círculo marcado para garantizar que se encuentre vertical o perpendicular al terreno donde se apoyó tal y como se muestra en la Figura 191.



Figura 190 - Pantalla con parametros de medicion

Fuente: Elaboracion Propia

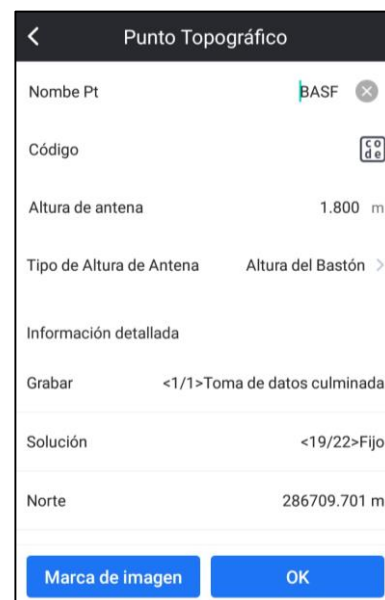


Figura 191 - Ajustes y parámetros de medición

Fuente: Elaboracion Propia

En la Figura 190 se presentan los parámetros de medición del punto del control en la cual podemos verificar la cantidad de satélites enlazados, precisiones en coordenadas Horizontales y verticales, y el nivel de la batería del receptor

10.5. Descripción del proceso

Para la obtención de un levantamiento fotogramétrico con el uso de Dron y una superficie en 3D de calidad, es necesario tomar en cuenta el siguiente proceso a seguir:

- **Reconocimiento del área** (Ver numeral 9.1.2. y 10.1.)
 - Identificar el acceso a las áreas que se propone levantar.
 - Identificación del Área a levantar.
 - Identificación de obstáculos físicos en el sitio, como árboles, postes o cualquier otro objeto que dificulte el vuelo.
 - Identificación de restricciones de vuelo.
 - Ubicación de mojones que faciliten la obtención de coordenadas.
 - Visualización de la ventana de elevación o mascara que se tiene en el lugar.
- **Creación del plan de vuelo** (Ver numeral 9.3. y 9.4.)
- **Levantamiento con GPS** (Ver numeral 10.4.)
 - Colocación de un vértice geodésico para la obtención de coordenadas precisas con los puntos de control fotogramétricos.
 - Colocación de marcas de control o franelas para la colocación de los Puntos de control fotogramétricos.
 - Configuración de Base y Rover

- Levantamiento de puntos de control fotogramétricos (PCF), *esta actividad también se puede realizar después del vuelo.*
- **Levantamiento fotogramétrico con Dron** (Ver numeral 10.3.)
 - Verificar el correcto armado del Dron y su controlador.
 - Ubicación de un lugar de despegue.
 - Verificación de calibración de sensores.
 - Verificación de parámetros de plan de vuelo.
 - Inicio de plan de vuelo y monitoreo constante en misión.
- **Obtención de datos** (Ver numeral 10.5.)

10.6. Datos obtenidos

Los datos que se obtienen del levantamiento GPS y el levantamiento fotogramétrico con Dron, se combinan para su post-procesamiento.

10.6.1. Datos del levantamiento GPS

En total, se midieron 5 puntos de control o PCF ubicados estratégicamente cubriendo la totalidad del plan de vuelo generado en el cantón El Matazano, obteniendo los resultados de la siguiente Tabla 8:

Tabla 8 - Resultados de levantamiento con GPS

Fuente: Elaboración propia

Nombre del PCF	Norte (Y)	Este (X)	Elevación
PC 1	284183.055	485033.213	629.849
PC 2	284149.084	484982.031	642.436
PC 3	284154.424	484924.905	648.412
PC 4	284201.28	484909.646	646.565
PC 5	284220.404	484990.264	626.362

Las coordenadas obtenidas, se guardan en un archivo de extensión .txt, ya que son indispensables para el post procesamiento de las ortofotos y georreferenciarlas en el software correspondiente.

10.6.2. Datos del levantamiento fotogramétrico con dron

Se capturaron 374 fotografías, las cuales fueron obtenidas por una doble grilla, la cual nos permitirá generar un modelo 3D en su post-procesamiento



Figura 192 - Ortofoto de cárcava

Fuente: Elaboración Propia

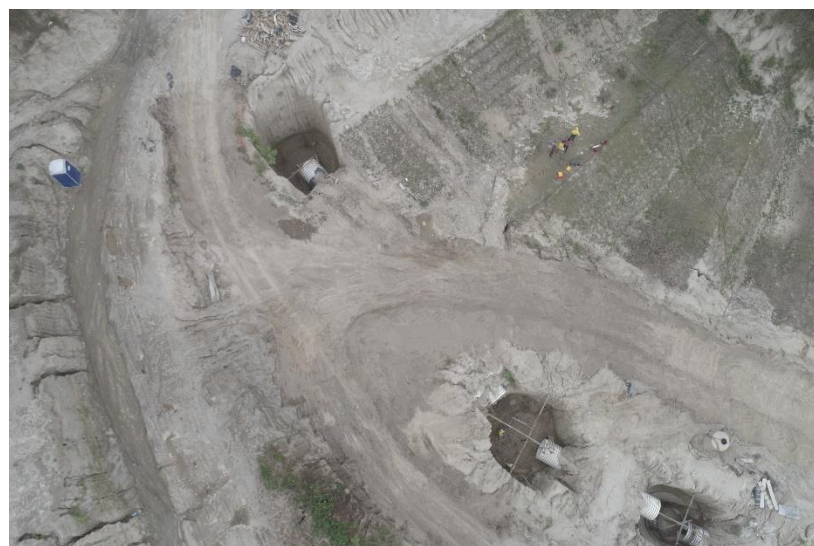


Figura 193 - Ortofoto de cárcava EM

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO XI: PROCESAMIENTO DE DATOS

11.1. Procesamiento de datos.

Agisoft Metashape es una solución de software de vanguardia, con su núcleo de motor, llevando la fotogrametría a sus límites máximos, mientras que todo el sistema está diseñado para ofrecer resultados específicos de la industria basándose en técnicas de aprendizaje automático para tareas de análisis y post-procesamiento.

El software permite procesar imágenes de cámaras RGB (sistema que forma imágenes a través de rayos luminosos, ya sea emitiéndolos o recibiendo.) O multiespectrales (sistema que consiste básicamente en tomar imágenes usando una parte reducida del espectro de longitudes de onda que es capaz de detectar el sensor. Esto se consigue filtrando la luz incidente de forma que se deje pasar sólo la banda de interés).

Metashape es una herramienta perfecta para el procesamiento de imágenes aéreas.

Metashape es capaz de generar y clasificar nubes de puntos densas para, excepcionalmente, cálculos detallados de DSM/DTM (Digital Surface Models/ Digital Terrain Models) y exportación de orto mosaicos continuos de alta resolución, sin mencionar la reconstrucción de modelos poligonales precisos de objetos a gran escala.

11.1.1. Interfaz principal Agisoft Metashape

El Software Agisoft Metashape Professional se divide en cinco zonas de trabajo, las cuales son: barra de herramientas, barra de accesos rápidos, visualizador de flujo de trabajo, visualizador del modelo general, visualizador de archivos de trabajo (Imágenes) .

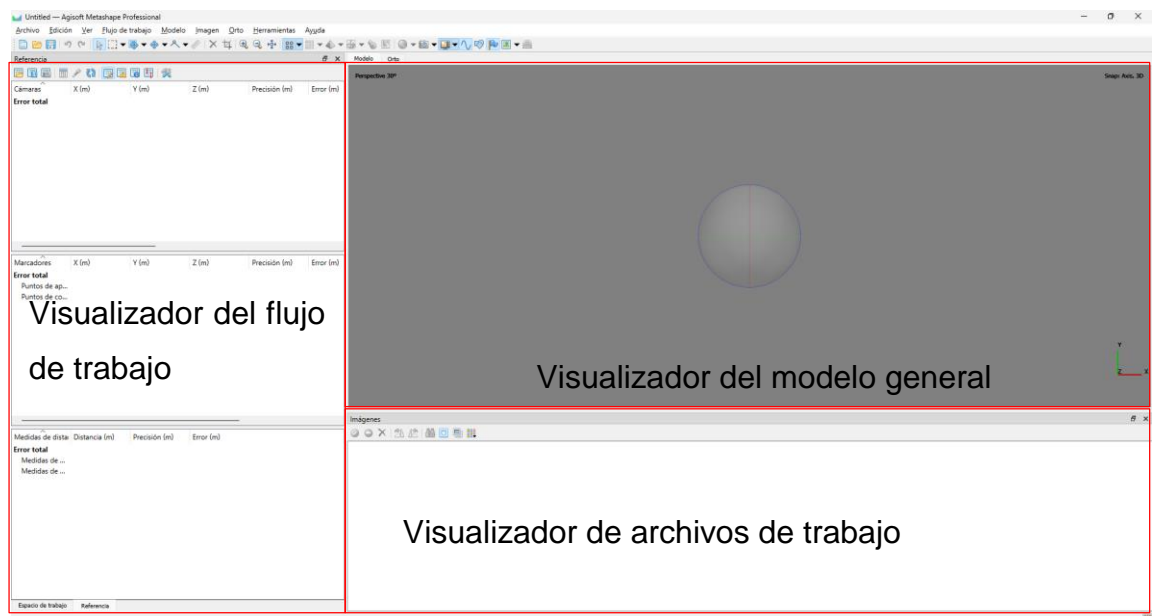


Figura 194 - Visualización de la interfaz principal de Agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración propia.

11.1.2. Barra de herramientas Agisoft Metashape.

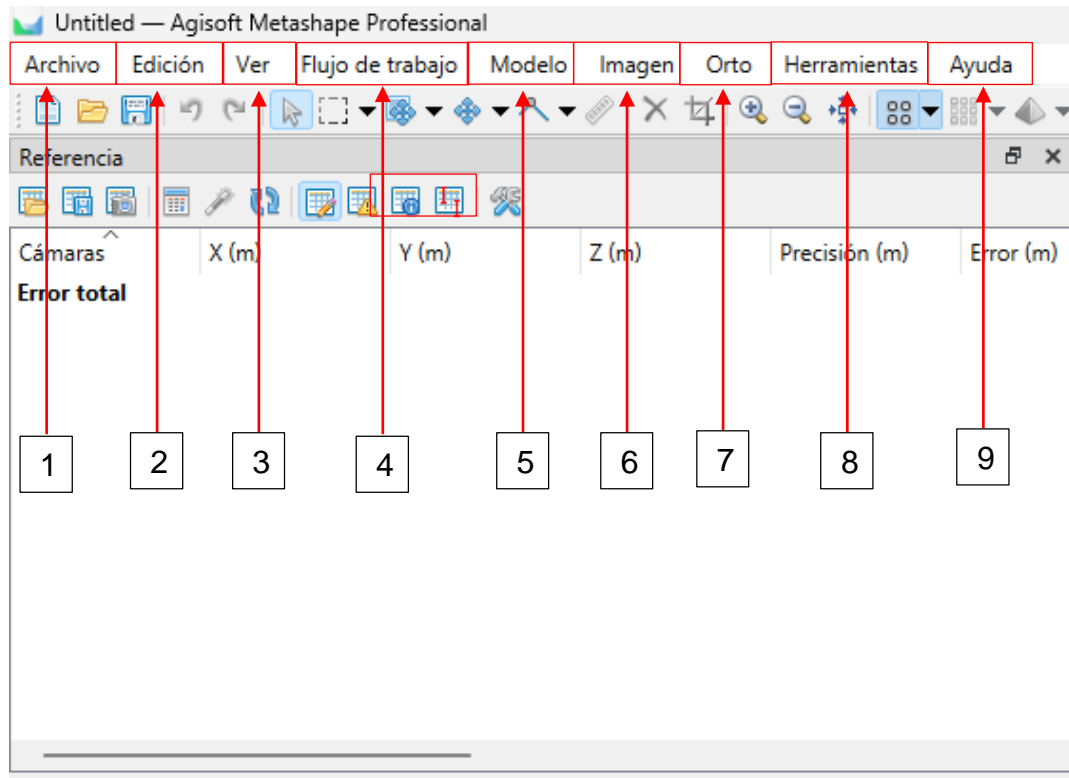


Figura 195 - Interfaz barra de herramientas Agisoft Metashape

Fuente: Elaboración propia.

- 1- Archivo: Permite crear nuevos archivos, cargar archivos existentes, guardar archivos y exportar productos como Ortomosaicos, MDE, entre otros.
- 2- Edición: Permite editar los procesos que se hayan realizado (atrás, adelante) y eliminar elementos seleccionados.
- 3- Ver: Permite visualizar los diferentes paneles con los que se va a trabajar, además de los modelos que se han creado.
- 4- Flujo de trabajo: Permite realizar todos los procesos de las imágenes en orden, esta herramienta va habilitando procesos nuevos a medida que se van generando.

- 5- Modelo: Brinda las formas de seleccionar, dibujar y medir, así como también las diferentes formas de vistas.
- 6- Imagen: Este campo brinda las diferentes herramientas disponibles para la imagen.
- 7- Orto: Brinda las diferentes herramientas de la Ortofoto.
- 8- Herramientas: Permite crear puntos de control, además brinda diferentes herramientas para la creación de nubes de puntos y creación de la malla, también permite importar y exportar archivos, calibrar la cámara y modificar parámetros de la interfaz (idioma, vistas predeterminadas... entre otras).
- 9- Ayuda: esta herramienta proporciona toda la información del software y permite activar el software.

11.1.3. Importación de Imágenes

Para iniciar el proceso de la información obtenida en campo iniciamos importando las imágenes del proyecto, para esto realizamos la siguiente serie de pasos.

Barra de Herramientas / Flujo de trabajo / Añadir fotos

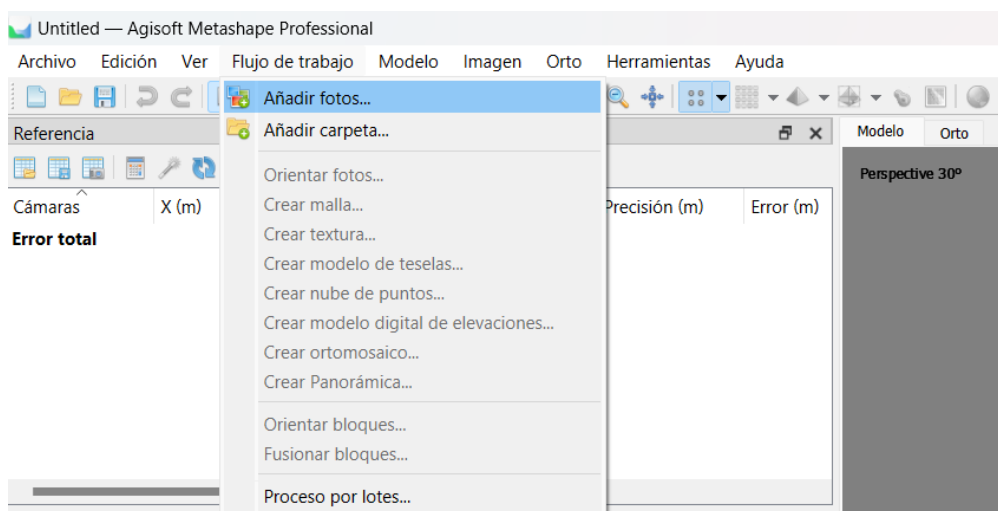


Figura 196 - Representación del proceso para añadir la base de datos fotográfica

Fuente: Elaboración propia.

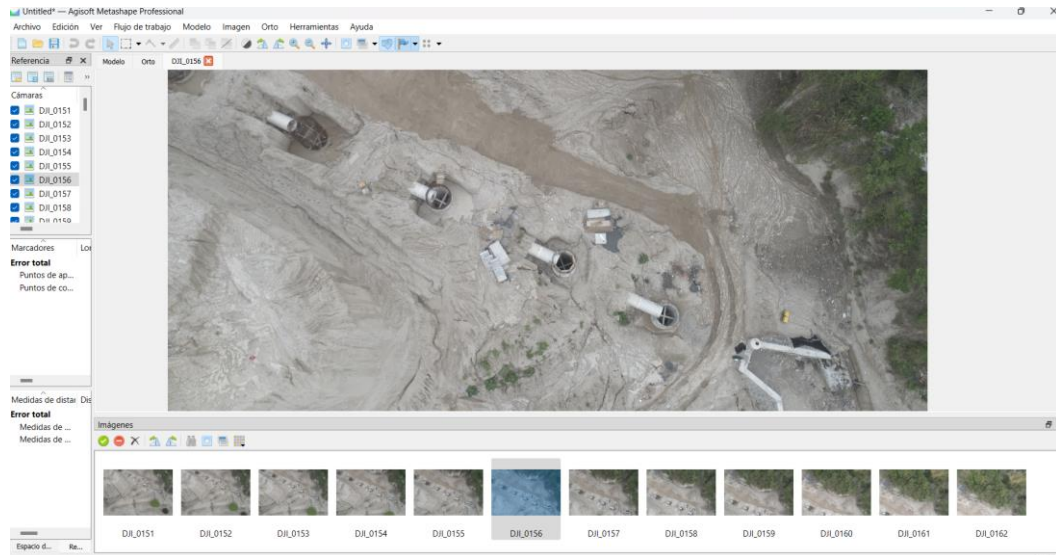


Figura 197 - Visualización de las fotografías importadas

Fuente: Elaboración Propia

11.1.4. Creación del sistema de coordenadas Agisoft Metashape

Para la creación del sistema de coordenadas dentro del programa Agisoft Metashape, procederemos a ingresar en el icono de Ajustes del sistema de referencia como se muestra en la Figura 198.

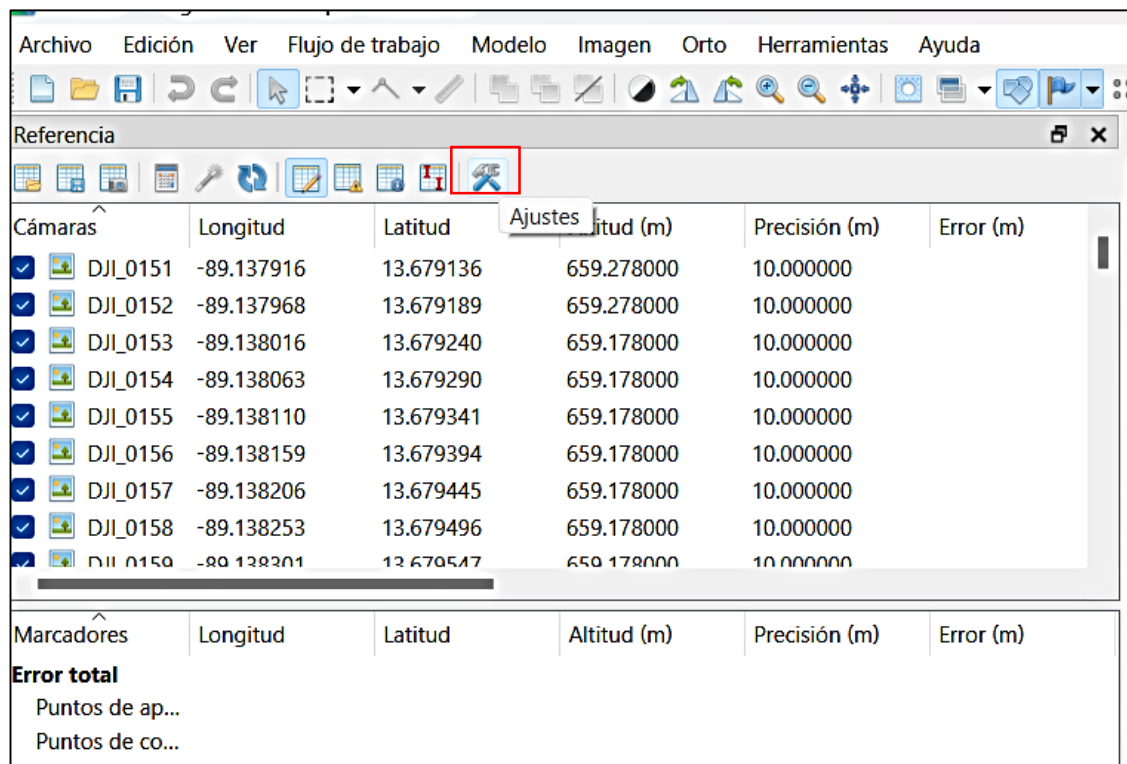


Figura 198 - Representación visual del acceso para el ajuste del sistema de referencias.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente nos encontramos con un cuadro de diálogos Figura 199 que nos muestra los diferentes sistemas de coordenadas preestablecidos por el programa, en nuestro caso se utilizara el sistema de coordenadas LAMBERT SIRGAS ES-07, el cual no se encuentra en la base de datos del programa y será necesario la creación del dicho sistema.

Ajustes del sistema de referencia

Sistema de coordenadas

WGS 84 (EPSG::4326)

Fotocentros

WGS 84 (EPSG::4326)

Referencia de marcador

WGS 84 (EPSG::4326)

Ángulos de rotación: Guiñada, cabeceo, alabeo

Precisión de medición

Precisión de fotocentro (m): 10

Precisión de rotaciones de cámara (deg): 10

Precisión de puntos de apoyo (m): 0.005

Precisión de distancias de escala (m): 0.001

Precisión de coordenadas de cámara

Precisión de marcadores (pix): 0.5

Precisión de puntos de paso (pix): 1

Otros ajustes

Distancia de captura (m):

Aceptar Cancelar

Figura 199 - Cuadro de diálogos del ajuste de sistema de referencia.

Fuente: Elaboración propia

Desplegamos la lista de los sistemas de coordenadas utilizados recientemente y seleccionamos la pestaña más, como se muestra en la Figura 200

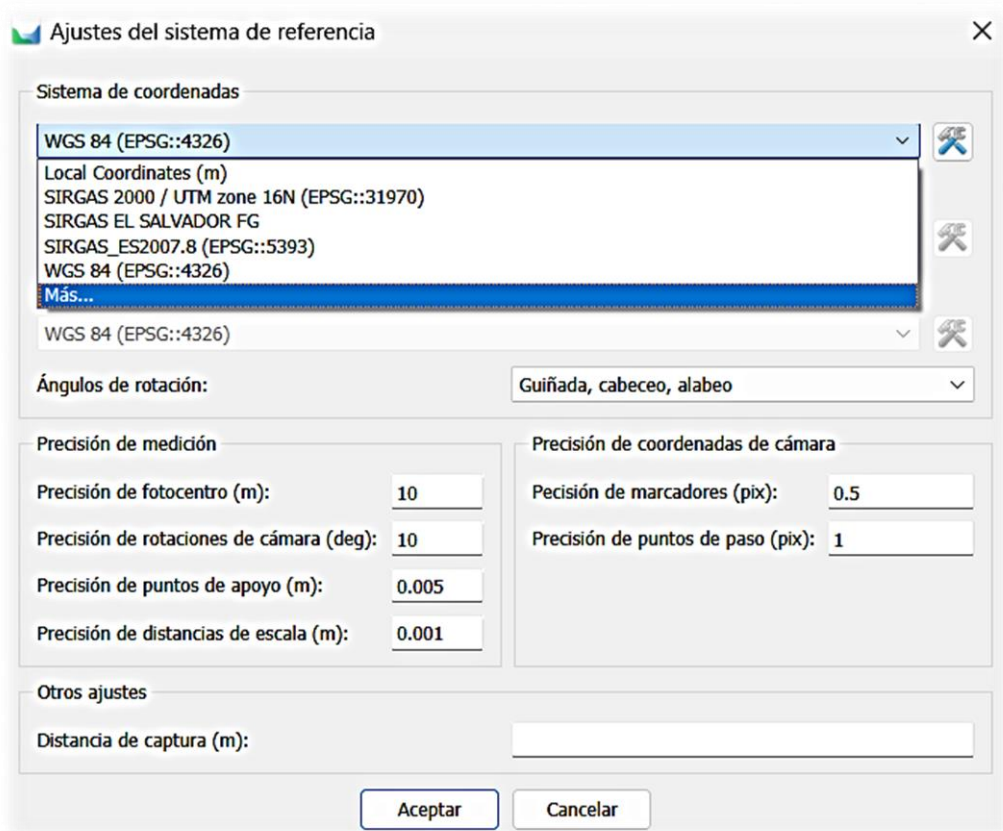


Figura 200 - Creación del sistema de coordenadas Lambert Sirgas El Salvador

Fuente: Elaboración Propia

Se desplegará una lista de los diferentes sistemas de referencia preestablecidos los cuales se clasifican de la manera mostrada en la Figura 201.

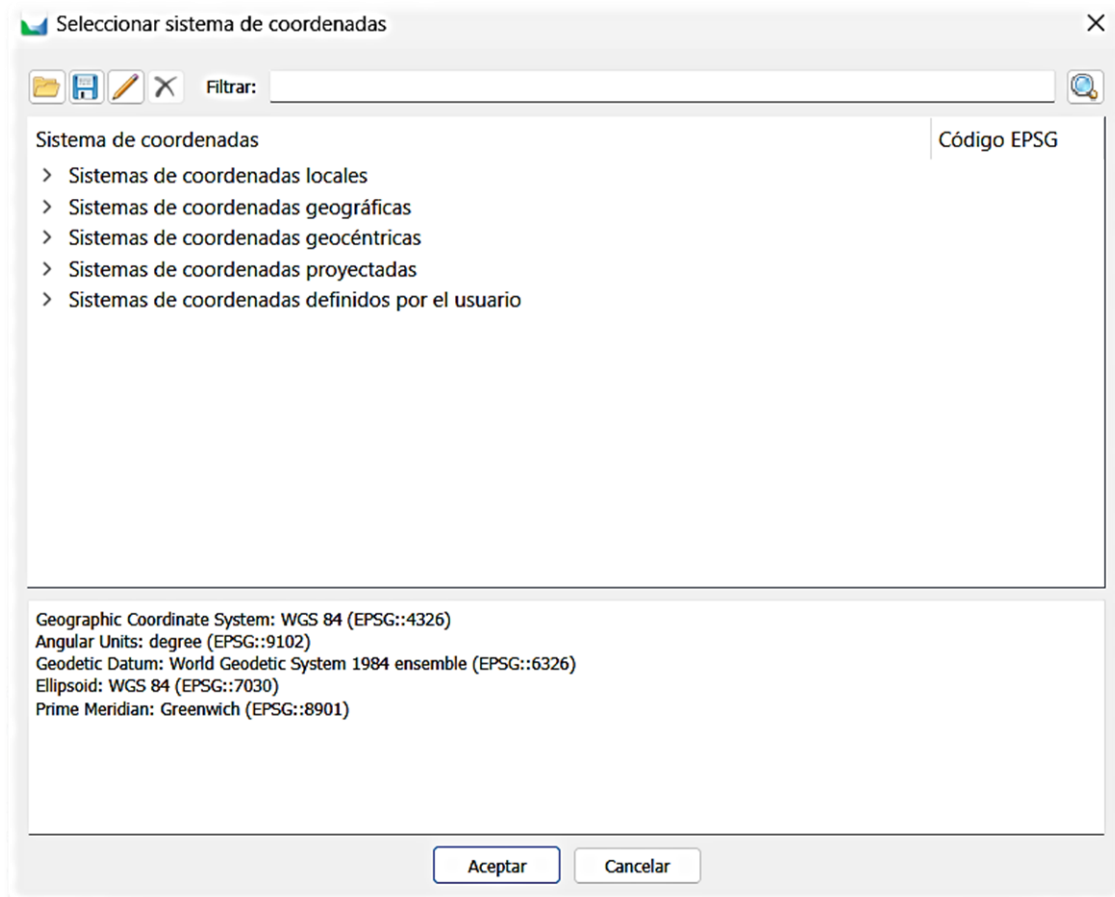


Figura 201 - Clasificación de los sistemas de coordenadas preestablecidos en Agisoft Metashape

Fuente: Elaboración Propia

Seleccionamos la clasificación del sistema de coordenadas definidos por el usuario como se muestra en Figura 202. luego desplegamos el cuadro de dialogo editar sistema de coordenadas, mostrándonos así las diferentes configuraciones a realizar para generar nuestro sistema de coordenadas ver Figura 203.

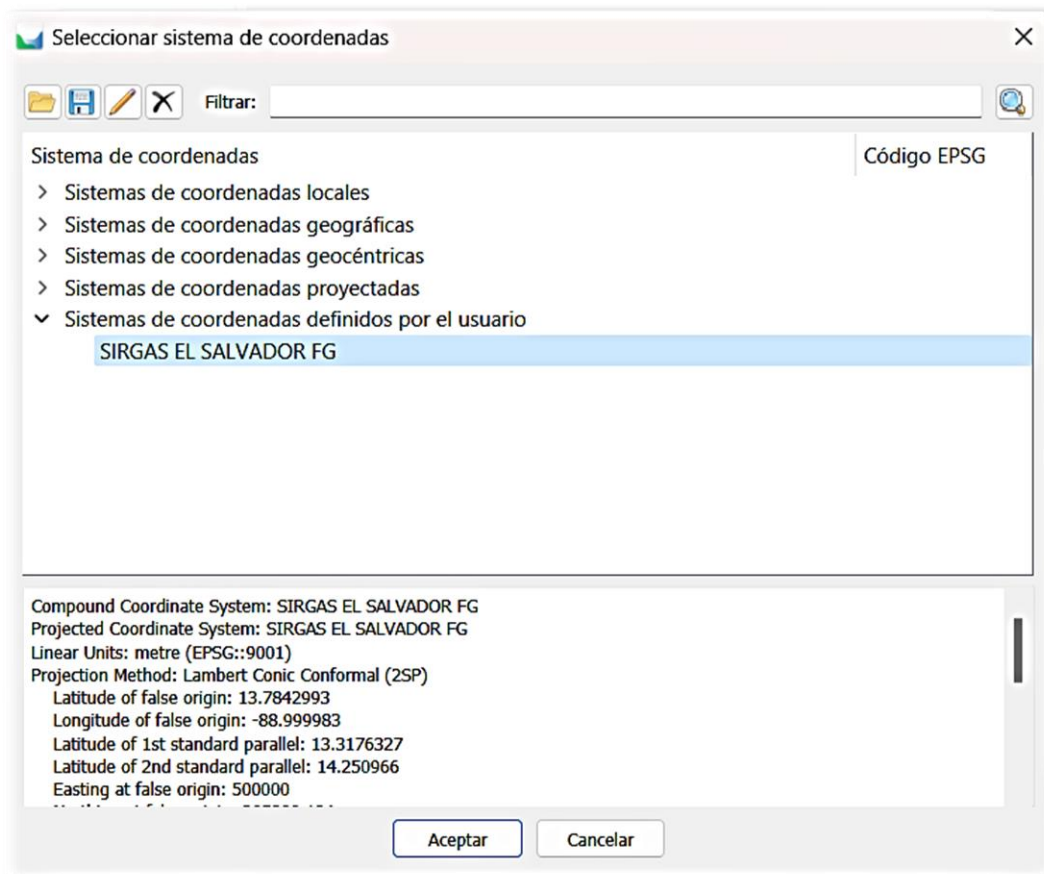


Figura 202 - Creación del sistema de coordenadas definidas por el usuario

Fuente: Elaboración propia

Editar sistema de coordenadas

Etiqueta: SIRGAS EL SALVADOR

SC geográficas: WGS 84 (EPSG::4326)

SC verticales: Personalizada

Proyección: Cónica conforme de Lambert (2SP)

Unidades lineales: metre

Parámetro	Valor
Latitude of origin	13.78429934
Central meridian	-88.99998297
Standard parallel 1	13.31763267
Standard parallel 2	14.25096601
False easting	500000

Aceptar Cancelar

Figura 203 - Cuadro de Dialogo para la edición del sistema de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia

Para la creación del sistema Lambert Sirgas El Salvador se etiquetará con el nombre “SIRGAS EL SALVADOR”, utilizaremos el Elipsoide WGS-84, Y una proyección cónica conformal de Lambert de dos paralelos utilizando los parámetros mostrados a continuación.

Elipsoide WGS-1984/GRS80

Semieje mayor $a = 6378137$ m

Semieje menor $b = 6356752.31414$ m

Achatamiento	$1/f = 298.257222101$
Excentricidad	$e2 = 0.0066943800229$

PAREMTROS DE LA PROYECCION (CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT)

Falso este	500,000.00 m
Falso norte	295809.184 m
Paralelo de origen	13.7842993400° N
Meridiano de Origen	88.9999829700° W
1.paralelo estándar	13.3176326733° N
2.paralelo estándar	14.2509660067° N

Para la edición del sistema de coordenadas verticales procedemos a cargar el modelo geoidal, que en nuestro caso Utilizaremos el modelo "ElSalvadorEGM08.ggf". siendo este una extensión admisible para el programa, el cual etiquetaremos como EGM08, y estableceremos el metro como unidades para esta magnitud Ver Figura 204, y Figura 205.

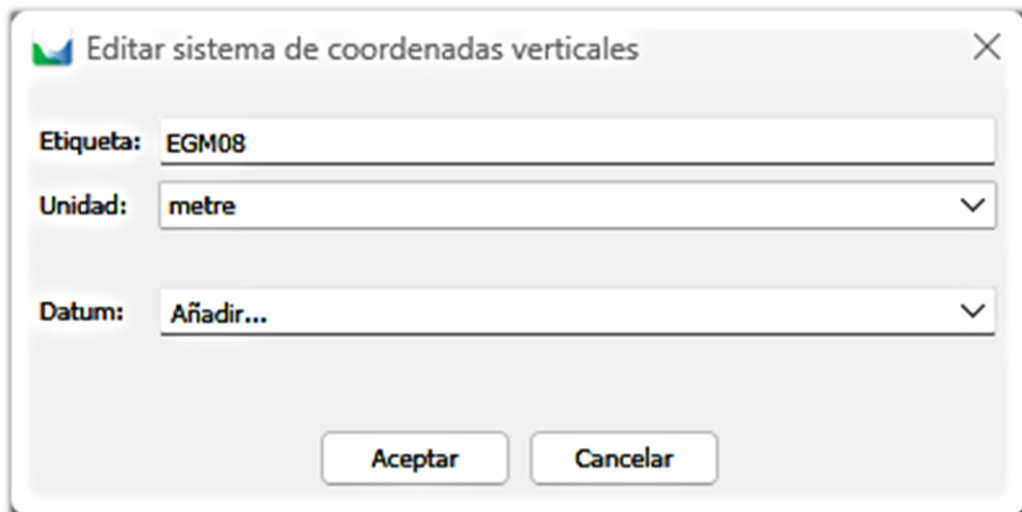


Figura 204 - Generación del datum vertical.

Fuente: Edición propia

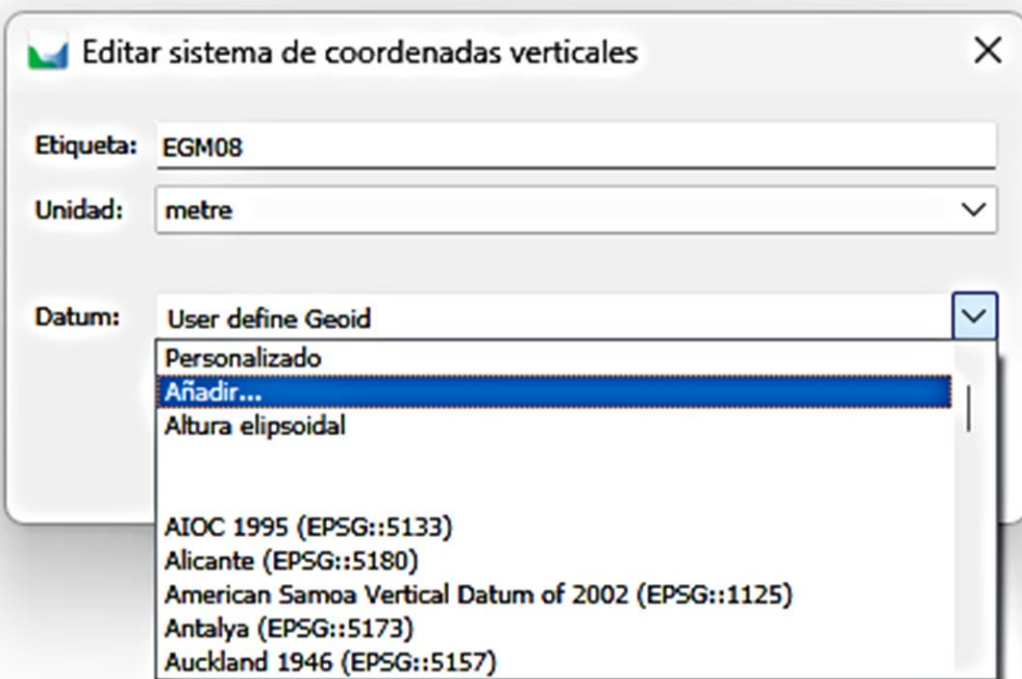


Figura 205 - Cuadro de dialogo para añadir archivo geoidal.

Fuente: Edición propia

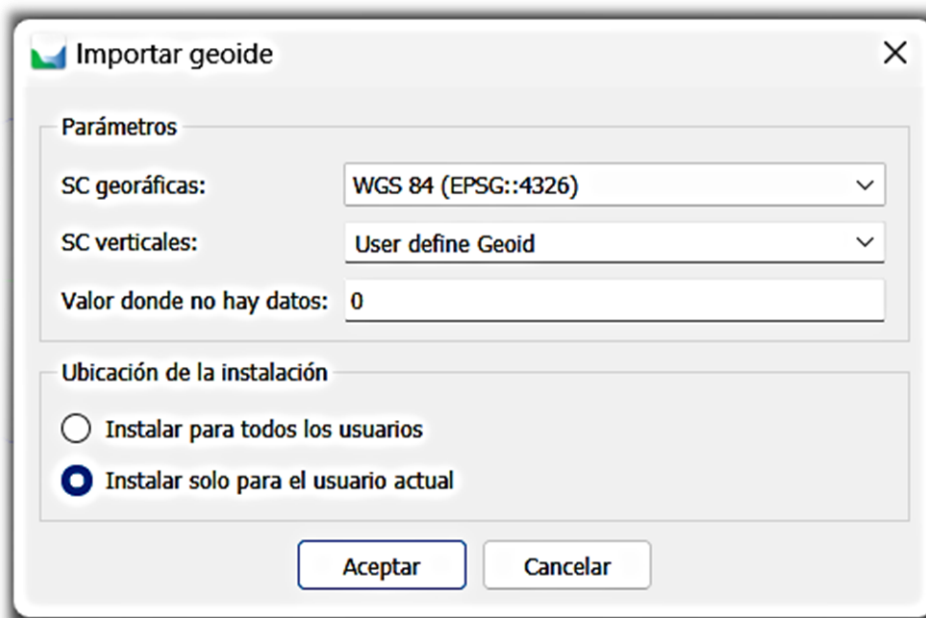


Figura 206 - Importación del archivo geoidal

Fuente: Edición propia

Dentro del cuadro de diálogos de importar geoides definimos el sistema de coordenadas verticales exportando el modelo geoidal mencionado anteriormente ver Figura 206. obteniendo como resultado la creación del sistema de coordenadas con todos los parámetros estipulados anteriormente.

Projection Method: Lambert Conic Conformal (2SP)
Latitude of false origin: 13.7842993
Longitude of false origin: -88.999983
Latitude of 1st standard parallel: 13.3176327
Latitude of 2nd standard parallel: 14.250966
Easting at false origin: 500000
Northing at false origin: 295809.184
Geographic Coordinate System: WGS 84 (EPSG::4326)
Angular Units: degree (EPSG::9102)
Geodetic Datum: World Geodetic System 1984 ensemble (EPSG::6326)
Ellipsoid: WGS 84 (EPSG::7030)
Prime Meridian: Greenwich (EPSG::8901)
Vertical Coordinate System: EGM08
Vertical Units: metre (EPSG::9001)
Vertical Datum: User define Geoid

Figura 207 - Parámetros del sistema de coordenadas LAMBERT SIRGAS ES07 Agisoft Metashape.

Fuente: Edición propia

Con el sistema de coordenadas LAMBERT SIRGAS ES07 generado dentro del programa, realizamos la transformación de coordenadas geodésicas WGS- 84 a coordenadas planas LAMBERT SIRGAS ES07, para ellos seleccionamos la opción convertir referencia y seleccionamos el sistema de coordenadas creado que etiquetamos como SIRGAS EL SALVADOR ver Figura 208, de esta forma ya podremos trabajar con el sistema de coordenadas Lambert Sirgas El Salvador.

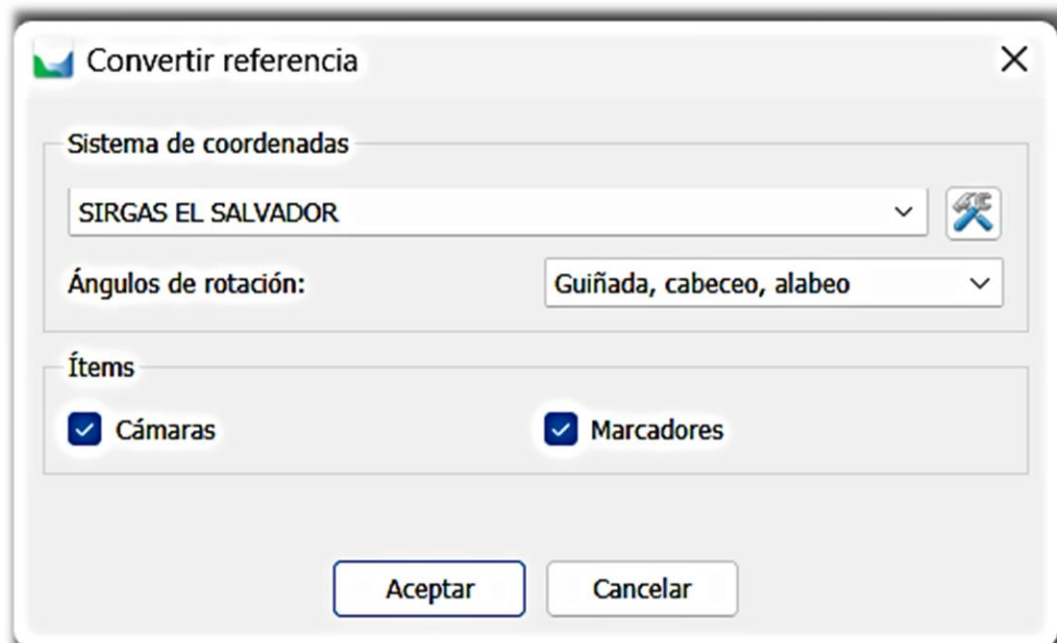


Figura 208 - Cuadro de diálogo para convertir referencia de trabajo.

Fuente: edición propia

11.1.5. Orientación de imágenes

El proceso de orientación de imágenes en el software Agisoft Metashape consiste en encontrar la posición de la cámara y orientación en cada foto para luego construir un modelo de nube de puntos densas. Para ello se realiza el siguiente algoritmo. En la barra de herramientas nos ubicamos en el flujo de trabajo desplegándose así una serie de opciones como se muestran en la Figura 209 dentro de las cuales se encuentra la opción para realizar la orientación de fotos en letras oscuras indicado que esta opción se puede ejecutar.

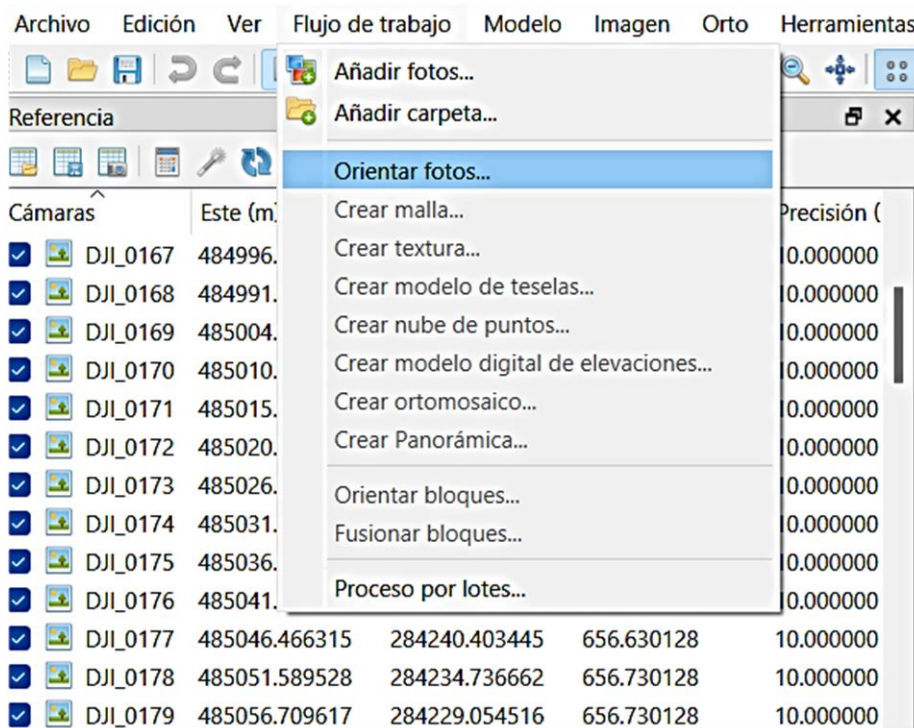


Figura 209 - Visualización del flujo de trabajo para la orientación de las fotografías

Fuente: Edición propia

Se abre inmediatamente un cuadro de dialogo en el cual se deben establecer los parámetros necesarios para obtener resultados de alta calidad y eficiencia en el procesamiento de la información, los cuales dependen en gran medida de las propiedades que tengamos en nuestro equipo utilizado para procesar la información. En nuestro procesamiento estableceremos los parámetros indicados en la Figura 210 obteniendo el rendimiento mostrado en la Figura 211 y Figura 212, tomando en cuenta una cantidad de 374 imágenes a orientar, con un tiempo de duración de 25 minutos.

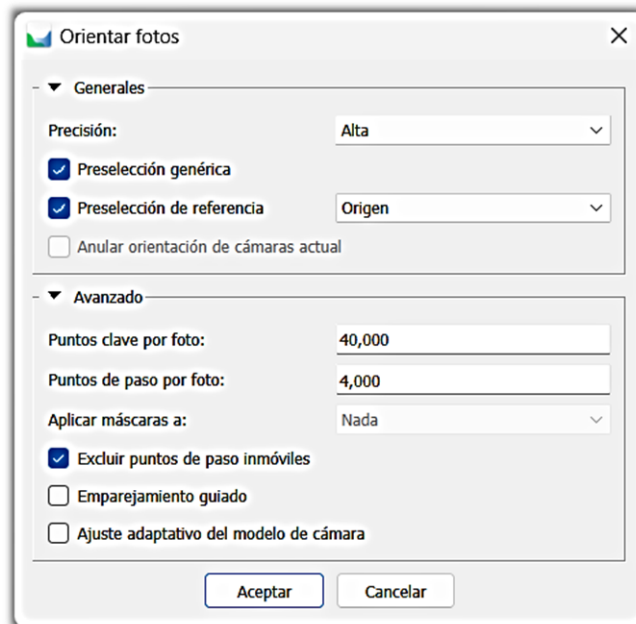


Figura 210 - Parámetros de configuración de orientación de fotografías

Fuente: Edición propia

Composición de memoria			
En uso (comprimido)	Disponibles	Velocidad:	4800 MHz
11.5 GB (965 MB)	4.1 GB	Ranuras usadas:	2 de 2
Confirmada	En caché	Factor de forma:	SODIMM
17.6/21.2 GB	3.5 GB	Reservada para hardware:	378 MB
Bloque paginado	Bloque no paginado		
703 MB	894 MB		

Figura 211 - Rendimiento de la memoria de acceso aleatorio (RAM) en la orientación de fotografías.

Fuente: Edición propia

60 segundos			
Uso	Velocidad		Velocidad de base: 2.30 GHz
35%	2.97 GHz		Sockets: 1
Procesos	Subprocesos	Identificadores	Núcleos: 10
340	5391	165673	Procesadores lógicos: 16
Tiempo activo			Virtualización: Habilitado
1:01:32:44			Caché L1: 864 kB
			Caché L2: 9.5 MB
			Caché L3: 24.0 MB

Figura 212 - Rendimiento de la unidad central de procesamiento.

Fuente: Edición propia

Al finalizar el proceso de orientación de las imágenes se obtiene como resultado una nube de puntos con las fotografías alineadas y orientadas con la precisión del GPS del DRON.

El consumo de memoria durante la alineación de fotos depende principalmente de la cantidad de fotos alineadas y prácticamente no depende de la resolución de fotos individuales.



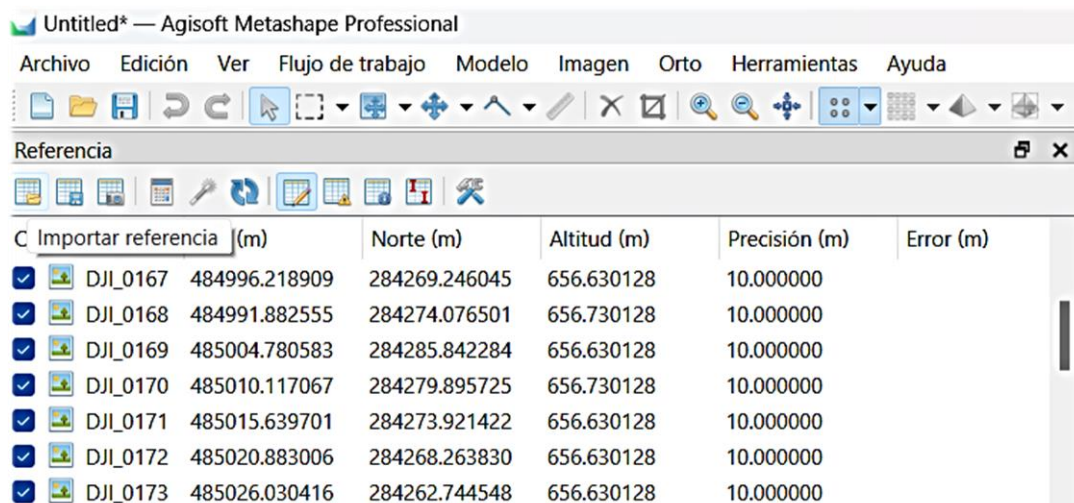
Figura 213 - Vista en planta nube de puntos de enlace

Fuente: Edición propia

11.1.6. importación de puntos de control

Para realizar la georreferenciación de las imágenes en el software Agisoft Metashape se necesitará cargar puntos de control, los cuales determinan la coordenada exacta de la imagen tomada en campo, y lograr una precisa Georreferenciación.

Para ingresar los puntos de control al software se selecciona la opción importar referencia tal como se muestra en la Figura 214 se procede a cargar los puntos de control en un archivo de extensión “.txt”



The screenshot shows the 'Referencia' window in Agisoft Metashape Professional. The window title is 'Referencia' and it contains a table with the following columns: 'C', 'Importar referencia (m)', 'Norte (m)', 'Altitud (m)', 'Precisión (m)', and 'Error (m)'. The table lists seven control points, each with a checked checkbox in the 'C' column and a small image icon in the 'Importar referencia (m)' column. The data for each point is as follows:

C	Importar referencia (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0167 484996.218909	284269.246045	656.630128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0168 484991.882555	284274.076501	656.730128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0169 485004.780583	284285.842284	656.630128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0170 485010.117067	284279.895725	656.730128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0171 485015.639701	284273.921422	656.630128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0172 485020.883006	284268.263830	656.630128	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0173 485026.030416	284262.744548	656.630128	10.000000	

Figura 214 - Importación de puntos de control

Fuente: edición propia

Se realiza la verificación de los parámetros del archivo Txt, tales como el sistema de coordenadas, la delimitación de elementos y la referencia de las columnas tal como es mostrado en la Figura 215.

Importar desde archivo de texto

Sistema de coordenadas: SIRGAS ES-07 FIDEL

Ángulos de rotación: Guiñada, cabeceo, alabeo

Ignorar etiquetas Umbral (m): 0.1

Caracter Separador:

Tabulador

Punto y coma

Coma

Espacio

Otro:

Combinar separadores consecutivos

Columnas:

Etiqueta: 1 Precisión Rotación Precisión

Este: 3 9 Guiñada(Yaw): 5 9

Norte: 2 8 Cabeceo(Pitch): 6 9

Altitud: 4 8 Alabeo(Roll): 7 9

Marca de habilitación: 10

Comenzar a importar en la fila: 1

Ítems: Todos

Vista previa de las primeras 20 líneas:

Id	Nombre del marcador o	Norte	Este	Altitud	Guiñada(Yaw)	Cabeceo(Pitch)	Alabeo
1	1	284183.055	485033.213	629.849			
2	2	284149.084	484982.031	642.436			
3	3	284154.424	484924.905	648.412			
4	4	284201.280	484909.646	646.565			
5	5	284220.404	484990.264	626.362			

Aceptar Cancelar

Figura 215 - Configuración de parámetros para puntos de control

Fuente: edición propia

Con la base de datos de los puntos de control cargados en el software con su respectivo sistema de referencias, se procede a ubicar los puntos de control sobre las diferentes imágenes correspondientes.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)
<input checked="" type="checkbox"/> 1	485033.213000	284183.055000	629.849000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 2	484982.031000	284149.084000	642.436000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 3	484924.905000	284154.424000	648.412000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 4	484909.646000	284201.280000	646.565000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 5	484990.264000	284220.404000	626.362000	0.005000

Figura 216 - Visualización de puntos de control

Fuente: edición propia

Para ubicar los puntos de control sobre las imágenes correspondientes se debe realizar el filtro de imagen, utilizando únicamente las que reflejan la ubicación de los puntos de control establecidos en campo. para ello seleccionamos la opción filtrar fotos por marcadores dando clic derecho sobre los marcadores mostrados en la visualización de flujo de trabajo, ver Figura 217

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)
<input checked="" type="checkbox"/> 1	485033.213000	284183.055000	629.849000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 2	484982.031000	284149.084000	642.436000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 3	484924.905000	284154.424000	648.412000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 4	484909.646000	284201.280000	646.565000	0.005000
<input checked="" type="checkbox"/> 5	484990.264000	284220.404000	626.362000	0.005000

	Añadir marcador
	Crear medida de distancia
	Habilitar marcadores
	Deshabilitar Marcadores
	Mover marcadores
	Eliminar marcadores
	Eliminar proyecciones
	Filtrar fotos por marcadores
	Invertir selección
	Renombrar...
	Mostrar información...
	Marcar
	Desmarcar
	Modificar...
	Borrar...

Figura 217 - Filtración de fotos por marcador

Fuente: edición propia

Posteriormente a realizar el filtro de las imágenes procedemos a mover las banderas mostradas en el modelo general; dentro de la franela ubicada en la imagen. el software reconoce las imágenes que posiblemente pueden tener el mismo punto de control y las marca con una figura color gris como lo muestra la Figura 218

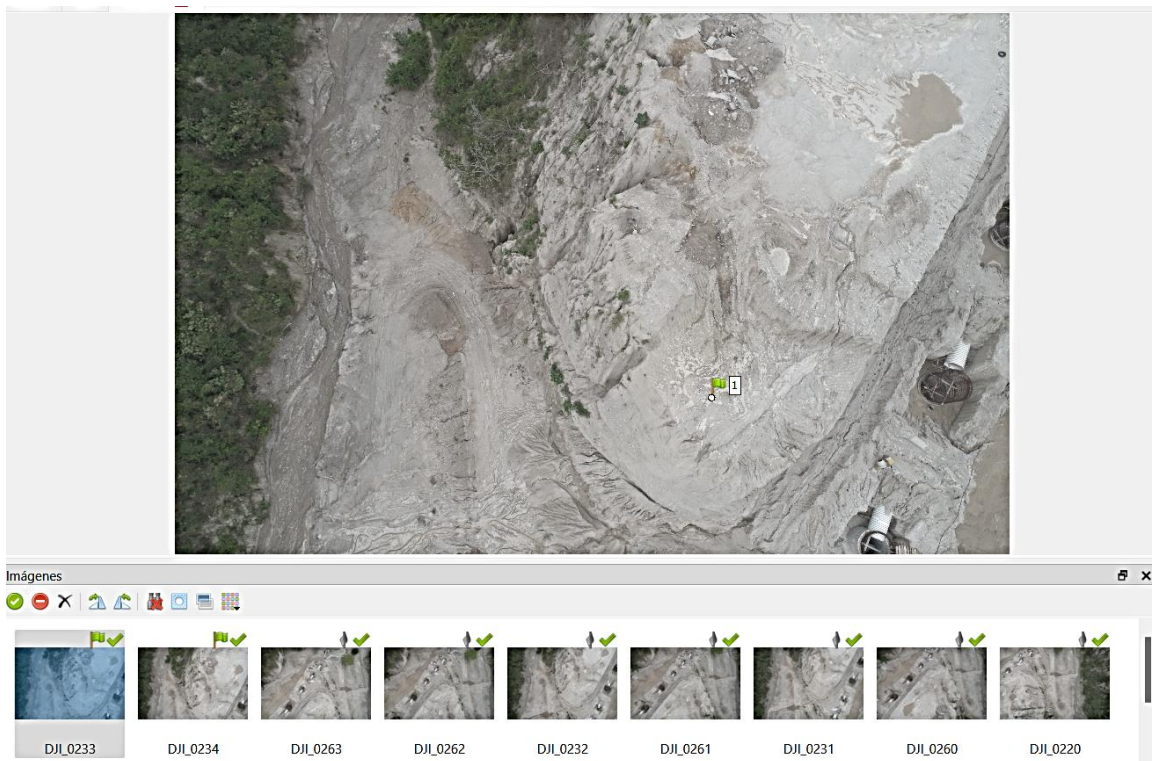


Figura 218 - Ubicación de puntos de control en imágenes filtradas

Fuente: edición propia

Después de tener todos los puntos de control ubicados debe dirigirse a la ventana de referencia, seleccionar todas las cámaras. Para luego seleccionar el botón Optimizar cámaras.

11.1.7. Generación de nube de puntos densa

Teniendo georreferenciado y optimizado el proyecto, el siguiente paso a realizar es la nube de puntos densas. para realizar este cálculo se dirige a la barra de herramientas y accedemos a la función flujo de trabajo dentro del cual podemos observar que se nos ha habilitado la función crear nube de puntos densa, como nos indica la siguiente Imagen.

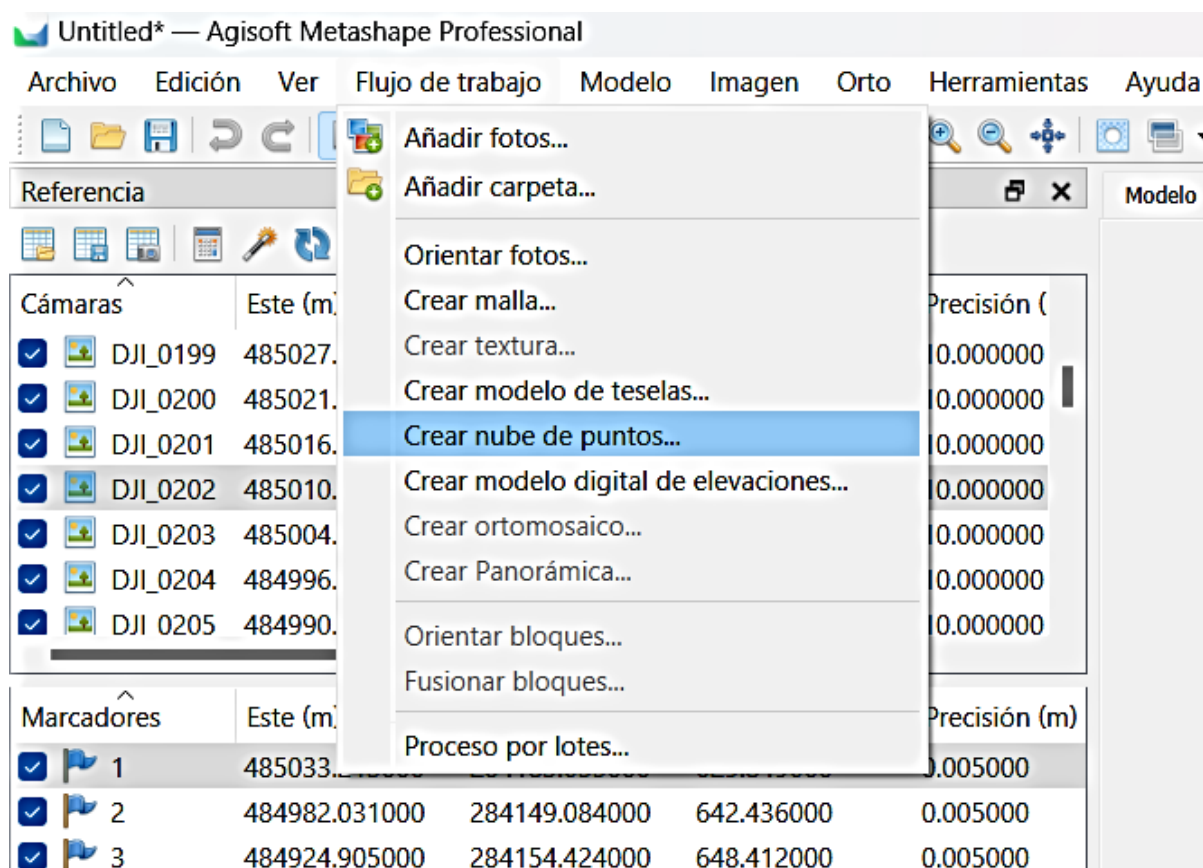


Figura 219 - Cuadro de dialogo para la generación de nube de puntos densas

Fuente: edición propia

Similar al proceso de alineación de fotos, el software solicita la calidad con la que se desean procesar la información. Es importante tener en cuenta que los procesos son realizados por la PC y sus componentes y no en el software. Dado que la calidad del producto depende del filtrado de profundidad que realice el software, se puede desplegar un campo en el cual puede elegirse entre las siguientes opciones: Desactivado, Leve, Moderado o Agresivo.

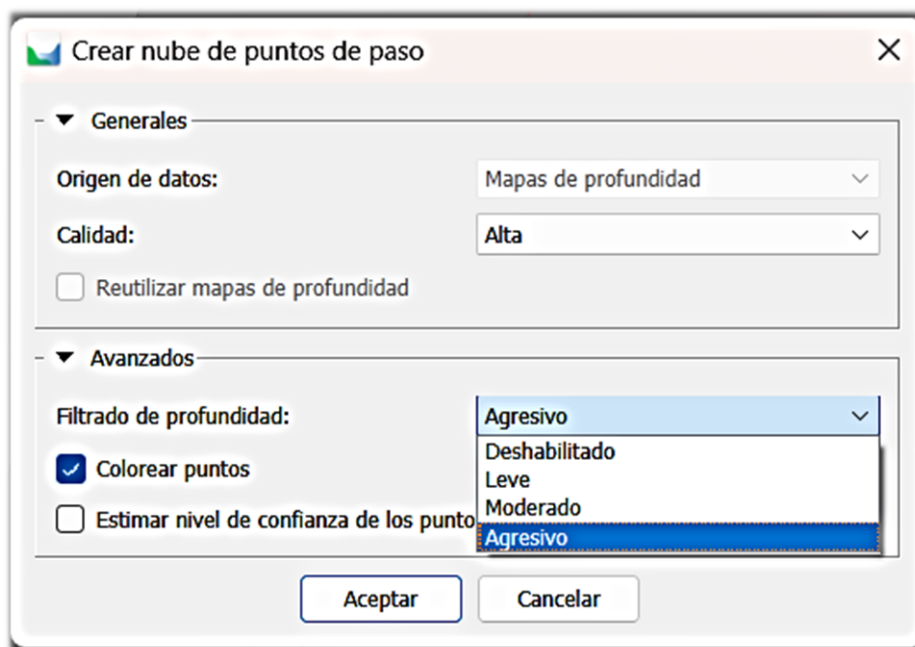


Figura 220 - Definición de calidad y filtrado de profundidad para la nube de puntos densas

Fuente: edición propia

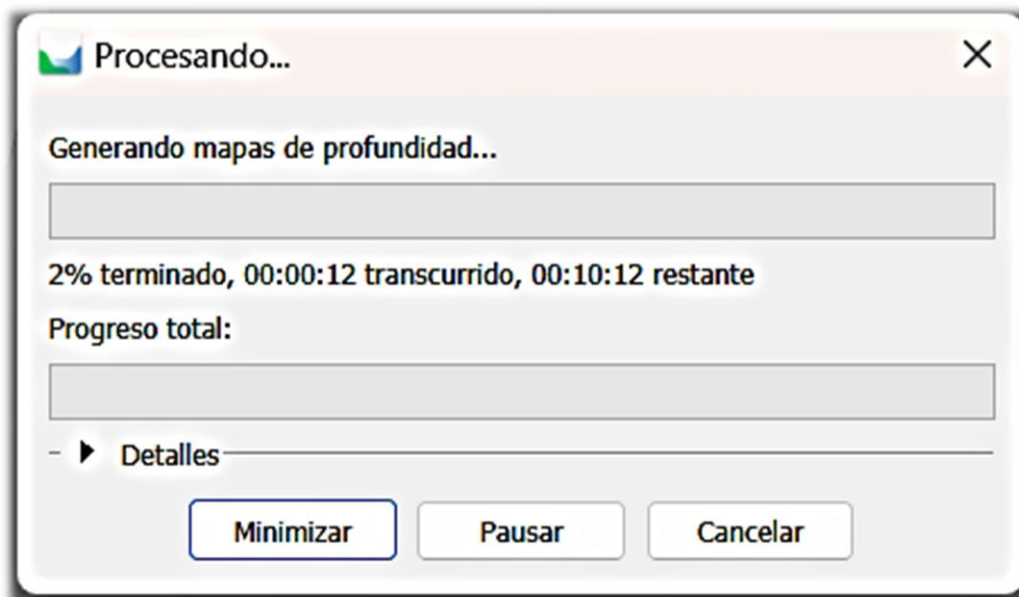


Figura 221 - Procesamiento de nube de puntos densas

Fuente: edición propia

Composición de memoria



En uso (comprimido)	Disponibile	Velocidad:	4800 MHz
13.1 GB (386 MB)	2.5 GB	Ranuras usadas:	2 de 2
Confirmada	En caché	Factor de forma:	SODIMM
21.9/25.2 GB	2.5 GB	Reservada para hardware:	378 MB
Bloque paginado	Bloque no paginado		
652 MB	901 MB		

Figura 222 - Rendimiento de la memoria de acceso aleatorio (RAM) en la generación de nube de puntos

Fuente: edición propia

60 segundos

Uso	Velocidad		Velocidad de base:	2.30 GHz
100%	2.72 GHz		Sockets:	1
Procesos	Subprocesos	Identificadores	Núcleos:	10
337	5380	168657	Procesadores lógicos:	16
Tiempo activo			Virtualización:	Habilitado
1:03:25:39			Caché L1:	864 kB
			Caché L2:	9.5 MB
			Caché L3:	24.0 MB

Figura 223 - Rendimiento de la unidad central de procesamiento.

Fuente: edición propia



Figura 224 - Vista frontal nube de puntos

Fuente: Elaboración propia

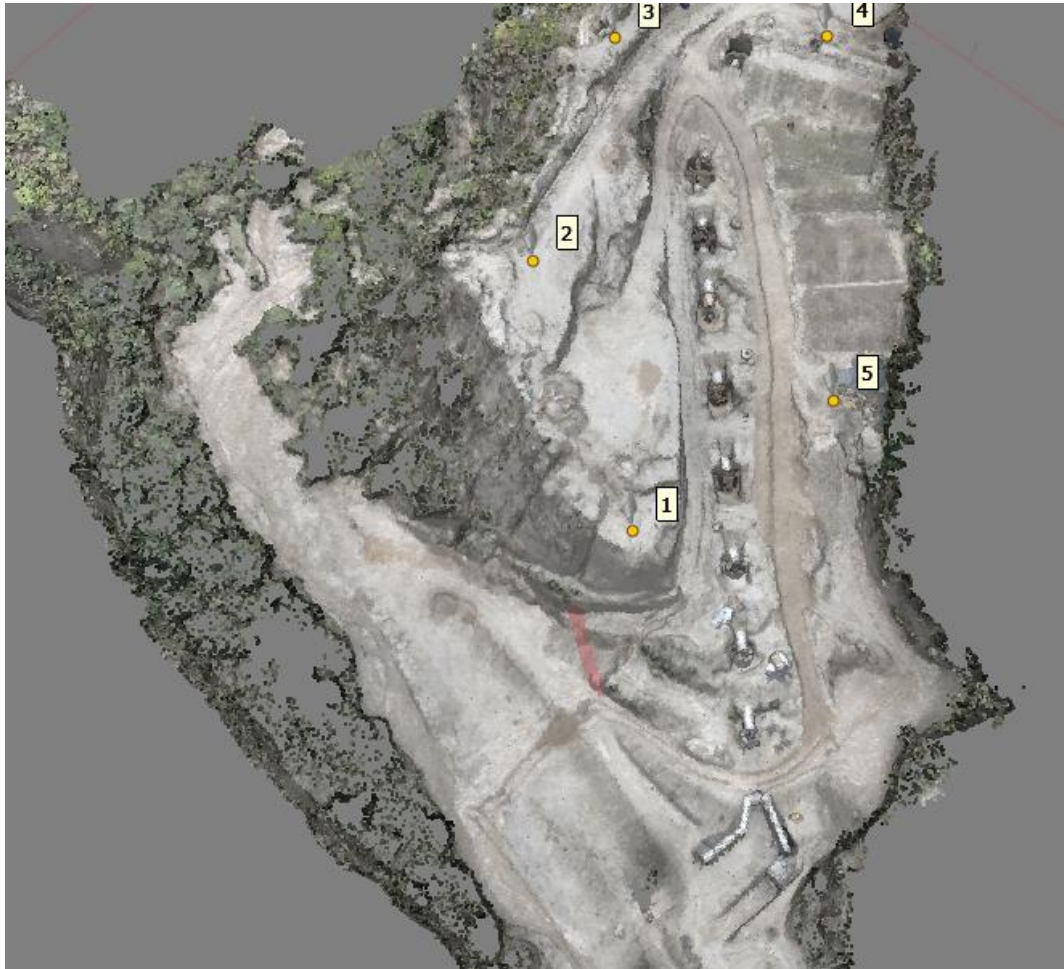


Figura 225 - Vista en planta nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

11.1.8. Creación de malla

La generación de la malla en el software Agisoft Metashape se procederá a definir los parámetros que permitirán tener resultados precisos y eficientes, sirviendo de base para otorgar una textura al modelo. Para la generación de la malla iremos a la barra de herramientas y seleccionaremos la opción Flujo de

trabajo Figura 226. para luego seleccionar la opción creación de mallas la cual desplegara un cuadro de dialogo donde podremos establecer los parámetros para la generación de la malla. Para ello utilizaremos la nube de puntos densa creada anteriormente y un número de caras altas. Ver Figura 227. Obteniendo resultados mostrados en la

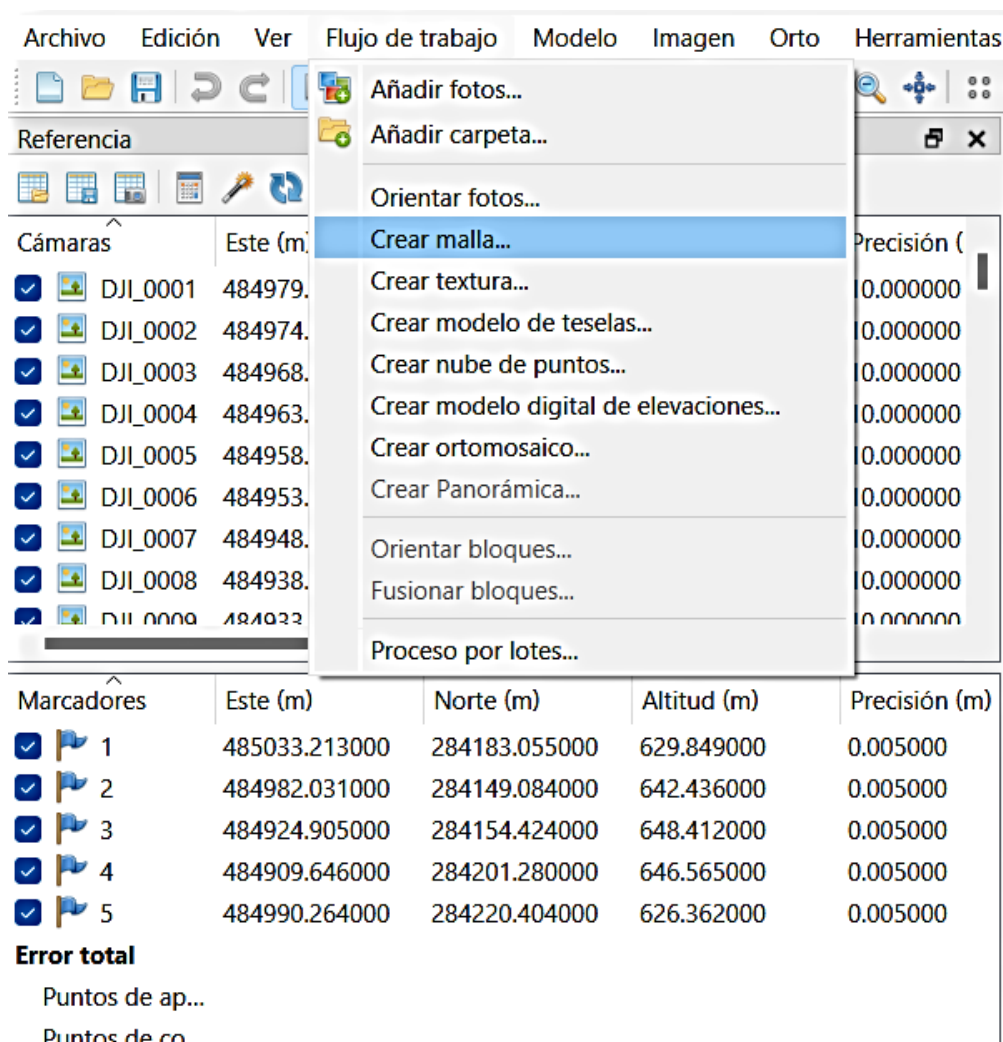


Figura 226 - Creación de malla

Fuente: elaboración propia

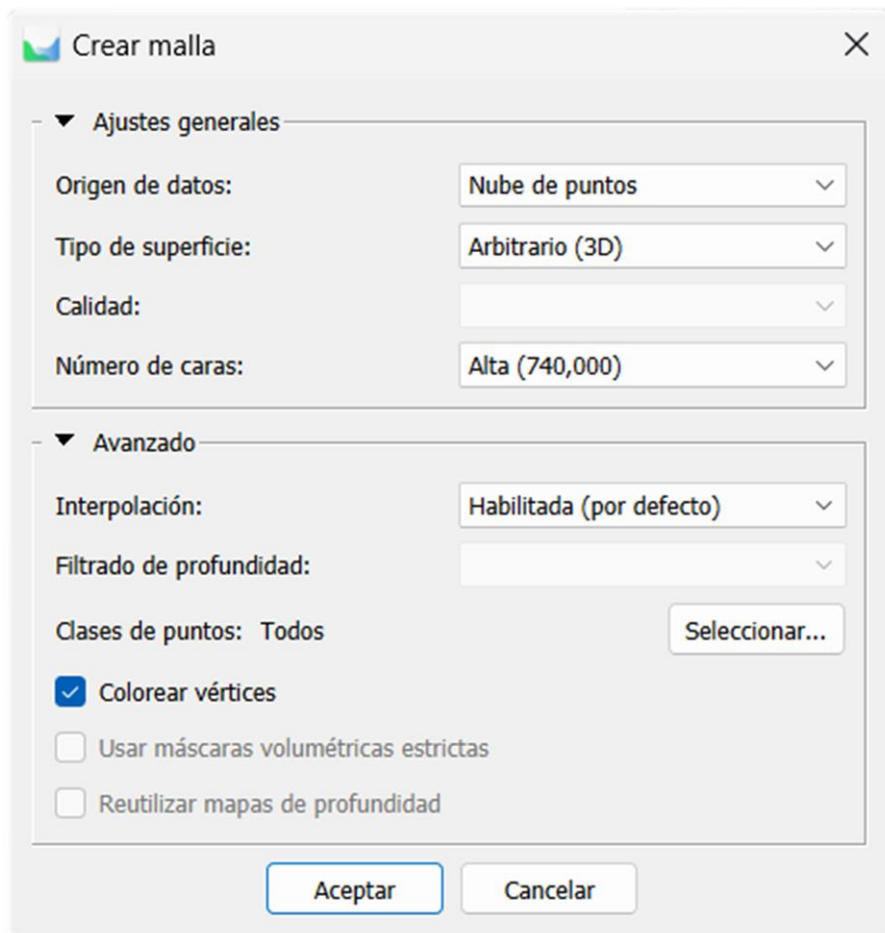


Figura 227 - Cuadro de diálogo para definir parámetros de generación de malla

Fuente: elaboración propia



Figura 228 - Vista en perfil de malla generada

Fuente: elaboración propia

11.1.9. creación del modelo digital de elevaciones (MDE)

el modelo digital de elevaciones es uno de los resultados de mayor interés para nuestro análisis, ya que a partir de esta imagen ráster es posible generar modelos digitales del terreno, cálculo de curvas de nivel, cálculo de volumen siendo este uno de los objetivos de nuestra investigación.

Para la creación del modelo digital de elevación, como en los procesos anteriores nos vamos a flujo de trabajo Como se muestra en la Figura 229, luego seleccionamos la opción crear modelo digital de elevaciones, abriendo el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 230 y configurando los parámetros tal como se muestran.

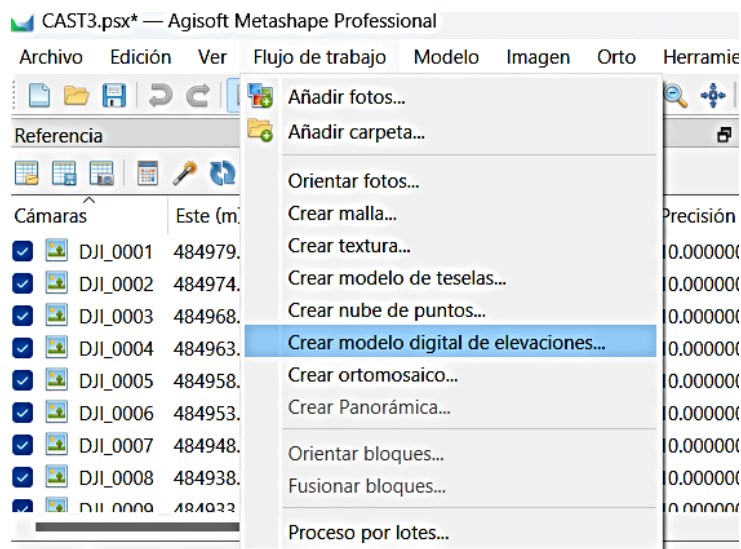


Figura 229 Creación del modelo digital de elevaciones

Fuente: Elaboración propia

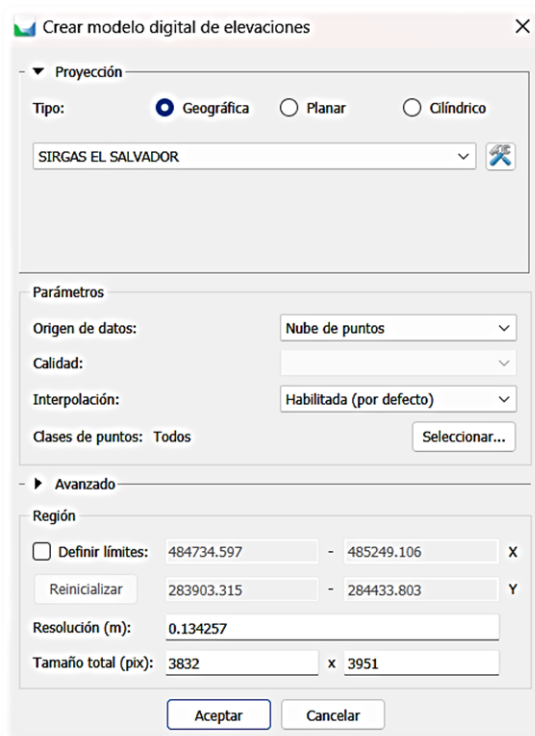


Figura 230 - Cuadro de diálogos configuración cálculo del modelo digital de elevaciones

Fuente: Elaboración propia

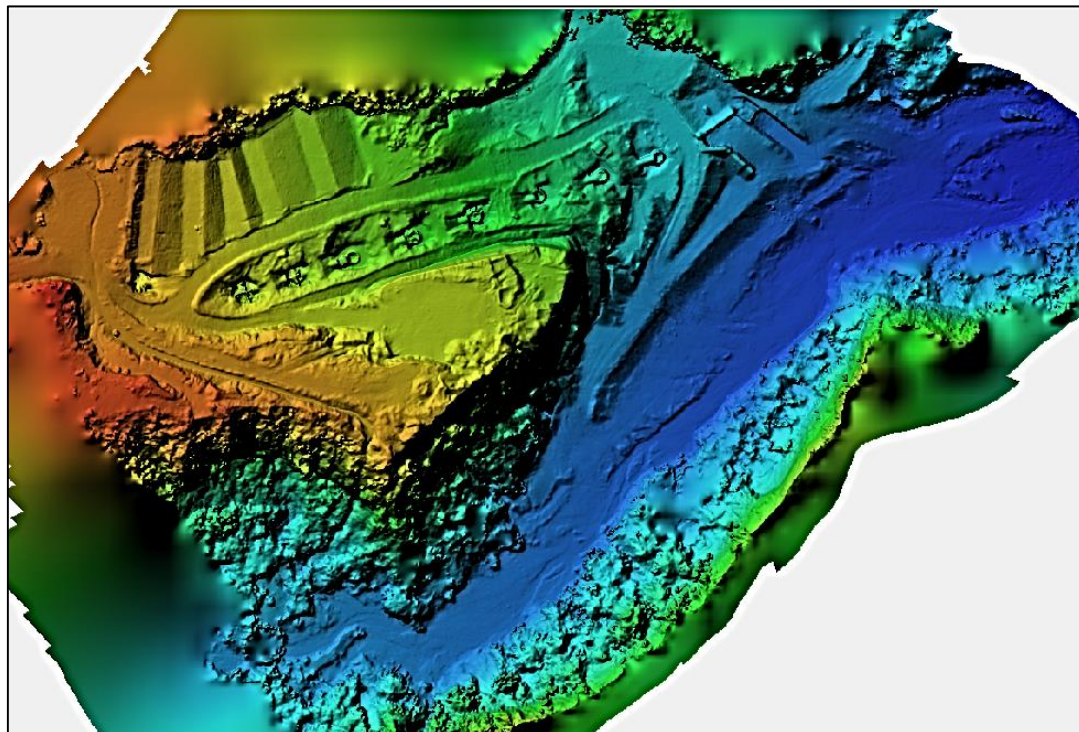


Figura 231 - Resultados del modelo digital de elevaciones vista en planta

Fuente: Elaboración propia

11.1.10. Creación del Ortomosáico

El Ortomosáico es un producto de imagen georreferenciado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes en el que la distorsión geométrica se ha corregido y orto-rectificado.

Para la generación del ortomosáico nos dirigimos a la barra de herramientas dentro de flujo de trabajo seleccionamos la opción de creación de ortomosáicos ver Figura 232, el cual nos lleva a un cuadro de dialogo donde definimos los parámetros tal como se muestra en la Figura 233.

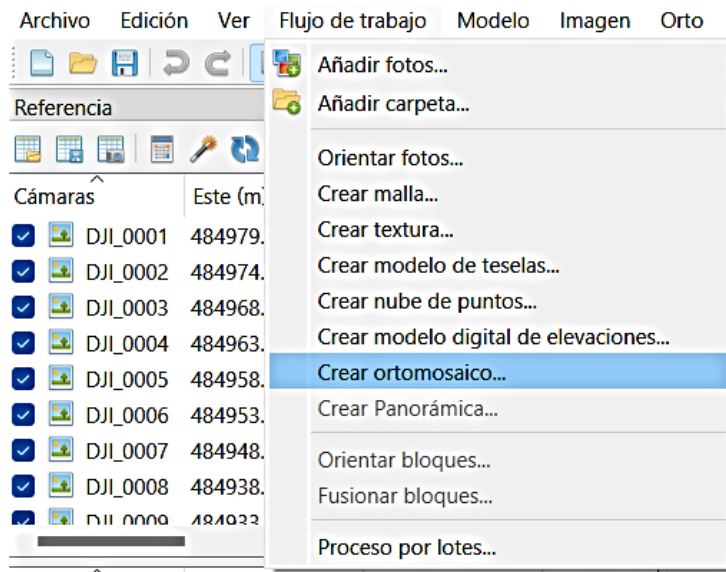


Figura 232 - Creación del ortomosaico.

Fuente: Elaboración propia

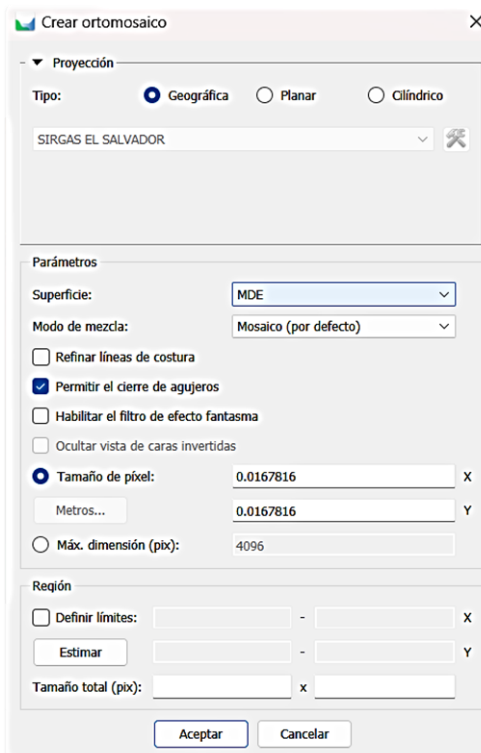


Figura 233 - Cuadro de dialogo para la configuración de parámetros para creación del ortomosaico

Fuente: Elaboración propia



Figura 234 - Vista de ortomosaico generado en Agisoft Metashape.

Fuente: elaboración propia

Agisoft Metashape permite exportar cualquier proceso que se desee. Para ello debe dirigirse al *Espacio de trabajo*, dar clic derecho al resultado de procesamiento deseado y seleccionar la opción *Exportar*.

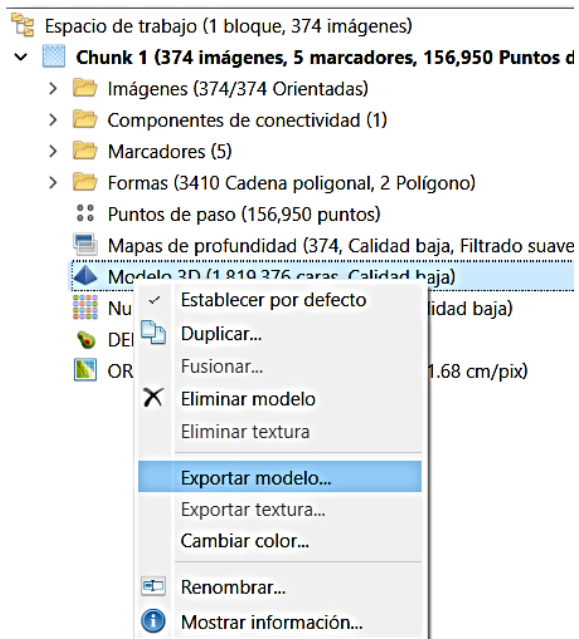


Figura 235 - Exportación del archivo de malla generado

Fuente: Elaboración propia

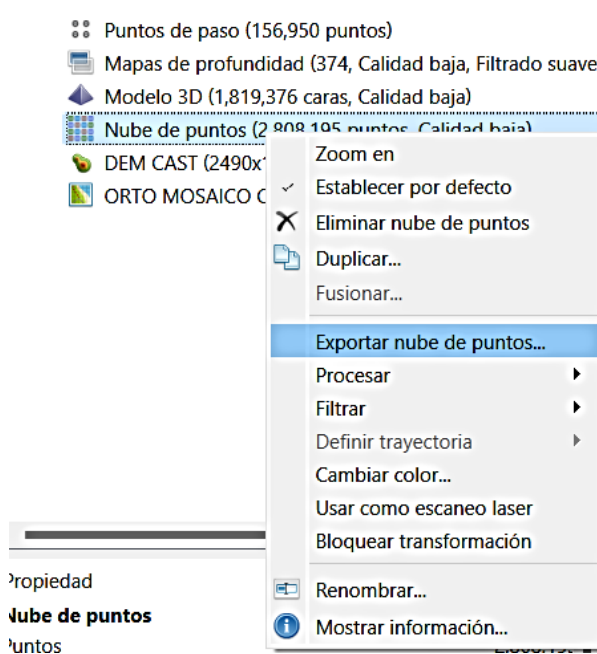


Figura 236 - Exportación de nube de puntos generado

Fuente: Elaboración propia

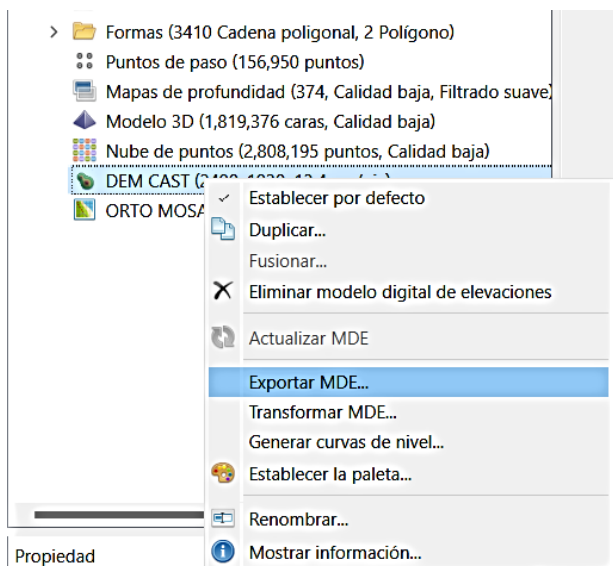


Figura 237 Exportación de modelo digital de elevación

Fuente: Elaboración propia

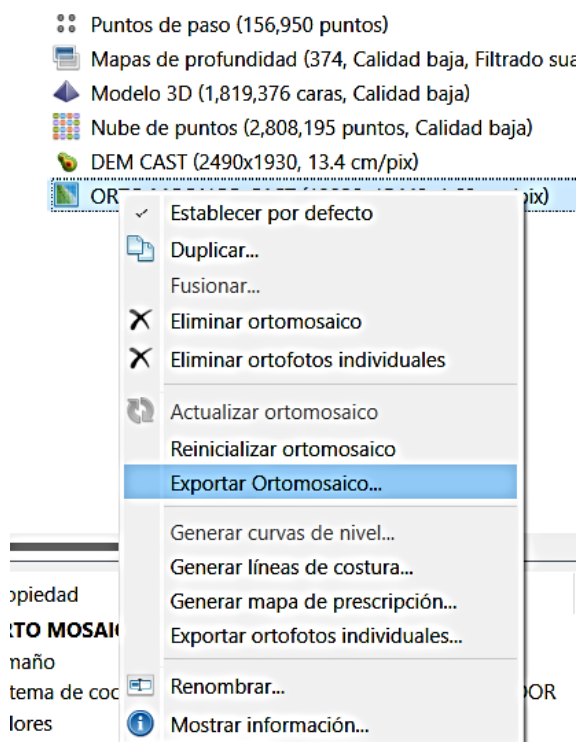


Figura 238 - Exportación de ortomosaico

Fuente: Elaboración propia

11.1.11. Creación de curvas de nivel

La creación de elementos a partir del modelo digital de elevaciones, como curvas de nivel, es una parte importante para el análisis de la información tridimensional, y Agisoft Metashape nos brinda esta herramienta de una manera fácil y sencilla.

Para la realización del cálculo de dicho elemento procedemos a acceder a herramientas ubicadas en la barra de herramientas (Figura 239), en la que se nos despliega una serie de opciones, seleccionamos generación de curvas de nivel, mostrando un cuadro de diálogo donde configuraremos los parámetros tales como el origen de datos, altura mínima y máxima, y equidistancia de las curvas de nivel (ver Figura 240).

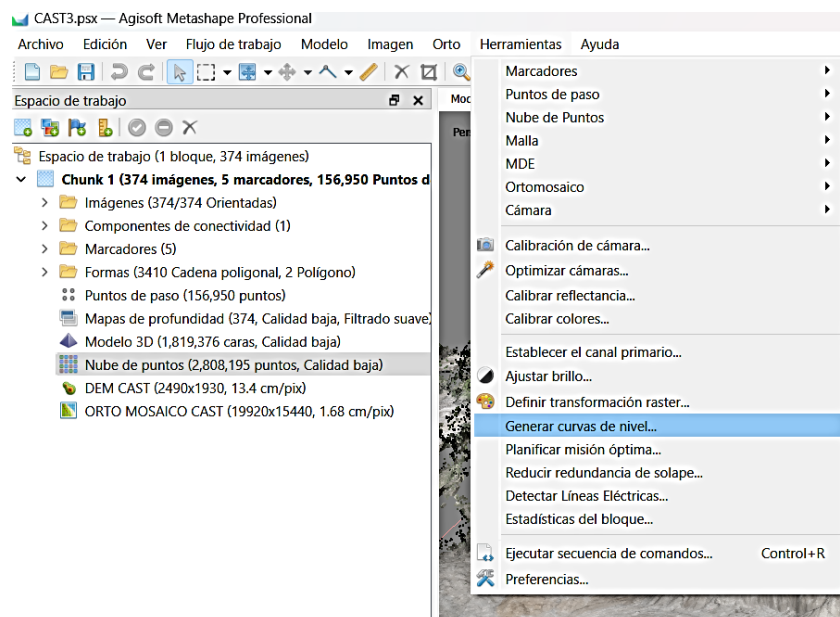


Figura 239 - Generación de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

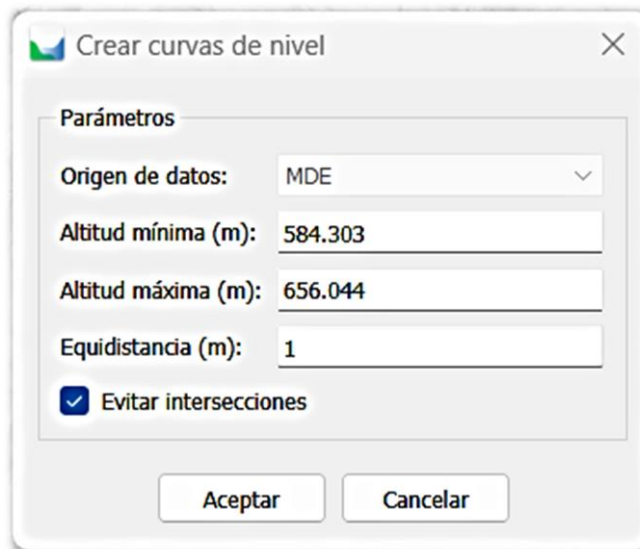


Figura 240 - Configuración de parámetros para la generación de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia



Figura 241 - Resultados obtenidos en la elaboración de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

El archivo de curvas de nivel generado por el programa puede ser exportado en extensión “.dxf”, “.shp”, “.kml” entre otros. Para ellos accedemos al espacio de trabajo y exportamos la capa generada para las curvas de nivel ver Figura 242 .

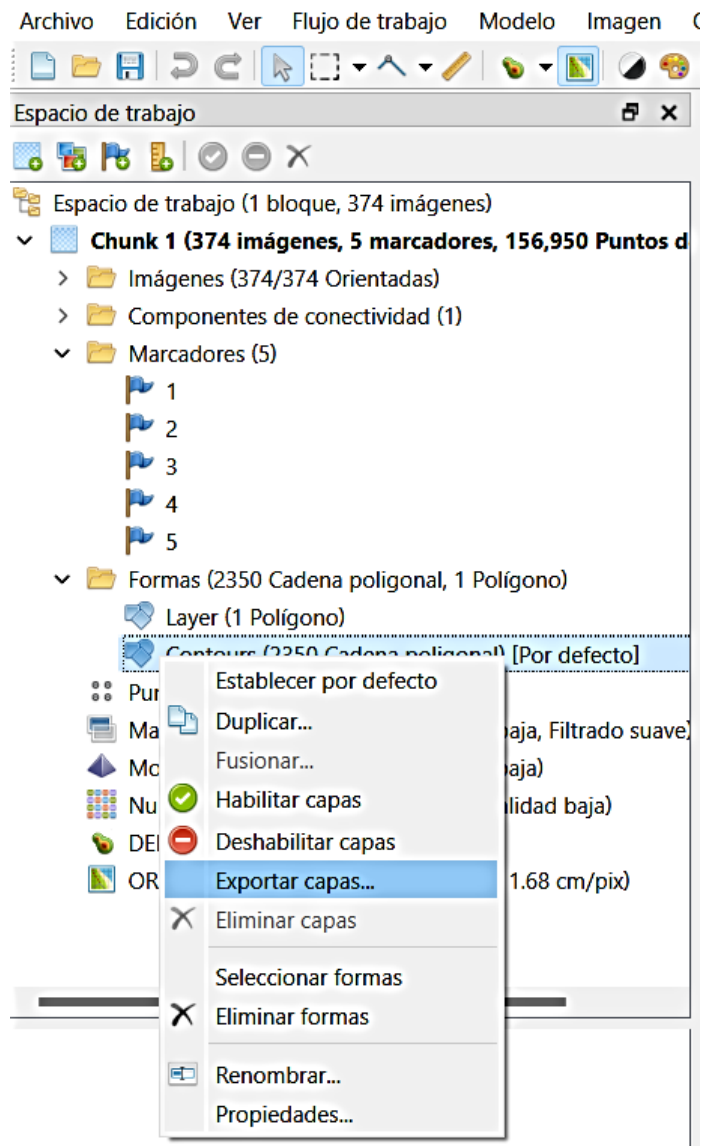


Figura 242 - Exportación de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

11.1.12. Cálculo de volumen y área

EL cálculo de volúmenes y área es uno de los resultados finales de nuestra investigación; para ello calcularemos el área y volumen de la zona del proyecto sin intervenir tomando como parámetros en el cálculo de volumen un plano de mejor ajuste que brinda Agisoft Metashape tomado del perfil de la línea perimetral ver Figura 243. Esto nos ayudara a definir la cantidad de metros cúbicos de suelo faltantes a movilizar en la zona del proyecto, basado en el resultado del cálculo de área y volumen

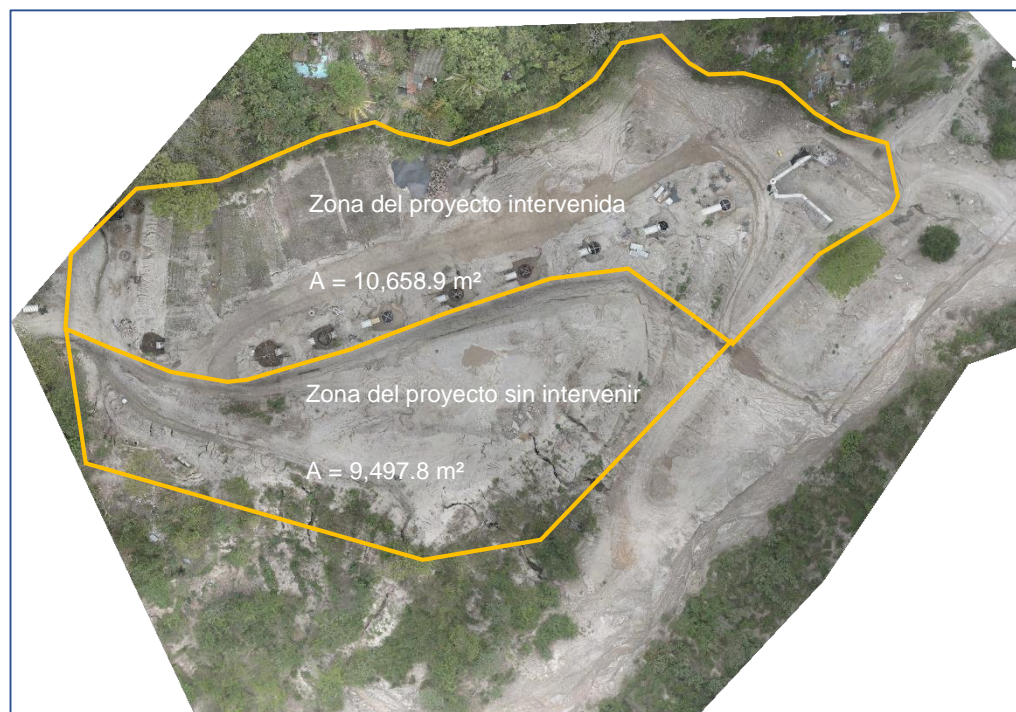


Figura 243 - Ubicación de las diferentes zonas del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo de área y volumen de la zona a intervenir delimitaremos la zona con una polilínea dentro del modelo general de Agisoft Metashape, en la

barra de herramientas del programa seleccionamos la opción de generación de un polígono como se muestra en la Figura 244.

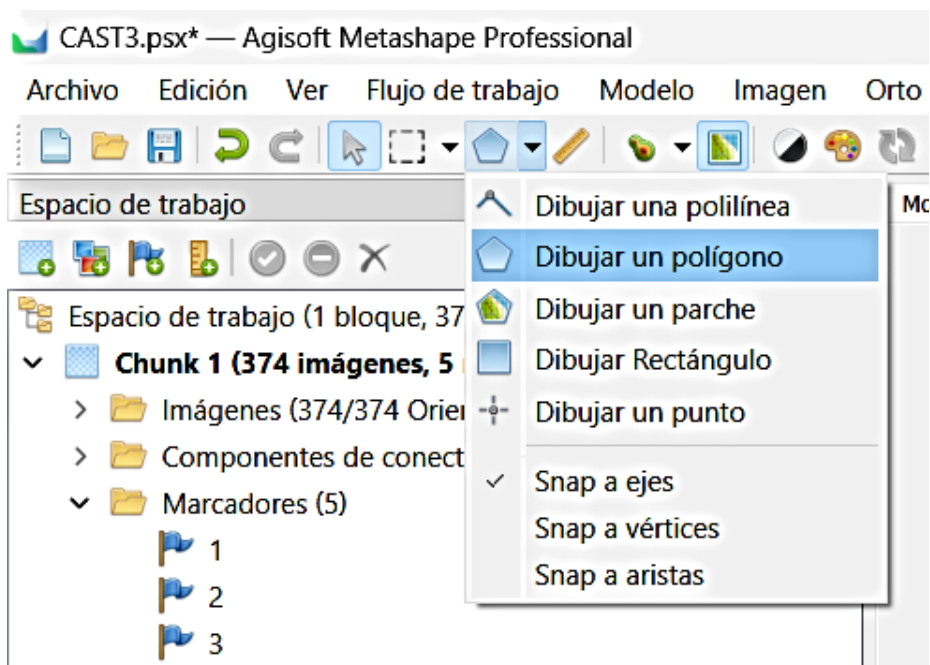


Figura 244 - Generación de poligonal para delimitación de áreas

Fuente: Elaboración propia



Figura 245 - Delimitación de Zonas del proyecto Agisoft Metashape

Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos las poligonales creadas, desplegándonos diferentes opciones de configuración y procesamiento, en nuestro caso iremos a la opción de medición ver Figura 246, donde nos brindara un cuadro de dialogo con los resultados del cálculo de volumen y área de la superficie que se encuentra dentro de la poligonal creada tal como se muestra en la Figura 247.



Figura 246 - Cálculo de volumen en Zona sin intervenir.

Fuente: Elaboración Propia

Medir forma

POLIGONAL AREA SIN INTERVENIR (Polígono, 22 vértices)

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	MDE Altitud (m)	Alt. err (m)
1	484889.819329	284192.733298		646.885	
2	484905.828020	284145.635264		651.784	
3	484926.476912	284127.074463		633.364	
4	484984.479416	284111.761802		617.604	
5	485024.385139	284111.761802		593.755	
6	485070.852312	284179.268988		592.611	
7	485051.290709	284192.817077		602.145	
8	485047.862426	284196.805079		609.992	
9	485044.783969	284199.183887		611.152	
10	485038.697018	284198.904027		614.308	
11	485024.564099	284196.035464		617.935	
12	485012.949917	284192.397287		619.985	
13	484991.647600	284185.050452		627.131	
14	484982.454294	284182.958562		629.896	
15	484964.526554	284177.420637		634.465	
16	484957.186463	284172.994559		636.269	
17	484943.181633	284170.228326		639.126	
18	484939.933493	284169.764306		639.780	
19	484933.437212	284169.532296		641.318	
20	484921.372691	284171.156366		642.990	
21	484904.667970	284178.116667		645.359	
22	484902.579880	284177.884657		645.225	

Perímetro, 2D (m): 460.306

Perímetro, 3D (m):

Área, 2D (m²): 9497.8

Área, plano de mejor ajuste 2D (m²):

Sistema de coordenadas: SIRGAS EL SALVADOR

Cerrar

Figura 247 - Resultados obtenidos del cálculo de área

Fuente: Elaboración propia

Medir forma

POLIGONAL AREA SIN INTERVENIR (Polígono, 22 vértices)

Coordenadas Perfil Volumen

Plano de comparación: Plano de mejor ajuste

Nivel (m): Actualizar

Volumen sobre el plano (m³): 89381.3

Volumen bajo del plano (m³): 17535.0

Volumen total (m³): 71846.3

Cerrar

Figura 248 - Resultados obtenidos de cálculo de volumen Zona sin intervenir

Fuente: Elaboración Propia

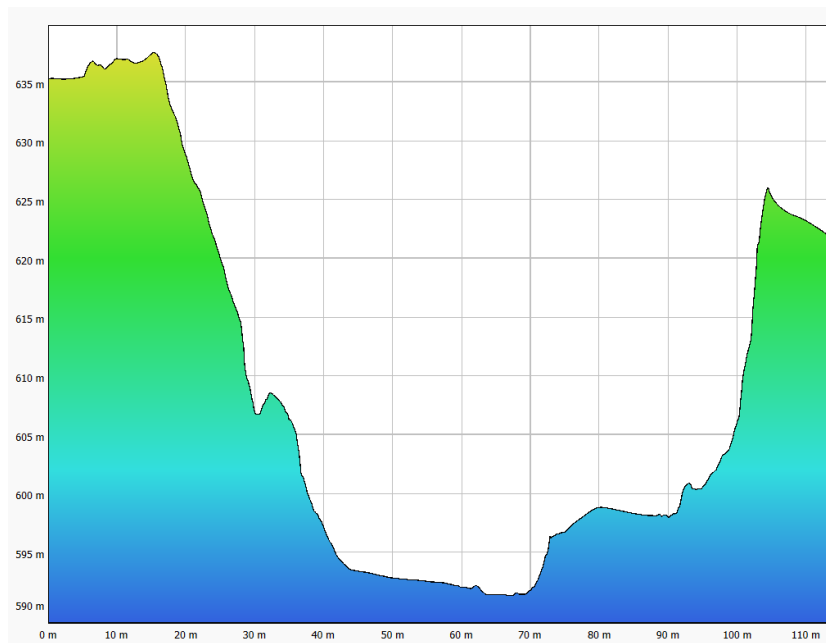


Figura 249 - Perfil transversal cárcava zona a intervenir

Fuente: elaboración propia

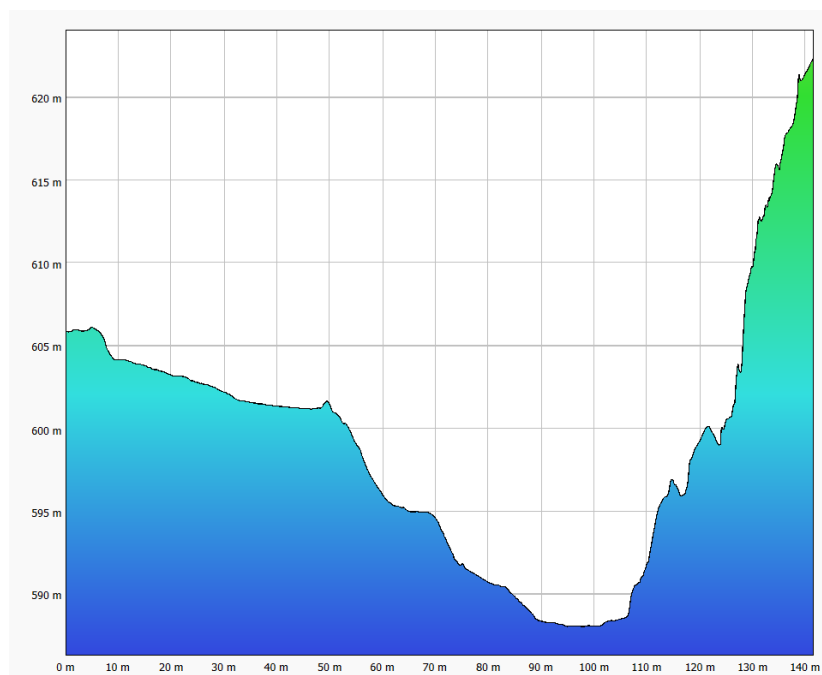


Figura 250 - Perfil transversal cárcava zona intervenida

Fuente: Elaboración propia



Figura 251 - Longitud de la cárcava a intervenir

Fuente: Elaboración propia



Figura 252 - Longitud de la cárcava intervenida

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos se muestran la siguiente tabla de resultados.

Tabla 9 - Resultados obtenidos en zona sin intervenir

PARAMETRO CÁCULADO	VALOR CÁCULADO
Área	10,658.9 m ²
Volumen (relleno)	9,769.3 m ³
Longitud perimetral (2D)	511.075 m
Longitud perimetral (3D)	789.723 m
Profundidad	44.5 m
Longitud	50.0 m
Tipo de cárcava	Muy Grande
Pendiente	89.00%
Perfil transversal	Irregular
Forma en planta	Bulbosa

Tabla 10 - Resultados obtenidos en zona intervenida.

PARAMETRO CÁCULADO	VALOR CÁCULADO
Área	9,497.8 9 m ²
Volumen (relleno)	71,846.3 m ³
Longitud perimetral (2D)	460.306 m
Longitud perimetral (3D)	607.317 m
Profundidad	20 m
Longitud	90
Tipo de cárcava	Muy Grande
Pendiente	22.22%
Perfil transversal	Irregular
Forma en planta	Bulbosa

11.1.13. Generación de informes

para todo procesamiento de información es necesario la creación de un documento en el cual nos indiquen los parámetros utilizados y las precisiones obtenidas, para ellos el programa Agisoft Metashape nos genera un archivo donde nos describe datos del levantamiento, calibraciones realizadas, ubicación de los puntos de control realizados, parámetros de procesamiento y resultados obtenidos

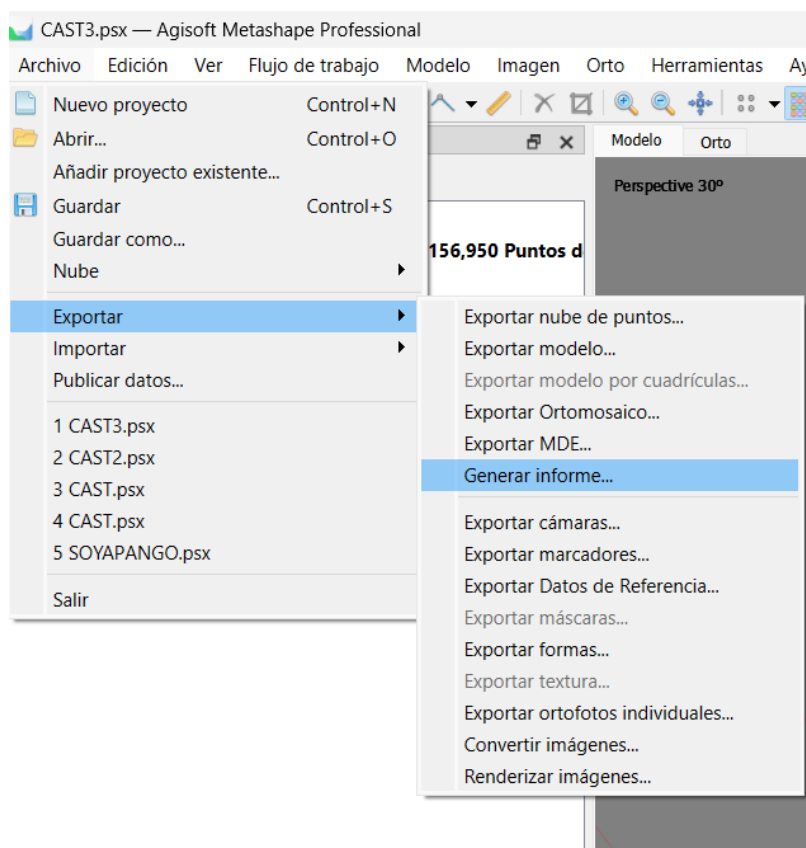


Figura 253 - Generación de informe

Fuente: Elaboración propia

11.2. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados obtenido en el procesamiento de la información nos basaremos en el informe generado por Agisoft Metashape, el cual nos brinda información relevante como la mostrada en la siguiente Figura 254.

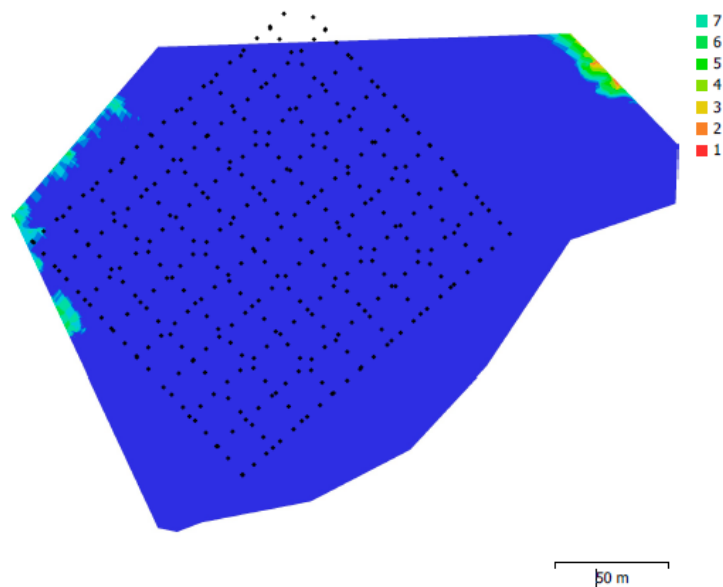


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 374	Imágenes alineadas: 374
Altitud media de vuelo: 51.2 m	Puntos de paso: 156,950
Resolución en terreno: 1.68 cm/pix	Proyecciones: 1,281,058
Área cubierta: 0.0417 km ²	Error de reproyección: 0.89 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Figura 254 - Información presentada por el informe final

Fuente: Elaboración propia

Se evaluarán los parámetros más importantes que se plasman en el informe final de calidad; el cual puede observarse en el Anexo 1 - Informe final de procesamiento Agisoft Metashape.

Parámetros	Evaluación de parámetros
Orientación de cámara y alineación de imágenes	El software proceso y alinea correctamente 374 imágenes de 374 existentes, esto indica que logro el procesamiento del 100% de las imágenes captadas en campo, siendo un resultado excelente, tomando en cuenta que a la hora de la toma de información en campo no se presentaban las mejores condiciones climatológicas.
Resolución, área cubierta y tamaño del píxel	La resolución en terreno fue de 1.68 cm por píxel en el procesamiento. Tomando en cuenta un área cubierta del terreno de 0.0417 Km ² y condiciones climatológicas no favorables, esta resolución resulta ser bastante buena

Parámetros	Evaluación de parámetros
Error total de georreferenciación	Se obtuvo un valor de error en planimetría de 3.420 cm mientras que en altimetría se obtuvo un error de 4.924 cm, siendo estos valores aceptables para el tipo de trabajo realizado. Estos errores se deben principalmente a la precisión obtenida en la colocación de los puntos de control con equipo GNSS y al archivo geoidal utilizado.
Ortomosaico	El ortomosaico generado por el software es muy acertado, no presenta ninguna distinción dentro del área de estudio y es de calidad aceptable para el análisis de planimetría

CAPÍTULO XII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusión

La restitución fotogramétrica es una técnica muy útil en el campo de la ingeniería, siendo más específicos en el área de topografía, la cual brinda resultados precisos y eficientes. Esta técnica no reemplaza los otros métodos de realizar topografía como lo son los métodos tradicionales, más bien esta técnica sirve de apoyo para la obtención de información topográfica, siempre y cuando las condiciones de campo lo permitan.

Las cárcavas siendo zonas de alta vulnerabilidad, en donde la vegetación es muy baja o nula, cumple con las condiciones mínimas para la utilización de esta técnica, la cual nos brinda información que puede ser utilizada para la clasificación de la ella y la vulnerabilidad que presenta.

De acuerdo a los resultados obtenida a través de la técnica de restitución fotogramétrica usando el software **Agisoft Metashape**, podemos llegar a clasificar **la cárcava ubicada en la Colonia El Matazano**, del municipio de Soyapango; no obstante, dadas las condiciones actuales de la cárcava en interés, la clasificación de la presente geoforma se llevará a cabo por sectores, el primer sector compete a la **Zona Intervenida** y el segundo sector correspondería a la **Zona Sin Intervención**.

La cárcava en la Zona Intervenida se clasificaría según su profundidad y anchura como: **cárcava muy grande de forma bulbosa con perfil transversal**

irregular con una pendiente moderadamente inclinada; mientras que la Zona sin Intervenir se clasificaría según su profundidad y anchura como: **cárcava muy grande de forma bulbosa con perfil transversal irregular con pendiente muy inclinada. con esta clasificación podemos establecer que la zona aun sin intervenir presenta un alto riesgo de deslizamiento y de socavamiento.**

Para la técnica de restitución fotogramétrica, es necesario la definición de parámetros y especificaciones, ya sea para la toma de información en campo, como para el procesamiento de la información en gabinete. En la investigación se definieron los parámetros y especificaciones mínimos, para obtener resultados precisión y eficientes, en la toma y procesamiento de información.

12.2. Recomendaciones

Cuando se van a realizar mediciones con GPS se recomienda hacerlo en lugares despejados y con topografía no tan accidentada, ya que estos equipos son muy sensibles y en zonas con densa vegetación impiden la lectura de datos.

De acuerdo a la fotogrametría con drones es necesario escoger un dron que se adapte a la necesidad del trabajo a realizar, un dron con mayor cantidad de sensores recopilara mayor cantidad de información en el campo, lo que resulta útil en el post-procesamiento de oficina.

Es recomendable realizar el sobre vuelo, en horas del mediodía ya que esto ayuda a que la toma de información por parte del DRON, sea más clara y precisa, obteniendo mejores resultados.

La ubicación de los puntos de control debe ser en un área despejada, sin obstáculos, ya que esto puede generar errores de referenciación a la hora de procesar la información.

Se recomienda procesar la información en una computadora que posea las siguientes especificaciones técnicas.

- Windows 11
- Procesador superior al i7 de 10th Gen
- Memoria RAM superior a 16Gb
- disco de almacenamiento SSD
- tarjeta de videos NVIDIA o equivalente

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, J. y. (2004). Estudio Geológico del Sistema de Cárcavas del Sector Santa Eduvigis, Ciudad Bolivar. Trabajo de Grado.

Aponte, I. y. (2010). Estudio geológico - ambiental del sistema de cárcavas ubicado en el Sector Grimaldi - La Luchita II. Ciudad Bolivar: Trabajo de Grado.

ArcGIS Pro. (s.f.). Snyder, J. P. (1987). *Map Projections: A Working Manual*. Gobierno Federal U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington,. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/properties/lambert-conformal-conic.htm>

Blink, A. (s.f.). *blinklearning*. Obtenido de https://www.blinklearning.com/Cursos/c536159_c24567759

Bocco, G. (1991). *Gully erosion: processes and models*.

Camara, M. S. (1958). *Manual de Geología*. Manuel Marín y Cia. Bilbao España.

Carbajal, F., Najera, E., & Rodriguez, M. (2022). *RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*.

DRON, V. D. (s.f.). *Review phantom 4*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=BqeM7f4Ayv4>

DRONE, E. V. (s.f.). *GIMBAL*. Obtenido de <https://elvuelodeldrone.com>

drones, F. c. (s.f.). <https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>.

Erosion y productividad del suelo. (2012).

Fuentes, J. (9 de octubre de 2013). *Maestro Juan Fuentes*. Obtenido de http://maestrojuanfuentes.blogspot.com/2012/10/tema-2-la-representacion-de-la-tierra_111.html

General Ibáñez de Íbero, M. -E. (s.f.). *Instituto Geografico Nacional*. Obtenido de
GEODESIA: <https://www.ign.es/web/gds-teoria-geodesia#:~:text=La%20Geodesia%20es%20la%20ciencia,la%20tierra%20en%20el%20espacio.>

Gracia, H. A. (12 de Agosto de 2011). *Sistemas de Información Geográficos*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/sigarcgis/proyecciones-cartograficas>

Hernández, R. y. (s.f.). Estudio geológico-ambiental en cárcavas de la urbanización 24 de Julio, municipio Heres. 2007. Bolivar: Trabajo de grado.

Jesus E. Santiago, P. d. (s.f.). *Monografías* . Obtenido de Hacia un sistema de clasificación de cárcavas:
<https://www.monografias.com/trabajos96/sistema-clasificacion-carcavas/sistema-clasificacion-carcavas>

Porto, P. (9 de Septiembre de 2013). *definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/proyeccion-cartografica/>

Snyder, J. y. (1987). *Map Projections* . Washington DC: U.S. Geological Survey Professional Paper.

TIPOS. (2022). *TIPOS DE COORDENADAS*. Obtenido de <https://www.tipos.co/tipos-de-coordenadas/>

Wolf-Ghilani. (11a Edición). *Topografía*. ALFAOMEGA.

Zelaya, W. A. (s.f.). Generacion de modelos digitales de elevacion. En W. A. Zelaya.

ANEXOS

Anexo 1 - Informe final de procesamiento Agisoft Metashape.

CAST

Informe de procesamiento

17 May 2023



Datos del levantamiento

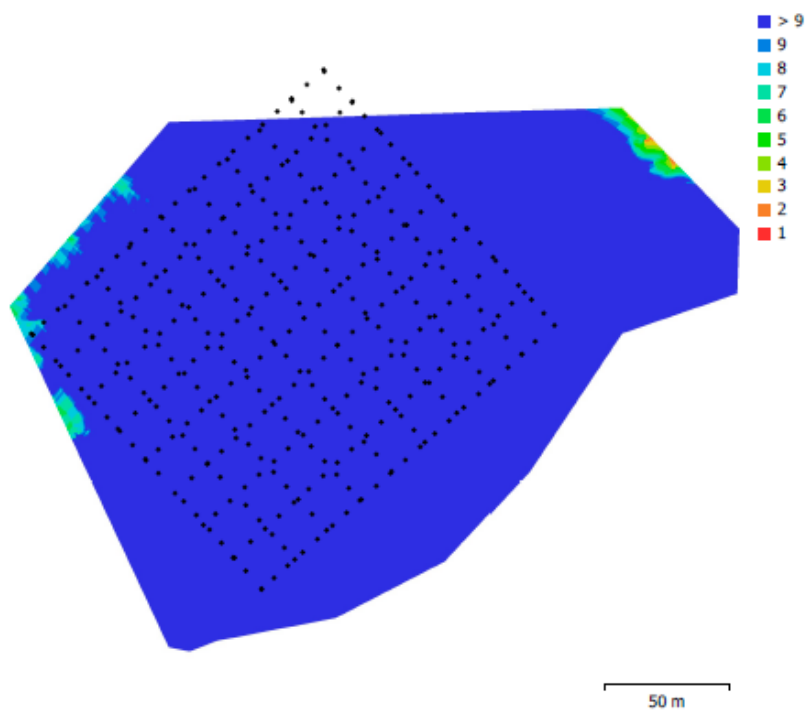


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	374	Imágenes alineadas:	374
Altitud media de vuelo:	51.2 m	Puntos de paso:	156,950
Resolución en terreno:	1.68 cm/pix	Proyecciones:	1,281,058
Área cubierta:	0.0417 km ²	Error de reproyección:	0.89 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

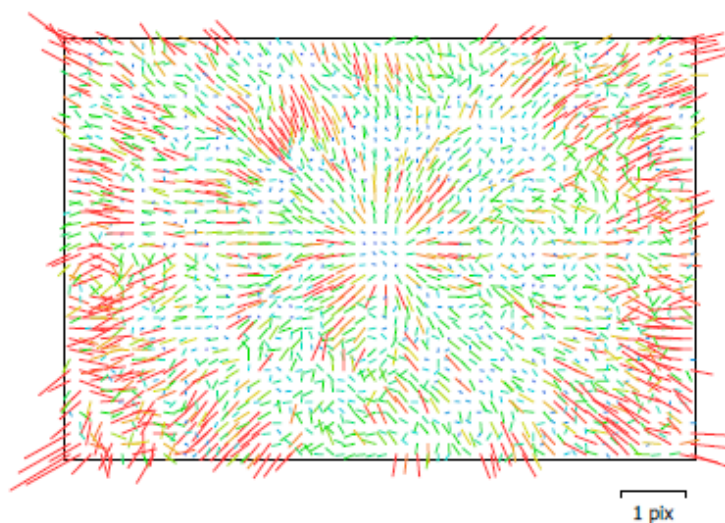


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

374 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3669.38	0.049	1.00	0.02	-0.93	0.09	0.11	-0.09	0.02	-0.64
Cx	-10.7219	0.014		1.00	-0.03	-0.02	0.01	-0.01	0.92	0.01
Cy	22.9806	0.03			1.00	-0.20	0.00	-0.00	-0.04	0.77
K1	0.00479954	1.9e-05				1.00	-0.94	0.89	-0.02	-0.22
K2	-0.0167138	5.7e-05					1.00	-0.98	0.01	0.03
K3	0.0158877	5.2e-05						1.00	-0.02	-0.04
P1	-2.51532e-05	1.4e-06							1.00	-0.01
P2	0.000945691	1.8e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

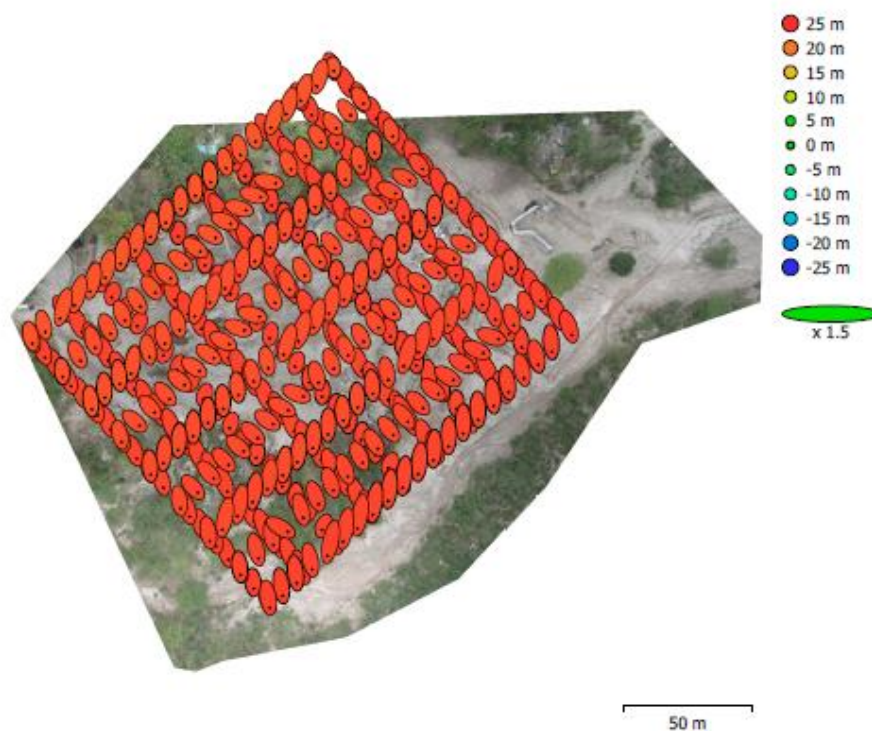


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.68871	4.08844	23.3549	4.42347	23.7701

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Puntos de control terrestre

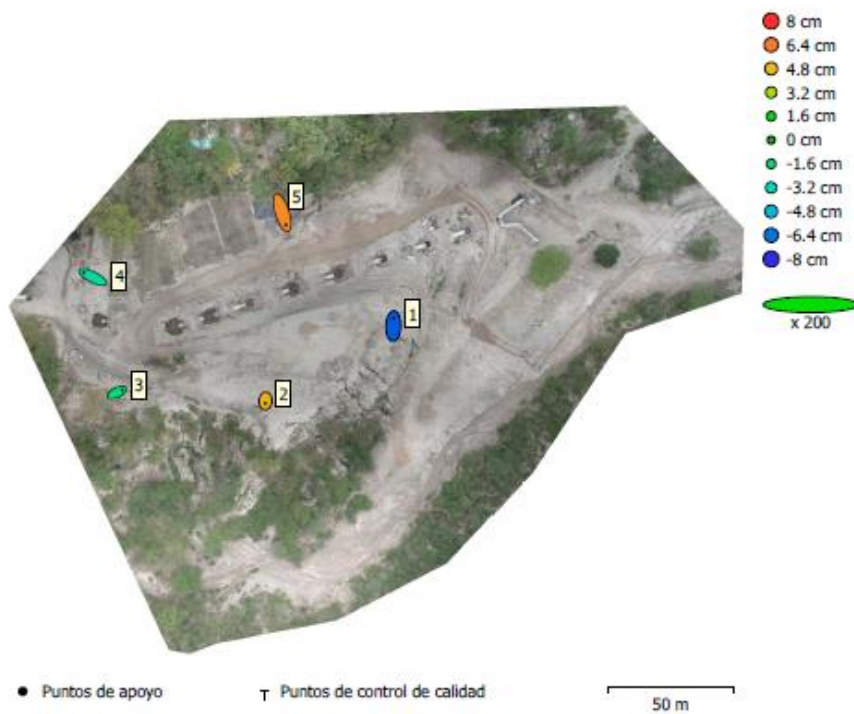


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.
 El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
 Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
5	1.98603	2.78453	4.92438	3.42022	5.99562

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.
 X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
1	0.0990111	3.12114	-7.06162	7.72126	0.744 (64)
2	-0.0563098	-0.964276	5.13473	5.22479	0.564 (40)
3	2.06055	0.979727	-1.73487	2.86627	0.598 (22)
4	-3.62846	1.79114	-2.52547	4.7699	1.009 (15)
5	1.51558	-4.89169	5.96891	7.8647	0.748 (77)
Total	1.98603	2.78453	4.92438	5.99562	0.724

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

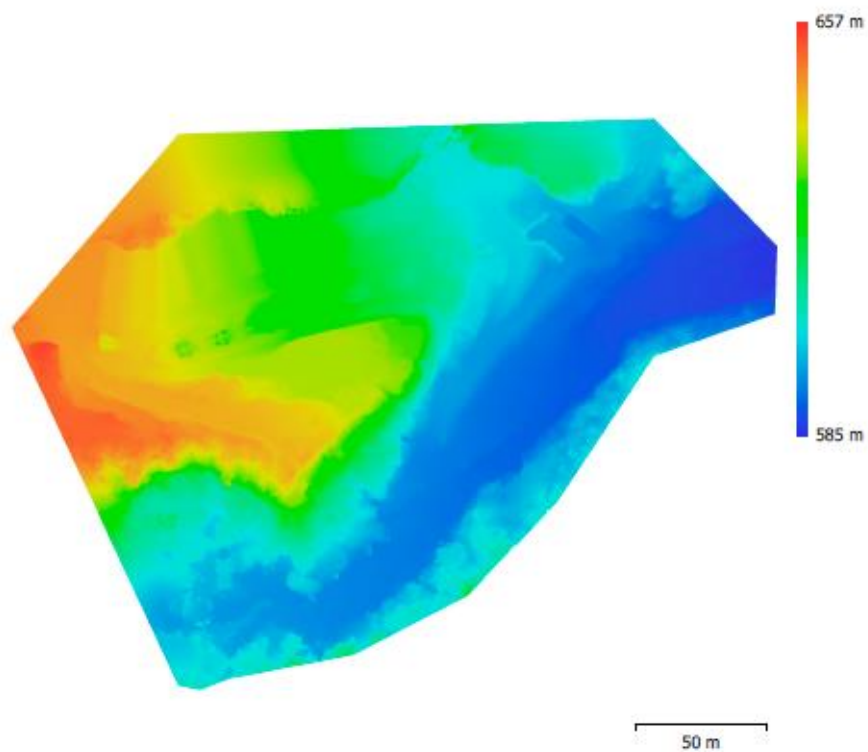


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 13.4 cm/pix
Densidad de puntos: 55.5 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	374
Cámaras orientadas	374
Marcadores	5
Formas	
Cadena poligonal	3410
Polígono	2
Sistema de coordenadas	SIRGAS EL SALVADOR FG
Sistema de coordenadas	SIRGAS EL SALVADOR FG
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	156,950 de 189,727
RMS error de reproyección	0.169542 (0.890383 pix)
Error de reproyección máximo	0.512477 (36.0352 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.68049 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	10.2737
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Límite de puntos clave por megapixel	1,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	21 minutos 59 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	731.50 MB
Tiempo de orientación	7 minutos 29 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	170.63 MB
Fecha de creación	2023:05:02 20:36:40
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	33.93 MB
Mapas de profundidad	
Número	374
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Baja
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	3 horas 4 minutos
Uso de memoria	716.01 MB
Fecha de creación	2023:05:02 23:54:45
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	203.02 MB
Nube de puntos	
Puntos	2,808,195
Atributos de los puntos	
Posición	

Color	3 bandas, uint8
Normal	
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	2,808,195
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Baja
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	3 horas 4 minutos
Uso de memoria	716.01 MB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Tiempo de procesamiento	4 minutos 35 segundos
Uso de memoria	2.99 GB
Fecha de creación	2023:05:02 23:59:20
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	82.66 MB
Modelo	
Caras	1,819,376
Vértices	910,426
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Baja
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	3 horas 4 minutos
Uso de memoria	716.01 MB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Tiempo de procesamiento	4 minutos 35 segundos
Uso de memoria	2.99 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Nube de puntos
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	4 minutos 14 segundos
Uso de memoria	2.28 GB
Fecha de creación	2023:05:17 18:21:18
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	39.05 MB
MDE	
Tamaño	2,490 x 1,930
Sistema de coordenadas	SIRGAS EL SALVADOR
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	4 segundos
Uso de memoria	124.64 MB
Fecha de creación	2023:05:17 21:17:07
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	13.59 MB
Ortomosaico	
Tamaño	19,920 x 15,440
Sistema de coordenadas	SIRGAS EL SALVADOR
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico

Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	15 minutos 58 segundos
Uso de memoria	2.05 GB
Fecha de creación	2023:05:17 22:13:32
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	5.06 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.0.1 build 15925
OS	Windows 64 bit
RAM	15.63 GB
CPU	12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12650H
GPU(s)	Ninguno

Anexo 2 - Informe final del procesamiento de coordenadas

 Resultado de ajuste 3D C:\Users\GEOSS\Desktop\TESIS POSPROCESO\PROCESO
 COORDENADAS\POSPROCESO\TESIS \TESIS .sgo

Numero de observaciones redundantes = 0

Numero de puntos conocidos = 1

Cantidad de puntos = 2

Cantidad de vectores = 1

Meridiano central = -88d59'59.93869"

Semieje mayor = 6378137.000(m)

1/f = 298.257223563

Varianza de la unidad de peso a posteriori = 0.000(cm²)

RMS = 0.000(cm)

 Puntos conocidos

Name X(m) Y(m) Z(m)

0 ssia 95567.010 -6197785.568 1500590.600

 Vectores

From To X(m) Y(m) Z(m) S(m)

 0 CAST ssia 2444.868 514.663 1906.707 3142.895

 Parámetros de corrección del vector 3D

From To Vx(cm) Vy(cm) Vz(cm)Tolerancia (cm)

 0 CAST ssia 0.000 -0.030 0.010 1.630 Calificado

 precisión ajustada

From To S(m) s(cm) s/S ppm

 0 CAST ssia 3142.895 0.120 2601121 0.380

 Coordenadas 3D ajustadas

Name X(m) Y(m) Z(m) sx(cm) y(cm) z(cm) p(cm)

 0 CAST 93122.142 -6198300.231 1498683.893 0.080 0.170 0.080 0.210

1 ssia 95567.010 -6197785.568 1500590.600 0.080 0.170 0.080 0.210

 Coordenadas geodésicas

Name B(dms) L(dms) H(m) sB(cm) sL(cm) sH(cm) E(cm) F(cm) T(d)

 0 CAST 13d40'45.55802" -89d08'21.34797" 639.265 0.090 0.080 0.170 0.090 0.080
 6.3445

1 ssia 13d41'49.50775" -89d06'59.74335" 626.631 0.090 0.080 0.170 0.090 0.080
 6.4416

 Coordenadas planas ajustadas

Meridiano central = -88d59'59.93869"

Falso norte (m) = 295809.184


Falso este (m) = 500000.000

 # Name N(m) E(m)

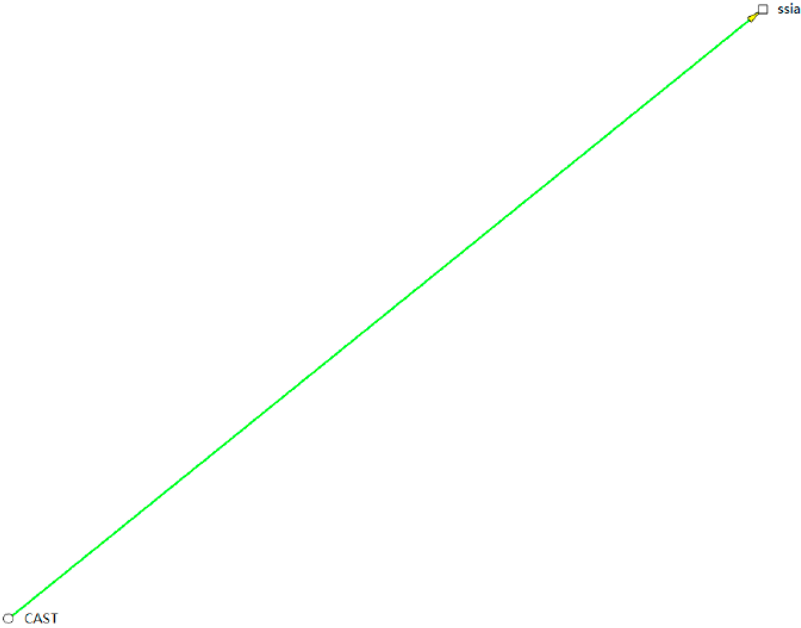
0 CAST 284199.523 484932.829

1 ssia 286163.482 487385.972

orte de ajuste de red

Reporte de ajuste de red		2023-05-19 15:12:10
Encabezado de reporte		
Nombre del proyecto:	TESIS .sgo	
Empresa:	AFN	
Fecha del proyecto:	2023-04-25 20:46:11	
Sistema de coordenadas		
ellipsoid_name	World Geodetic System 1984	
ellipsoid_a	6378137	
ellipsoid_f	298.257223563	
project_type	Cónica secante conforme de Lambert	
axis_direction	N-E	
axis_direction	0	
org_lon	88d59'59.93869"W	
org_lat	13d47'03.47762"N	
false_east	500000	
false_north	295809.184	
factor	1	
parallel_1_lat	13d19'03.47762"N	
parallel_2_lat	14d15'03.47762"N	
Geoid		
GNSS net picture		
		

Reporte de ajuste de red



Reporte de ajuste de red

234.053Metrs

Información de puntos conocidos 3D

Nombre del punto	Tipo de punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
ssia	XYZ	95567.010	-6197785.568	1500590.600

Información de puntos conocidos 2D

Nombre del punto	X(m)	Y(m)
ssia	286163.918	487386.796

Resultado del ajuste libre de red

Error medio del peso unitario a priori(m)	Error medio del peso unitario a posteriori(m)	Error cuadrático medio(m)
0.001	0.000	0.000

Número de vectores ajustados

Nombre del vector	Componente x(m)	Componente y(m)	Componente z(m)	Corrección en x(m)	Corrección en y(m)	Corrección en z(m)
CAST1022-ssia1020	2444.868	514.663	1906.707	0.000	0.000	0.000

Resultado de ajuste 3D(XYZ)

Nombre del punto	X(m)	Y(m)	Z(m)	XErrores medios(m)	YErrores medios(m)	ZErrores medios(m)
CAST	93122.142	-6198300.231	1498683.893	0.001	0.002	0.001
ssia	95567.010	-6197785.568	1500590.600	0.001	0.002	0.001

Resultado de ajuste 3D(BLH)

Reporte de ajuste de red

Nombre del punto	B	L	H(m)	BErrores medios(m)	LErrores medios(m)	HErrores medios(m)
CAST	13d40'45.55802"N	89d08'21.34797"W	639.265	0.001	0.001	0.002
ssia	13d41'49.50775"N	89d06'59.74335"W	626.631	0.001	0.001	0.002

Resultado de ajuste 2D

Error medio del peso unitario a priori(m)	Error medio del peso unitario a posteriori(m)	Error cuadrático medio(m)
0.001	0.000	0.000

Número de vectores 2D ajustados

Nombre del vector	X(m)	Y(m)	XCorrección de componentes(m)	YCorrección de componentes(m)
CAST1022-ssia1020	1963.956	2453.139	0.000	0.000

Coordenadas 2D ajustadas

Nombre del punto	N(m)	E(m)	h(m)	XErrores medios(m)	YErrores medios(m)
CAST	284199.962	484933.657	639.380	0.001	0.001
ssia	286163.918	487386.796	626.631	0.001	0.001

Resultado de ajuste altimétrico

Método de ajuste	Error medio del peso unitario a posteriori(m)	Error cuadrático medio(m)
Fixed correction model	0.000	0.000
Nombre del punto	altura (m)	punto conocido?
CAST	639.380	Punto incógnita
ssia	626.631	Punto conocido

fit param

Fit Model	dH	9.367

7 parámetros

cte de ajuste de red

XTraslación del eje (m):	0.84072165	XRotación del eje (s):	0.00000000	axis scaling factor(ppm):	0.00000000
YTraslación del eje (m):	-1.07385012	YRotación del eje (s):	0.00000000		
ZTraslación del eje (m):	0.71388313	ZRotación del eje (s):	0.00000000		

4 Parametros

XTraslación del eje (m):	0.00000010	ngulo de rotación (gms):	-0d00'00.00000"
YTraslación del eje (m):	0.00000000	scaling factor:	1.00000000

Anexo 3 - Archivo "README.txt" SSIA

The data you have requested is divided into the following files:

- ssia_14.coord.txt
- igr22573.sp3
- ssia1020.23o
- ssia.log.txt
- ssia1020.23n

UFCORS FILE TYPES AND NAMING CONVENTIONS

=====

You will have received one or more of the following files in response to your request:

Type of File	Contents	Name
Observation SSSSDDD0.YYo	GNSS code and phase data	
Navigation SSSSDDD0.YYn	Broadcast GPS orbit information	
Navigation SSSSDDD0.YYg	Broadcast GLONASS orbit information	
IGS Ephemeris igZWWWWX.sp3	Precise GPS orbit information	
igZWWWWX.sp3	Precise GLONASS orbit information	
igZWWWWX.sp3	Rapid GPS orbit information	
igZWWWWX_HH.sp3	Ultra-Rapid GPS orbit information	
Coordinates SSSS_08.coord.txt	Position and velocity of CORS site	
Log SSSS.log.txt	Current and historical info. for site	
Datasheet	Descriptive information for site	SSSS.ds

SSSS = Four character site ID
 DDD = 3-digit Day-of-year when data was observed
 YY = Year when data was observed
 Z = s - precise GPS orbit (available approximately within 14 days)

l - precise GLONASS orbit (available approximately within 14 days)
 r - rapid GPS orbit (available within 48 hours)
 u - ultra-rapid GPS orbit (available within 12 hours)
 WWWW = GPS week number
 X = 0 - for Sunday
 1 - for Monday
 2 - for Tuesday
 3 - for Wednesday
 4 - for Thursday
 5 - for Friday
 6 - for Saturday
 HH = two-digit hour

DATA FORMAT
 =====

The observation and navigation files are in RINEX format version 2.11

For format details see

<https://files.igs.org/pub/data/format/rinex211.txt>

IGS Ephemeris data files are supplied in the SP3 format version c.

For format details see

<https://files.igs.org/pub/data/format/sp3.txt>

SOFTWARE TO TRANSFORM EPHEMERIS FILES from SP3c to SP3a AVAILABLE

Since January 29th, 2006 the International GNSS Service (IGS) began making its precise ephemeris files available only in the SP3-c format.

To convert a file from SP3-c format to the older SP3-a format, there is a compiled executable file for Windows NT/2000/XP, and source code is also available at:

<https://geodesy.noaa.gov/orbits/>

Last Updated: 2021-07-14

Anexo 4 - Archivo "ssia.log.txt" SSIA

SSIA00SLV Site Information Form (site log)
 International GNSS Service
 See Instructions at:
https://files.igs.org/pub/station/general/sitelog_instr.txt

0. Form

Prepared by (full name) : David Maggert
 Date Prepared : 2020-01-27
 Report Type : UPDATE
 If Update:
 Previous Site Log : ssia_20190610.log
 Modified/Added Sections : 3.12, 3.13

1. Site Identification of the GNSS Monument

Site Name : Ilopango Airport
 Four Character ID : SSIA
 Monument Inscription :
 IERS DOMES Number : 41401S001
 CDP Number : none
 Monument Description : building mount
 Height of the Monument :
 Monument Foundation :
 Foundation Depth :
 Marker Description :
 Date Installed : 2000-09-28T00:00Z
 Geologic Characteristic :
 Bedrock Type :
 Bedrock Condition :
 Fracture Spacing : unknown
 Fault zones nearby :
 Distance/activity :
 Additional Information : Re-assigned domes number on Oct.
 10, 2000.

2. Site Location Information

City or Town : San Salvador
 State or Province :
 Country : El Salvador
 Tectonic Plate : CARIBBEAN

```

Approximate Position (ITRF)
  X coordinate (m)      : 95610.0615
  Y coordinate (m)      : -6197817.1521
  Z coordinate (m)      : 1500617.9412
  Latitude (N is +)     : +134150.28
  Longitude (E is +)    : -0890658.32
  Elevation (m,ellips.) : 664.4
  Additional Information :

```

3. GNSS Receiver Information

```

3.1 Receiver Type      : TRIMBLE 4000SSI
  Satellite System     : GPS
  Serial Number        : 3937A26105
  Firmware Version     : 7.29
  Elevation Cutoff Setting :
  Date Installed       : 2000-09-28T00:00Z
  Date Removed        : 2007-03-22T00:00Z
  Temperature Stabiliz. :
  Additional Information :

```

```

3.2 Receiver Type      : TRIMBLE NETRS
  Satellite System     : GPS
  Serial Number        : 4520250849
  Firmware Version     : 1.13
  Elevation Cutoff Setting : 5 deg
  Date Installed       : 2007-03-22T00:00Z
  Date Removed        : 2012-03-05T17:32Z
  Temperature Stabiliz. :
  Additional Information :

```

```

3.3 Receiver Type      : TRIMBLE NETR9
  Satellite System     : GPS
  Serial Number        : 5133K77673
  Firmware Version     : 4.42
  Elevation Cutoff Setting : 0 deg
  Date Installed       : 2012-03-05T17:32Z
  Date Removed        : 2012-06-07T19:00Z
  Temperature Stabiliz. :
  Additional Information :

```

```

3.4 Receiver Type      : TRIMBLE NETR9
  Satellite System     : GPS
  Serial Number        : 5133K77673
  Firmware Version     : 4.60
  Elevation Cutoff Setting : 0 deg
  Date Installed       : 2012-06-07T19:00Z
  Date Removed        : 2012-12-06T23:06Z
  Temperature Stabiliz. :
  Additional Information :

```

- 3.5 Receiver Type : TRIMBLE NETR9
Satellite System : GPS
Serial Number : 5133K77673
Firmware Version : 4.62
Elevation Cutoff Setting : 0 deg
Date Installed : 2012-12-06T23:06Z
Date Removed : 2013-03-07T19:48Z
Temperature Stabiliz. :
Additional Information :
- 3.6 Receiver Type : TRIMBLE NETR9
Satellite System : GPS
Serial Number : 5133K77673
Firmware Version : 4.70
Elevation Cutoff Setting : 0 deg
Date Installed : 2013-03-07T19:48Z
Date Removed : 2013-07-09T20:15Z
Temperature Stabiliz. :
Additional Information :
- 3.7 Receiver Type : TRIMBLE NETR9
Satellite System : GPS
Serial Number : 5133K77673
Firmware Version : 4.80
Elevation Cutoff Setting : 0 deg
Date Installed : 2013-07-09T20:15Z
Date Removed : 2013-08-23T19:49Z
Temperature Stabiliz. :
Additional Information :
- 3.8 Receiver Type : TRIMBLE NETR9
Satellite System : GPS
Serial Number : 5133K77673
Firmware Version : 4.81
Elevation Cutoff Setting : 0 deg
Date Installed : 2013-08-23T19:49Z
Date Removed : 2014-05-20T21:25Z
Temperature Stabiliz. :
Additional Information :
- 3.9 Receiver Type : TRIMBLE NETR9
Satellite System : GPS
Serial Number : 5133K77673
Firmware Version : 4.85
Elevation Cutoff Setting : 0 deg
Date Installed : 2014-05-20T21:25Z
Date Removed : 2015-07-09T21:23Z
Temperature Stabiliz. :
Additional Information :

```

3.10 Receiver Type           : TRIMBLE NETR9
    Satellite System         : GPS
    Serial Number            : 5133K77673
    Firmware Version         : 5.01
    Elevation Cutoff Setting : 0 deg
    Date Installed           : 2015-07-09T21:23Z
    Date Removed             : 2016-09-23T21:55Z
    Temperature Stabiliz.    :
    Additional Information    :

3.11 Receiver Type           : TRIMBLE NETR9
    Satellite System         : GPS
    Serial Number            : 5133K77673
    Firmware Version         : 5.14
    Elevation Cutoff Setting : 0 deg
    Date Installed           : 2016-09-23T21:55Z
    Date Removed             : 2019-05-31T16:44Z
    Temperature Stabiliz.    :
    Additional Information    :

3.12 Receiver Type           : TRIMBLE NETR9
    Satellite System         : GPS
    Serial Number            : 5041K71033
    Firmware Version         : 5.37
    Elevation Cutoff Setting : 0 deg
    Date Installed           : 2019-05-31T16:44Z
    Date Removed             : 2020-01-24T20:22Z
    Temperature Stabiliz.    :
    Additional Information    :

3.13 Receiver Type           : TRIMBLE NETR9
    Satellite System         : GPS+GLO+GAL
    Serial Number            : 5041K71033
    Firmware Version         : 5.42
    Elevation Cutoff Setting : 10 deg
    Date Installed           : 2020-01-24T20:22Z
    Date Removed             : CCYY-MM-DDThh:mmZ
    Temperature Stabiliz.    :
    Additional Information    : Also tracking BDS, but that
requires RINEX3
Trimble
the correct
list.
degrees. It is
cutoff has
: which is not provided because the
: RINEX3 converter does not provide
: antenna model number in drop down
: Elevation cutoff found to be 10
: not known how long the elevation

```

previous : been 10 degrees. It is very likely
 : receiver entries have an elevation
 cutoff of 10 : degrees.

3.x Receiver Type : (A20, from rcvr_ant.tab; see
 instructions)
 Satellite System : (GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+SBAS)
 Serial Number : (A20, but note the first A5 is used
 in SINEX)
 Firmware Version : (A11)
 Elevation Cutoff Setting : (deg)
 Date Installed : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)
 Date Removed : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)
 Temperature Stabiliz. : (none or tolerance in degrees C)
 Additional Information : (multiple lines)

4. GNSS Antenna Information

4.1 Antenna Type : TRM29659.00 UNAV
 Serial Number : 0220191259
 Antenna Reference Point : BPA
 Marker->ARP Up Ecc. (m) : 0.0
 Marker->ARP North Ecc(m) :
 Marker->ARP East Ecc(m) :
 Alignment from True N :
 Antenna Radome Type : UNAV
 Radome Serial Number :
 Antenna Cable Type :
 Antenna Cable Length :
 Date Installed : 2000-09-28T00:00Z
 Date Removed : 2007-03-22T00:00Z
 Additional Information :

4.2 Antenna Type : TRM29659.00 UNAV
 Serial Number : 0220356936
 Antenna Reference Point : BPA
 Marker->ARP Up Ecc. (m) : 0.0000
 Marker->ARP North Ecc(m) : 0.0000
 Marker->ARP East Ecc(m) : 0.0000
 Alignment from True N :
 Antenna Radome Type : UNAV
 Radome Serial Number :
 Antenna Cable Type :
 Antenna Cable Length :
 Date Installed : 2007-03-22T00:00Z
 Date Removed : 2019-05-31T16:44Z
 Additional Information :

```

4.3 Antenna Type           : TRM59800.80      SCIS
    Serial Number          : 4623A16423
    Antenna Reference Point : BPA
    Marker->ARP Up Ecc. (m) : 0.0000
    Marker->ARP North Ecc(m) : 0.0000
    Marker->ARP East Ecc(m)  : 0.0000
    Alignment from True N   :
    Antenna Radome Type     : SCIS
    Radome Serial Number    :
    Antenna Cable Type      :
    Antenna Cable Length    :
    Date Installed          : 2019-05-31T16:44Z
    Date Removed            : CCYY-MM-DDThh:mmZ
    Additional Information   : new antenna and radome

4.x Antenna Type           : (A20, from rcvr_ant.tab; see
instructions)
    Serial Number          : (A*, but note the first A5 is used
in SINEX)
    Antenna Reference Point : (BPA/BCR/XXX from "antenna.gra";
see instr.)
    Marker->ARP Up Ecc. (m) : (F8.4)
    Marker->ARP North Ecc(m) : (F8.4)
    Marker->ARP East Ecc(m)  : (F8.4)
    Alignment from True N   : (deg; + is clockwise/east)
    Antenna Radome Type     : (A4 from rcvr_ant.tab; see
instructions)
    Radome Serial Number    :
    Antenna Cable Type      : (vendor & type number)
    Antenna Cable Length    : (m)
    Date Installed          : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)
    Date Removed            : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)
    Additional Information   : (multiple lines)

5.   Surveyed Local Ties

5.x Tied Marker Name       :
    Tied Marker Usage      : (SLR/VLBI/LOCAL
CONTROL/FOOTPRINT/etc)
    Tied Marker CDP Number  : (A4)
    Tied Marker DOMES Number : (A9)
    Differential Components from GNSS Marker to the tied monument
(ITRS)
        dx (m)              : (m)
        dy (m)              : (m)
        dz (m)              : (m)
    Accuracy (mm)          : (mm)
    Survey method          : (GPS
CAMPAIGN/TRILATERATION/TRIANGULATION/etc)
    Date Measured          : (CCYY-MM-DDThh:mmZ)

```

Additional Information : (multiple lines)

6. Frequency Standard

6.1 Standard Type : INTERNAL
Input Frequency :
Effective Dates : 2000-08-28/CCYY-MM-DD
Notes :

6.x Standard Type : (INTERNAL or EXTERNAL H-
MASER/CESIUM/etc)
Input Frequency : (if external)
Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes : (multiple lines)

7. Collocation Information

7.x Instrumentation Type :
(GPS/GLONASS/DORIS/PRARE/SLR/VLBI/TIME/etc)
Status : (PERMANENT/MOBILE)
Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes : (multiple lines)

8. Meteorological Instrumentation

8.1.1 Humidity Sensor Model : WXT520
Manufacturer : Vaisala
Serial Number : G3930003
Data Sampling Interval : 15 sec
Accuracy (% rel h) :
Aspiration :
Height Diff to Ant : 1.5 m
Calibration date : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates : 2012-03-05/CCYY-MM-DD
Notes :

8.1.x Humidity Sensor Model :
Manufacturer :
Serial Number :
Data Sampling Interval : (sec)
Accuracy (% rel h) : (% rel h)
Aspiration : (UNASPIRATED/NATURAL/FAN/etc)
Height Diff to Ant : (m)
Calibration date : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes : (multiple lines)

8.2.1 Pressure Sensor Model : WXT520

```

Manufacturer          : Vaisala
Serial Number        : G3930003
Data Sampling Interval : 15 sec
Accuracy             :
Height Diff to Ant   : 1.5 m
Calibration date     : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates      : 2012-03-05/CCYY-MM-DD
Notes                :

8.2.x Pressure Sensor Model :
Manufacturer          :
Serial Number        :
Data Sampling Interval : (sec)
Accuracy             : (hPa)
Height Diff to Ant   : (m)
Calibration date     : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates      : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes                : (multiple lines)

8.3.1 Temp. Sensor Model   : WXT520
Manufacturer          : Vaisala
Serial Number        : G3930003
Data Sampling Interval : 15 sec
Accuracy             :
Aspiration           :
Height Diff to Ant   : 1.5 m
Calibration date     :
Effective Dates      : 2012-03-05/CCYY-MM-DD
Notes                :

8.3.x Temp. Sensor Model   :
Manufacturer          :
Serial Number        :
Data Sampling Interval : (sec)
Accuracy             : (deg C)
Aspiration           : (UNASPIRATED/NATURAL/FAN/etc)
Height Diff to Ant   : (m)
Calibration date     : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates      : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes                : (multiple lines)

8.4.x Water Vapor Radiometer :
Manufacturer          :
Serial Number        :
Distance to Antenna  : (m)
Height Diff to Ant   : (m)
Calibration date     : (CCYY-MM-DD)
Effective Dates      : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
Notes                : (multiple lines)

8.5.x Other Instrumentation : (multiple lines)

```


9. Local Ongoing Conditions Possibly Affecting Computed Position

- 9.1.x Radio Interferences : (TV/CELL PHONE ANTENNA/RADAR/etc)
 Observed Degradations : (SN RATIO/DATA GAPS/etc)
 Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
 Additional Information : (multiple lines)
- 9.2.x Multipath Sources : (METAL ROOF/DOME/VLBI ANTENNA/etc)
 Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
 Additional Information : (multiple lines)
- 9.3.x Signal Obstructions : (TREES/BUILDINGS/etc)
 Effective Dates : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
 Additional Information : (multiple lines)

10. Local Episodic Effects Possibly Affecting Data Quality

- 10.x Date : (CCYY-MM-DD/CCYY-MM-DD)
 Event : (TREE CLEARING/CONSTRUCTION/etc)

11. On-Site, Point of Contact Agency Information

Agency : Centro Nacional de Registros
 Preferred Abbreviation : CNR
 Mailing Address : 1 Calle Pte. y 43 Av. Nte. #2310
 : San Salvador, El Salvador

Primary Contact
 Contact Name : Wilfredo Amaya Zelaya
 Telephone (primary) : 503-260-7920 x 235
 Telephone (secondary) : 503-260-8000
 Fax : 503-260-7919
 E-mail : wamaya@cnr.gob.sv

Secondary Contact
 Contact Name : Carlos Adrian Rodriguez
 Telephone (primary) : 503-260-7920
 Telephone (secondary) :
 Fax : 503-260-7919
 E-mail : crodriguez@ign.cnr.gob.sv
 Additional Information :

12. Responsible Agency (if different from 11.)

Agency :
 Preferred Abbreviation :
 Mailing Address :
 Primary Contact :
 Contact Name :

```

Telephone (primary)      :
Telephone (secondary)   :
Fax                      :
E-mail                   :
Secondary Contact
Contact Name             :
Telephone (primary)     :
Telephone (secondary)   :
Fax                      :
E-mail                   :
Additional Information    :

```

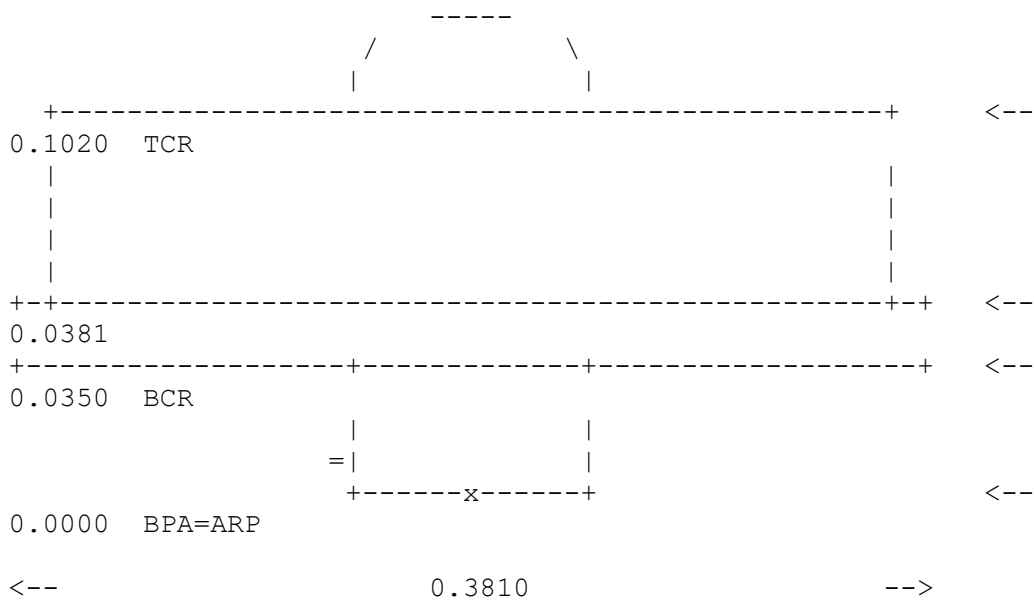
13. More Information

```

Primary Data Center      : CDDIS
Secondary Data Center    : IGN
URL for More Information : https://www.unavco.org
Hardcopy on File
Site Map                 :
Site Diagram             :
Horizon Mask             : (Y)
Monument Description     : (Y)
Site Pictures            : (Y)
Additional Information    :
Antenna Graphics with Dimensions

```

TRM29659.00



Anexo 5 - Archivo "ssia_14.coord.txt" SSIA

ITRF2014
 ILOPANGO AIRPORT (SSIA), UNIDENTIFIED DEPARTMENT
 OF EL SALVADOR

Retrieved from NGS DataBase on 01/31/23 at 17:38:43.

```

|
|
|      Antenna Reference Point(ARP): ILOPANGO AIRPORT CORS ARP
|
|      -----
|
|              PID = AI8353
|
|
|
|
| ITRF2014 POSITION (EPOCH 2010.0)
|
| Computed in Jan 2023 using 14 days of data.
|
|   X =      95567.010 m      latitude   =  13 41 49.50775 N
|
|   Y =    -6197785.568 m      longitude  =  089 06 59.74335 W
|
|   Z =     1500590.600 m      ellipsoid height =  626.631  m
|
|
| ITRF2014 VELOCITY
|
| Computed in Jun 2019 using data through gpswk 1933.
|
|   VX =     0.0085 m/yr      northward =   0.0014 m/yr
|
|   VY =     0.0015 m/yr      eastward  =   0.0085 m/yr
|
|   VZ =     0.0011 m/yr      upward    =  -0.0011 m/yr
|
|
| L1 Phase Center of the current GPS antenna: ILOPANGO AIRPORT CORS
| L1PC      |
| -----
| -----
|

```

```

| The Dorne Margolin with chokerings, Model 59 antenna
|
| (Antenna Code = TRM59800.80      SCIS) was installed on 31May2019.
|
|       The L2 phase center is 0.030 m above the L1 phase center.
|
|                               PID = DR4969
|
|
| ITRF2014 POSITION (EPOCH 2010.0)
|
| Computed in Jan 2023 using 14 days of data.
|
|       X =      95567.012 m      latitude   =  13 41 49.50778 N
|
|       Y =    -6197785.652 m      longitude  =  089 06 59.74334 W
|
|       Z =    1500590.621 m      ellipsoid height =  626.718   m
|
|
| The ITRF2014 VELOCITY of the L1 PC is the same as that for the
| ARP.
|
|_____
|_____

```

* Latitude, longitude and ellipsoid height are computed from their corresponding cartesian coordinates using dimensions for the GRS 80 ellipsoid: semi-major axis = 6,378,137.0 meters
flattening = 1/298.257222101...

* WARNING: Mixing of antenna types can lead to errors of up to 10 cm.
in height unless antenna-phase-center variation and antenna-phase-center offset are properly modeled. See next comment.

* The coordinates shown on this page were computed using absolute antenna calibrations. CORS coordinates began using absolute antenna calibrations beginning with IGS08 and NAD 83 (2011, MA11, PA11). For additional information on the derivation of these positions and velocities and antenna calibrations consult:

<http://geodesy.noaa.gov/CORS/coords.shtml>
<http://geodesy.noaa.gov/ANTCAL>

- * For more site specific information on the equipment history and monumentation type consult:
ftp://geodesy.noaa.gov/cors/station_log/ssia.log.txt
http://geodesy.noaa.gov/cgi-cors/corsage_2.prl?site=ssia

- * ITRF97 coords revised in April, 2001 due to Feb. 13, 2001 earthquake.
- * ITRF00 coords revised in Dec. 2001 due to Feb. 13, 2001 earthquake.
- * The NAD_83 position & velocity were revised in Mar. 2002.
- * The ITRF00 & NAD83 positions & velocities were revised in Aug. 2007.
- * The position & velocity were revised in Aug 2011.
- * The position & velocity were revised in Jun 2019.
- * The position & velocity were revised in Jan 2023.

Anexo 6 - Glosario técnico:

Términos y definiciones.

Agisoft Metashape: Es un producto de software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones GIS, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas.

Ajuste: El proceso de determinar y aplicar correcciones a observaciones con el fin de reducir errores en un ajuste de la red.

Altura de antena: La altura del centro de fase de la antena GPS sobre el punto que está siendo observado. La altura de antena sin corregir se mide desde el punto observado a un punto designado de la antena, y a continuación se corrige al valor verdadero vertical manual o automáticamente en el software.

Altura elipsoidal: La distancia, medida a lo largo de la perpendicular, desde la superficie del elipsoide a un punto.

Baudio: Es una unidad de transmisión de datos que se usa para referirse a la velocidad de las señales. Específicamente, representa la cantidad de veces que una señal cambia por segundo.

Coordenadas geográficas: Latitud, longitud y altura elipsoidal.

Coordenadas rectangulares: Coordenadas del sistema en que los ejes de referencia se interceptan en ángulos rectos.

Datum: Punto de referencia para la determinación de coordenadas. Hay dos tipos de datums: el horizontal y el vertical. El datum horizontal está constituido por el punto de tangencia entre el elipsoide y el geoide, o, dicho de otro modo, el lugar donde coinciden la vertical astronómica (la normal al geoide) y la vertical geodésica (la normal al elipsoide considerado). El datum vertical viene constituido por la superficie de altitudes nulas, que generalmente es el geoide en un punto concreto de la superficie terrestre.

Elevación: Distancia medida en el eje Z de una variable con respecto a un dátum vertical de origen. Generalmente, esta elevación recibe el nombre de ortométrica y se refiere al nivel medio del mar en alguna parte concreta del globo.

Elipsoide: Superficie de aproximación a la forma de la tierra empleada por los diferentes sistemas cartográficos. Se trata de la mejor forma posible de describir el geoide en términos matemáticos. Dada la complejidad de la forma de la tierra, es imposible tratarla tal como es en realidad con matemáticas, por lo que es necesario reducir su forma principal a una forma geométrica susceptible de ser descrita con números. El elipsoide es precisamente esa figura de aproximación que permite aplicar los diferentes sistemas de proyección cartográficos.

Estación base: Una antena y un receptor instalados en una posición conocida. Se utiliza para levantamientos cinemáticos en tiempo real (RTK) o levantamientos diferenciales. La estación base puede registrar datos para un post procesamiento posterior. En la práctica con GPS, el topógrafo observa y calcula líneas base (es decir, la posición de un receptor relativa a otro). La estación base actúa como la posición a partir de la cual se derivan todas las otras posiciones.

EXIF: Son las abreviaturas de Exchangeable Image File Format. Es un estándar creado para almacenar metadatos de las fotos hechas con cámaras digitales. Esto significa que los datos EXIF contienen información relativa a la propia imagen y a cómo ha sido tomada.

Fotogrametría: Medir sobre fotos.

Fotogrametría digital: Es la fotogrametría que se utiliza actualmente y emplea el uso de las computadoras y los programas o software aplicados a dar origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.

GNSS (Global Navigation Satellite System): Sistema Global de Navegación por Satélite, es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire.

Geodesia: Ciencia que estudia la forma y dimensiones del planeta tierra desde una perspectiva geométrica y matemática.

GPS (Global Positioning System): Sistema de posicionamiento global. Sistema que permite a un usuario dotado del correspondiente receptor, conocer su ubicación espacial con precisión en cualquier parte del globo y en tiempo real.

Modelo de Molodensky: Es un método de transformación de coordenadas pertenecientes a diferentes Datum.

NAD 27 (North American Datum 1927): Datum norteamericano 1927, dicho datum tiene su origen cerca del centro geométrico de los Estados Unidos, en Meades Ranch (Kansas), el elipsoide asociado es el Clark 1866 y este datum tiene cobertura en Norte América, Centro América y Panamá.

Nadir: Es la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste.

Nivel medio del mar: La altura media de la superficie del océano para todas las etapas de marea. Utilizado como referencia para las elevaciones.

Observaciones GPS: Una línea base GPS con errores asociados. A medida que el ajuste progresa, las observaciones se convierten en observaciones GPS ajustadas.

Ortofotos: Imagen corregida de desplazamientos debido a la perspectiva del sensor y al relieve, es decir que se restituyen las distorsiones existentes.

Plano nadir: Es aquel en el que el eje óptico de la cámara es perpendicular al suelo, de manera opuesta al plano cenital.

Postproceso: Procesamiento de los datos de satélite en una computadora después de su captura.

Resolución Espacial (GSD): Es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo.

Red Geodésica Nacional: Conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos o marcas físicas más o menos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su

interconexión y la determinación de su posición y altura o del campo gravimétrico asociado, con relación al sistema de referencia considerado.

Sesión: Periodo durante el cual uno o más receptores GPS registran datos de medición del satélite.

SIRGAS: Es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, y como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe.

Geodesia: ciencia que trata de la determinación de las dimensiones exactas y de la forma de la Tierra y de la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre.

Topografía: 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.

Red geodésica nacional SIRGAS-ES2007: Red Geodésica Básica Nacional

GPS de alta precisión: calcula de forma exacta las ubicaciones geográficas utilizando la información de los satélites de GPS

Modelo Digital de Terreno (MDT): Es una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital

Modelos Digitales de Elevación (MDE): Es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a un dato vertical.