



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Manual de prácticas para uso
de receptores GNSS y RPAS**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A

Corcia Jaqueline Aparicio Aguilar

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Jorge Peralta Enríquez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

“Lo que con mucho trabajo de adquiere, más se ama”.

-Aristóteles.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia, quienes me han acompañado y sostenido a lo largo de este proceso. Gracias por no permitirme rendirme ni abandonar este sueño. En especial, a mi madre, quien siempre vio en mí algo especial que ni siquiera yo podía ver. Este logro es para ella, como reconocimiento a su esfuerzo incansable y a su valentía para sacarnos a mi hermano y a mi adelante.

A mi hermano, por estar a mi lado en todo momento, sin importar las circunstancias.

Mi gratitud al Ing. David Arturo Ibarra Sáenz, cuyo apoyo trascendió la elaboración de este documento, acompañándome incluso en los momentos más difíciles de mi vida.

Al Ing. Jorge Peralta Enríquez, quien, desde nuestros días como estudiantes, ha sido una fuente de aprendizaje y guía en mi formación. Gracias a su enseñanza y apoyo, fue posible alcanzar este objetivo y concretar este trabajo.

Al Dr. José Enrique Santos Jallath, por inspirarme a emprender este camino académico desde hace más de 6 años.

Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han formado parte de este recorrido. A todas ellas, infinitas gracias, porque sin su ayuda y confianza, este logro no habría sido posible.

Índice

Introducción	1
Justificación	2
Objetivo	3
Práctica 1. Uso de equipo GNSS para obtener datos en modo estático	4
Práctica 2. Generación de línea base con GNSS para levantamientos con estación total	27
Práctica 3. Levantamiento de Áreas con GPS en tiempo real (modo RTK)	47
Práctica 4. Configuración del terreno con GPS en RTK	66
Práctica 5. Levantamiento con GNSS en modalidad NTRIP	86
Práctica 6. Práctica introductoria al uso del dron	105
Práctica 7. Levantamiento con Dron (Fotogrametría) y Referencia GPS	119
Conclusión	151

Índice de figuras

Figura 1. QR de la aplicación Emlid Flow. Fuente: Emlid.	5
Figura 2. Inicio de la interfaz Emlid Flow.	6
Figura 3. Módulo de estado.	6
Figura 4. Módulo de Base settings.	7
Figura 5. Módulo de configuraciones.	8
Figura 6. Módulo de configuraciones de GNSS.	9
Figura 7. Módulo de Levantamiento.	9
Figura 8. Perfil de usuario.	10
Figura 9. Administrar Router.	11
Figura 10. Posición.	11
Figura 11. Menú.	12
Figura 12. Colocación del trípode.	14
Figura 13. Base nivelante.	14
Figura 14. Adaptador de precisión.	15
Figura 15. Alzacuellos.	15
Figura 16. Receptor GNSS.	16
Figura 17. Botón de encendido Fuente: Emlid.	16
Figura 18. Conexión WiFi.	17
Figura 19. Administrar Router.	17
Figura 20. RTK Settings.	18
Figura 21. Configuración en “base mode”.	19
Figura 22. Configuración.	20
Figura 23. Reseteo del receptor.	20
Figura 24. Configuración en “RTK settings”.	21
Figura 25. Configuración en "base mode".	22
Figura 26. Configuración en “Logging”.	23
Figura 27. Configuración de “Position setting”.	24
Figura 28. Configuración de “base correction settings”.	24
Figura 29. Configuración en “RTK settings”.	25
Figura 30. Configuración en "base mode".	25
Figura 31. Administrar Router.	30
Figura 32. RTK Settings.	31
Figura 33. Configuración en “Base Mode”	32
Figura 34. Configuración en “Logging”.	33
Figura 35. Detener la grabación en “logging”.	34
Figura 36. Descarga del archivo tipo “RINEX”.	34
Figura 37. Configuración en “base mode” del segundo punto.	35
Figura 38. Configuración en “coordenadas base”.	36

Figura 39. Tipo de archivo observable.	36
Figura 40. Lectura del archivo tipo "RINEX".	37
Figura 41. Marco Geodésico.	38
Figura 42. Red geodesica activa.	38
Figura 43. Datos del levantamiento.	39
Figura 44. Union de archivos tipo "RINEX".	40
Figura 45. Estatico.	41
Figura 46. Ingresos de documentos correspondientes en "Emlid Studio".	41
Figura 47. Configuración de los datos estaticos 1.	42
Figura 48. Configuración de los datos estáticos 2.	43
Figura 49. Configuración de los datos estaticos 3.	44
Figura 50. Navegación.	44
Figura 51. Proceso "FIX".	44
Figura 52. Obtención de datos corregidos.	45
Figura 53. Administrar Router.	51
Figura 54. Configuración en "base mode".	51
Figura 55. Coordenadas base.	52
Figura 56. Configuración en "base mode".	53
Figura 57. Corrdenadas base.	53
Figura 58. Configuración en "RTK Settings".	54
Figura 59. Constelaciones.	54
Figura 60. Configuración en "correction input"	55
Figura 61. Estatus 2.	56
Figura 62. Estatus 1.	56
Figura 63. Creación de un nuevo proyecto.	57
Figura 64. Configuración del proyecto.	58
Figura 65. Toma de datos.	59
Figura 66. Toma correcta de los datos.	59
Figura 67. Guardar dato.	59
Figura 68. Guardado de datos en archivo tipo "csv".	60
Figura 69. Creación de un nuevo proyecto.	61
Figura 70. Importar fichero 1.	61
Figura 71. Importar fichero 2.	62
Figura 72. Importar fichero 3.	62
Figura 73. Formato del fichero.	62
Figura 74. Importar fichero 4.	63
Figura 75. Dibujo.	63
Figura 76. Fichero de puntos.	64
Figura 77. Dibujo del levantamiento.	64
Figura 78. Administrar Router.	69
Figura 79. Configuración en "base mode".	70

Figura 80. Configuración en “base coordinates”.	70
Figura 81. Configuración en “base mode” para el rover.	71
Figura 82. Configuración en “base coordinates” para el rover.	72
Figura 83. Configuración en “RTK settings”.	72
Figura 84. Selección de las constelaciones.	73
Figura 85. Configuración en “correction input”.	73
Figura 86. Estatus 2.	74
Figura 87. Estatus 1.	74
Figura 88. Creación de un proyecto nuevo.	75
Figura 89. Configuración del proyecto nuevo.	76
Figura 90. Toma de datos.	77
Figura 91. Toma incorrecta de los datos (izquierda) y toma correcta de los datos (derecha).	77
Figura 92. Guardado del dato.	77
Figura 93. Exportación de los datos en un archivo “csv”.	78
Figura 94. Creación de un nuevo proyecto en RecMin.	79
Figura 95. Importar fichero 1.	79
Figura 96. Importar fichero 2.	80
Figura 97. Importar fichero 3.	80
Figura 98. Formato del fichero.	80
Figura 99. Importar fichero 4.	81
Figura 100. Dibujo.	81
Figura 101. Fichero de puntos.	82
Figura 102. Dibujo del levantamiento.	82
Figura 103. Triangulación en RecMin.	83
Figura 104. Generación de curvas de nivel en RecMin.	84
Figura 105. Datos de Emlid Caster para la base.	88
Figura 106. Datos de Emlid caster para el rover.	88
Figura 107. Conexión Wi-Fi de la base.	89
Figura 108. Correcciones vía internet.	89
Figura 109. Datos de la base.	90
Figura 110. Local NTRIP.	90
Figura 111. Reach panel.	90
Figura 112. Configuración en "RTK Settings".	91
Figura 113. Configuración de NTRIP.	92
Figura 114. Configuración en "Base coordinates".	92
Figura 115. Conexión Wi-Fi de la base.	93
Figura 116. Configuración en "entrada de correcciones".	94
Figura 117. Datos del rover.	94
Figura 118. Creación de un nuevo proyecto.	95
Figura 119. Toma de datos.	96

Figura 120. Enlace incorrecto de NTRIP.	96
Figura 121. Exportación de datos.	97
Figura 122. Creación de un nuevo proyecto en RecMin.	98
Figura 123. Importar fichero 1.	98
Figura 124. Importar fichero 2.	99
Figura 125. Importar fichero 3.	99
Figura 126. Formato del fichero.	99
Figura 127. Importar fichero 4.	100
Figura 128. Dibujo.	100
Figura 129. Fichero de puntos.	101
Figura 130. Dibujo del levantamiento.	101
Figura 131. Triangulación en RecMin.	102
Figura 132. Generación de curvas de nivel en RecMin.	103
Figura 133. Componentes del Mavic 2 Pro.	109
Figura 134. Componentes del Mavic 3.	109
Figura 135. Hélices del RPAS.	110
Figura 136. Conexión del RPAS en DJI.	110
Figura 137. Ajuste de altura y distancia máxima para Mavic 3.	111
Figura 138. Advertencia de los límites permitidos de altura máxima.	111
Figura 139. Batería y número de satélites visibles en Mavic 3.	112
Figura 140. Configuración avanzada en Mavic 3	112
Figura 141. Almacenamiento y formato de imagen en Mavic 3.	113
Figura 142. Visualización del mapa en Mavic 3.	113
Figura 143. Información de zonas restringidas y permitidas para volar.	114
Figura 144. Mando del Mavic 2 Pro.	114
Figura 145. Distancia y altura del RPAS.	115
Figura 146. Aterrizaje automático del Mavic 3.	115
Figura 147. Crear área.	122
Figura 148. Configuración de la cuadrícula 1.	123
Figura 149. Doble cuadrícula.	123
Figura 150. Configuración de la cuadrícula 2.	124
Figura 151. Configuración de la superposición de las fotografías.	125
Figura 152. Configuración de la cámara.	125
Figura 153. Guardar proyecto.	126
Figura 154. Configuración de la cuadrícula 3.	126
Figura 155. Guardado en la nube.	127
Figura 156. Cargado del sitio en el dispositivo móvil.	128
Figura 157. Conexión del RPAS en DJI.	129
Figura 158. Ejecución de la misión.	129
Figura 159. Aterrizaje automático del Mavic 3.	130
Figura 160. Conexión del RPAS en DJI.	131

Figura 161. Mando del Mavic 2 Pro.	131
Figura 162. Dial de inclinación de la cámara.	132
Figura 163. Plan del vuelo de trayectoria.	132
Figura 164. Agregar "pines".	133
Figura 165. Colocación de los "pines".	133
Figura 166. Sugerencia de cuadrícula.	134
Figura 167. Ajuste de la velocidad del vuelo.	134
Figura 168. Guardado del plan de vuelo.	135
Figura 169. Aterrizaje automático del Mavic 3.	135
Figura 170. Plan del vuelo de trayectoria.	136
Figura 171. Ejecución del plan de vuelo.	136
Figura 172. Visualización de la ruta.	137
Figura 173. Retorno del RPAS.	137
Figura 174. Aterrizaje automático del Mavic 3.	138
Figura 175. Cargado de imágenes.	139
Figura 176. Calibración de la cámara.	140
Figura 177. Alinear fotos.	141
Figura 178. Vista de las cámaras sobre el modelo.	142
Figura 179. Vista isométrica de la nube de puntos.	142
Figura 180. Optimización de cámaras.	143
Figura 181. Generación de puntos densa.	144
Figura 182. Modelo de nube de puntos densa.	145
Figura 183. Vista isométrica de la nube de puntos densa 2.	145
Figura 184. Configuración para construir un modelo sólido.	146
Figura 185. Vista de planta del modelo 3D sólido.	147
Figura 186. Configuración para obtener el modelo texturizado.	148
Figura 187. Vista de planta del modelo texturizado.	149
Figura 188. Comparación entre el modelo sin texturizar (izq.) y el modelo texturizado (der.).	149

Introducción

El presente manual ha sido desarrollado con el propósito de facilitar el aprendizaje y la utilización de los equipos adquiridos por la Facultad de Ingeniería de la UNAM en la fecha de creación de este documento. Dichos equipos incluyen los receptores GNSS modelos Emlid RS2 y RS2+, al igual que los drones DJI Mavic 2 Pro y Mavic 3.

La implementación de estas prácticas es de gran importancia para las futuras generaciones de ingenieras e ingenieros de minas y metalurgia, ya que dichas tecnologías han comenzado a integrarse de manera significativa en la industria minero-metalúrgica. Proporcionar a los estudiantes este conocimiento durante su etapa de formación les permite adquirir herramientas fundamentales que fortalecerán sus competencias y aumentarán su capacidad para enfrentar los desafíos de su futuro ejercicio profesional.

Por tanto, se recomienda a los docentes interesados en implementar estas prácticas que profundicen en los puntos abordados en el marco teórico y en otros conceptos que se desarrollan durante la ejecución de las prácticas. Esto podría ayudar a los alumnos a comprender los procedimientos explicados, lo que posibilitaría la extrapolación de dichos conocimientos a otros modelos de receptores GNSS y de vehículo aéreo no tripulado (RPAS).

En cuanto al manual, este se estructura desde diversos segmentos, entre los cuales se encuentran el marco teórico, que ofrece una breve descripción teórica del tema tratado en la práctica, aplicaciones de las prácticas en la industria minero-metalúrgica y los objetivos. Asimismo, se abordan los materiales mínimos indispensables, aunque se aconseja revisarlos con anticipación, especialmente en las dos últimas prácticas, que requieren trámites que se deben realizar con varios días de antelación. También se incluye un procedimiento que otorga flexibilidad al docente para explorar los diversos alcances de la práctica, junto con referencias consultadas tanto para la elaboración como para una mayor profundización.

Por otro lado, el procedimiento de las prácticas se presenta de manera detallada y secuencial, y se respalda con material visual, que incluye un resumen de la explicación mediante elementos como cuadros de texto, flechas y numeración. Este enfoque convierte el procedimiento en una representación visual que facilita la consulta rápida en caso de que no se alcance un entendimiento total.

En conclusión, este manual de prácticas ha sido diseñado para que las personas con conocimientos básicos en topografía puedan aprender a manejar los receptores GNSS y RPAS desde cero; ello, mediante el proceso de aprendizaje gradual que se desarrolla a lo largo de las prácticas.

Justificación

El uso del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) en la topografía es de gran importancia debido a sus capacidades para proporcionar información precisa y confiable sobre las ubicaciones geográficas. Entre las principales razones para utilizar dicha tecnología en los métodos de medición se tienen la precisión para la ubicación, la eficiencia en mediciones largas y laboriosas frente a otro tipo de instrumentos de medición, una mayor cobertura por sus receptores, la integración de datos en sistemas de información geográfica (SIG) y de diseño asistido por computadora, un mejor control de calidad y la posibilidad de acceso a áreas difíciles.

La topografía desempeña un papel crucial en la industria minera por varias razones importantes que afectan directamente la planificación, la seguridad, la eficiencia operativa y la rentabilidad de las operaciones. Esta proporciona información crítica para tomar decisiones informadas y garantizar que las operaciones se realicen de manera efectiva y sostenible.

De esa manera, ante el rápido progreso de las nuevas tecnologías en el campo de las mediciones topográficas, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y sobre todo la carrera de ingeniería de minas y metalurgia, se encuentran ante el desafío de mantenerse a la vanguardia. Por lo que resulta fundamental proporcionar a los estudiantes un espacio educativo que se ajuste a las cambiantes demandas del mundo actual y, en este contexto, se ha desarrollado un documento destinado a la implementación de tecnologías como la del GNSS y la fotogrametría.

Por consiguiente, el propósito principal de esta iniciativa es integrar estas tecnologías de forma efectiva en el entorno educativo, a fin de contribuir al progreso y la mejora continua de la educación en la institución de mayor renombre en el país. En ese contexto, la introducción del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la fotogrametría en el aula no solo garantiza la formación de los estudiantes en herramientas de última generación, sino que también se alinea con la constante evolución del ámbito tecnológico y las necesidades de la industria minera.

Al adoptar estas tecnologías, la UNAM no solo cumple con su compromiso de ofrecer una educación de calidad, sino que también prepara a sus estudiantes para enfrentar los retos y oportunidades que surgen en un mundo cada vez más tecnológico y globalizado. Este enfoque innovador busca fusionar el conocimiento teórico con la aplicación práctica de herramientas tecnológicas, con el propósito de garantizar que los graduados estén equipados con habilidades relevantes y valiosas para su carrera profesional.

Objetivo

En este manual de prácticas se busca integrar de manera efectiva las tecnologías del GNSS y la fotogrametría en el entorno educativo de la carrera de ingeniería de minas y metalurgia, con el fin de contribuir al progreso y la mejora continua de la educación en la UNAM, así como preparar a los estudiantes para los desafíos y oportunidades en su futuro ejercicio profesional.

Al respecto, es importante proporcionar a los estudiantes conocimientos sólidos sobre el uso del GNSS en topografía, pues este puede proporcionar información precisa y confiable sobre ubicaciones geográficas. Además, se tiene que incluir la enseñanza de las aplicaciones y los beneficios de la fotogrametría en el ámbito de la topografía, los cuales se enfocan en su contribución a la planificación, la seguridad, la eficiencia operativa y la rentabilidad en la industria minera.

En conclusión dicho manual de prácticas busca que las alumnas y los alumnos de la carrera de ingeniería de minas y metalurgia tengan una oportunidad de aprender nuevas técnicas de levantamientos topográficos con el fin de brindarles herramientas que los ayuden con su futuro ejercicio profesional.

Práctica 1. Uso de equipo GNSS para obtener datos en modo estático

Marco teórico

Diferencias entre GPS y GNSS

El GPS y el GNSS son dos sistemas relacionados que se utilizan para la determinación de la ubicación geoespacial. El GPS es el nombre de un sistema de navegación por satélite desarrollado y operado por el Gobierno de los Estados Unidos.

El sitio web USA gov (<https://www.gps.gov/spanish.php>) afirma que el sistema GPS utiliza una constelación de satélites en órbita alrededor de la Tierra para proporcionar información de ubicación precisa a los receptores en la superficie del planeta.

Por otro lado, el término GNSS se refiere de manera general a cualquier sistema de navegación por satélite que pueda proporcionar información de ubicación global. Algunos ejemplos de sistemas GNSS incluyen el GPS (Estados Unidos), el Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS) de Rusia, Galileo (LEO) de la Unión Europea y BeiDou (BDS) de China. Estos sistemas, aunque comparten principios básicos, difieren en características técnicas, como las frecuencias utilizadas, la cantidad de satélites y su cobertura global.

Es decir, el sistema GPS es un componente específico del GNSS y, aunque con frecuencia se emplea como término genérico para describir la navegación satelital, es solo uno de los varios sistemas disponibles a nivel mundial.

GPS

El GPS es un sistema de navegación por satélite que permite determinar con gran precisión la ubicación geográfica en cualquier lugar de la Tierra. Este se ha convertido en una herramienta con diversas aplicaciones: la navegación en el celular, la geolocalización de vehículos, la agricultura, la cartografía, etc.

Según el Centro de Información y Análisis para la Coordinación del Tiempo y el Apoyo a la Navegación del Gobierno Ruso, su funcionamiento se basa en una constelación de hasta 32 satélites en órbita alrededor de la Tierra, donde cada uno emite señales de radio precisamente sincronizadas que contienen información sobre su posición y la hora exacta en que se transmite la señal.

Para determinar su ubicación, un receptor GPS necesita recibir señales de al menos cuatro satélites; en ese sentido, se utiliza el principio de trilateración, que implica medir el tiempo que tarda la señal en viajar desde cada satélite hasta el receptor. Dado que la velocidad de la luz es constante, el receptor puede calcular la distancia a cada satélite según la diferencia de tiempo entre la emisión de la señal y su recepción. Con estas distancias conocidas a los satélites y sus coordenadas conocidas en el espacio, el receptor puede calcular su propia ubicación con una precisión de varios metros. (Carvalza, 2020).

Interfaz

Aplicación

En los manuales de Emlid nos indican que para su configuración es necesario instalar la aplicación de Emlid Flow en cualquier dispositivo móvil iOS o Android para gestionar el GPS Reach RS2; dicha aplicación se puede encontrar escaneando el QR mostrado en la figura 1 proporcionada por la empresa Emlid.



[Descargar Emlid Flow](#)

Figura 1. QR de la aplicación Emlid Flow. Fuente: Emlid.

En la aplicación cuando esté conectado el receptor se tendrá un menú de inicio en donde se podrán mostrar diversas configuraciones como se muestra en la figura 2.

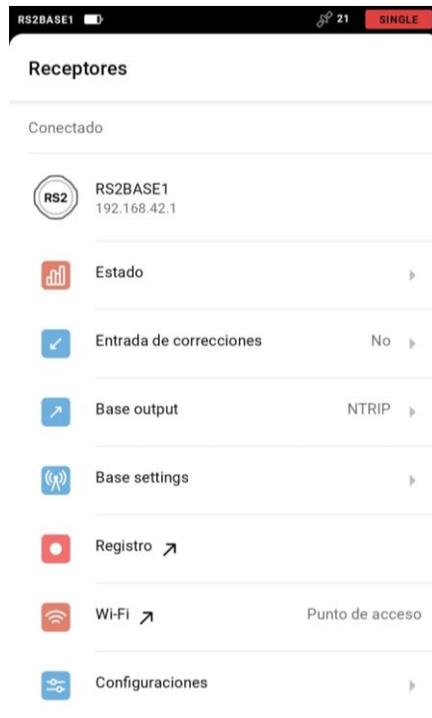


Figura 2. Inicio de la interfaz Emlid Flow.

En el módulo de “estado” podremos ver los satélites a los cuales está conectado el receptor y la calidad de la señal, si las barras que se muestran están de color verde significa que la señal es buena, sin embargo, si las barras son de color amarillo o rojo quiere decir que la señal es de no muy buena a mala (figura 3).



Figura 3. Módulo de estado.

En el módulo “base settings” se podrán observar las coordenadas en donde se colocó el receptor y en el botón de configurar se podrá colocar la altura del receptor para acabar de configurar (figura 4).

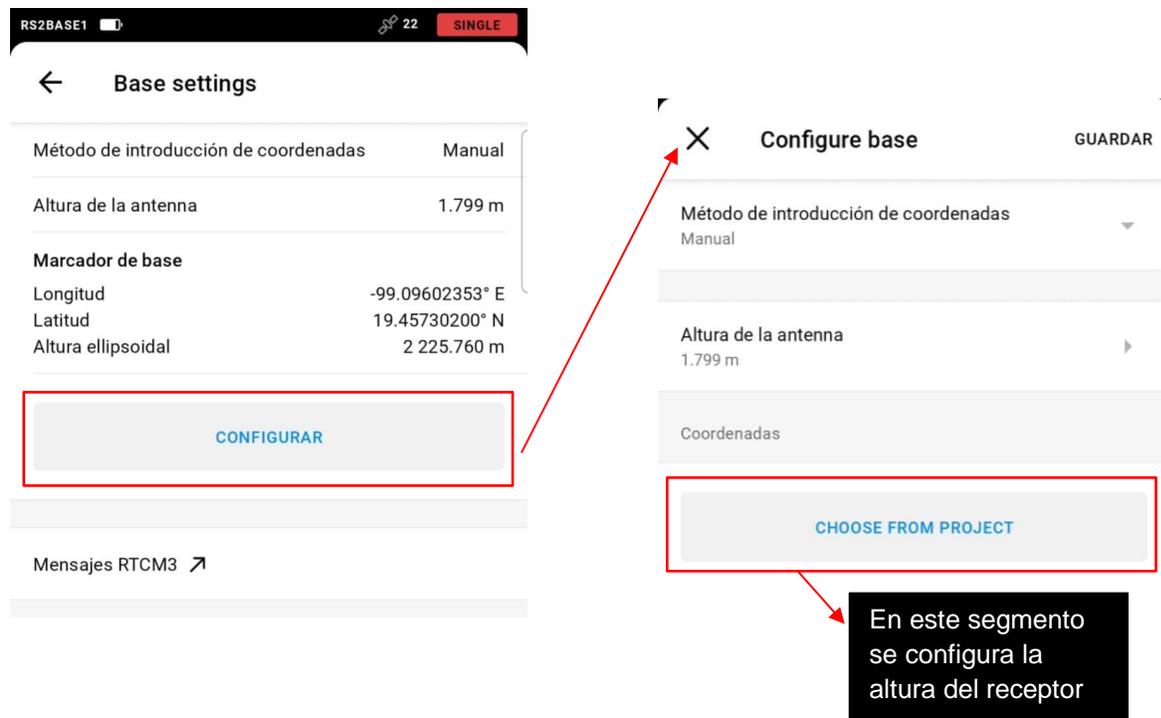


Figura 4. Módulo de Base settings.

En el módulo “configuraciones” se podrá configurar diversas funciones referentes a las conexiones mediante datos móviles, bluetooth, configuraciones GNSS, actualizaciones de firmware, el sonido y modo nocturno (figura 5).



Figura 5. Módulo de configuraciones.

Un aspecto importante que resaltar del receptor GNSS Emlid Reach RS2 y RS2+ es que permite cambiar entre los diferentes sistemas de GNSS y no solo funciona como un receptor GPS, como se muestra en la figura 6.

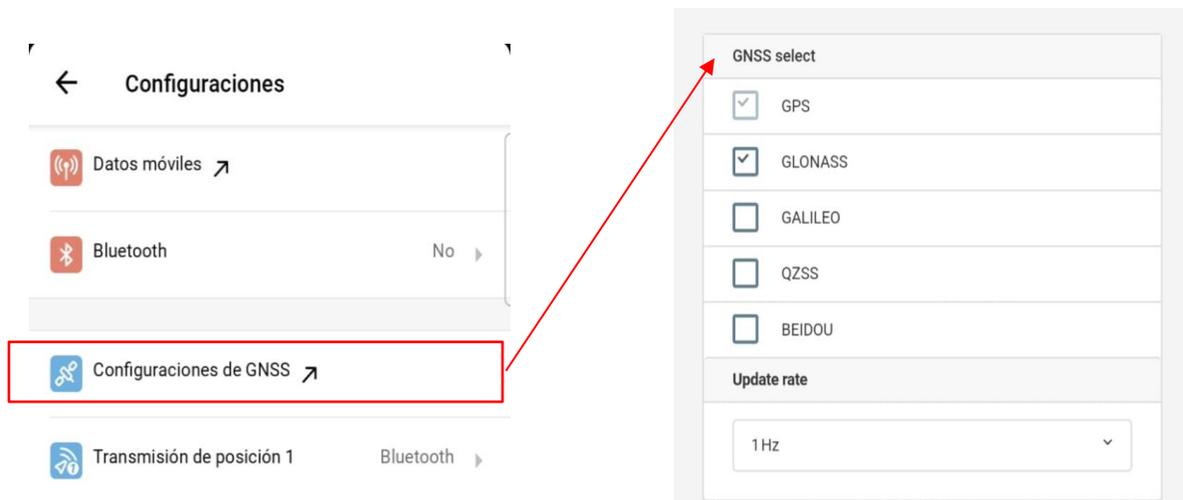


Figura 6. Módulo de configuraciones de GNSS.

En la barra inferior del menú de inicio se encontrará una opción de levantamientos en donde se observarán todos los levantamientos realizados, en el icono con el signo más (+) permite generar nuevos proyectos con la facilidad y cambiar el sistema de coordenadas y las unidades lineales (figura 7).

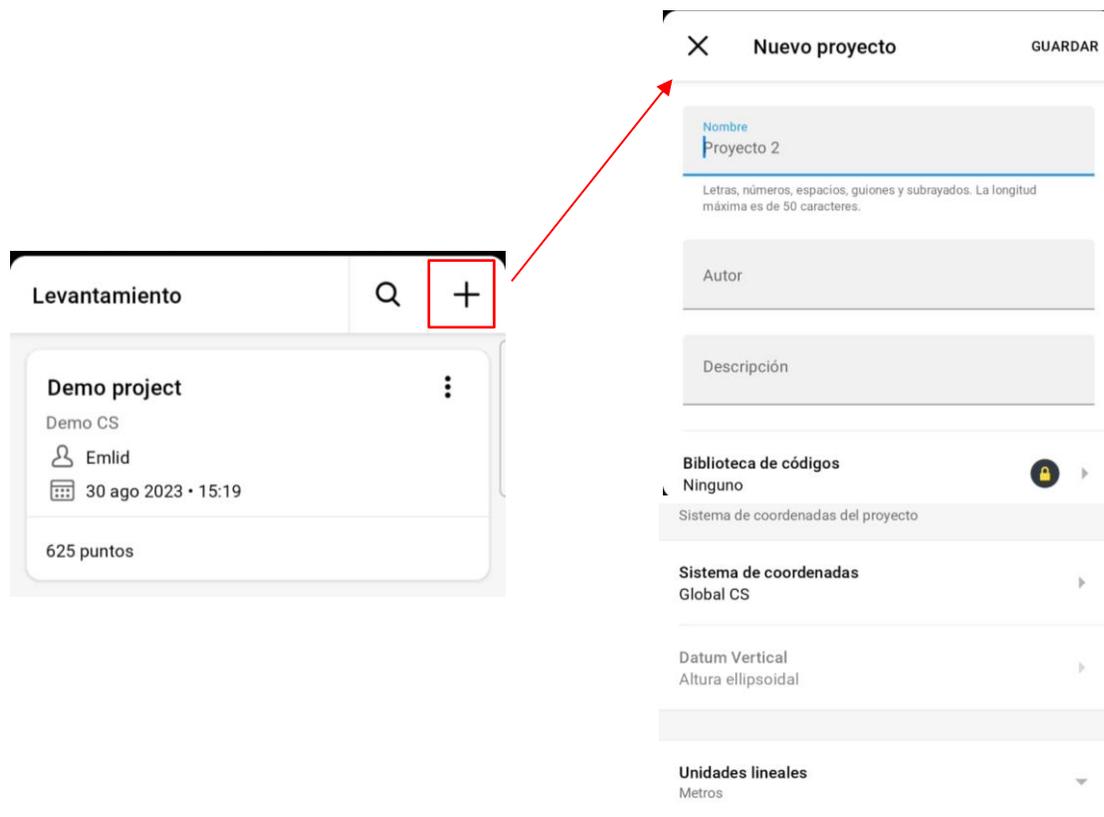


Figura 7. Módulo de Levantamiento.

Por último, en la última opción de la barra inferior del menú principal se encontrará el perfil del usuario de la aplicación EmlidFlow (figura 8).

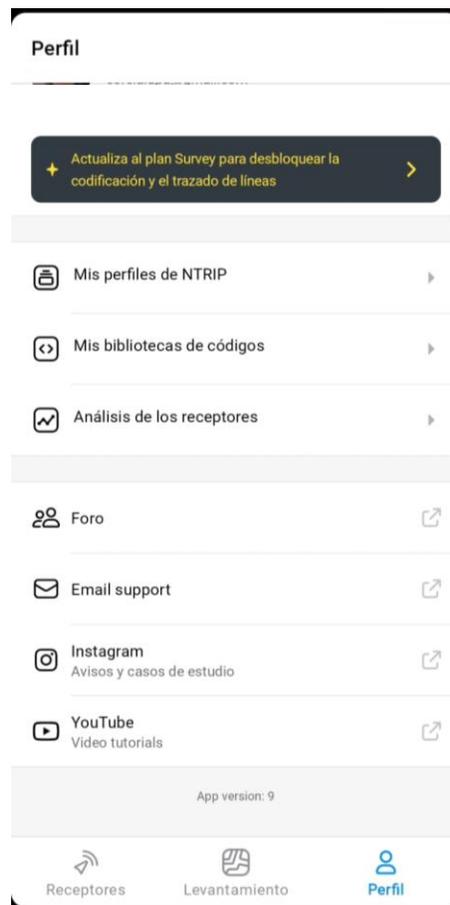


Figura 8. Perfil de usuario.

Las funciones que no fueron explicadas en esta introducción se tratarán a detalle a lo largo de este documento.

Router

Para acceder a configuraciones más avanzadas se puede configurar el receptor GNSS a través de router, para ello, se debe de ir a la conexión Wifi y seleccionar el equipo para conectarse, en el engrane, “administrar router” (figura 9).

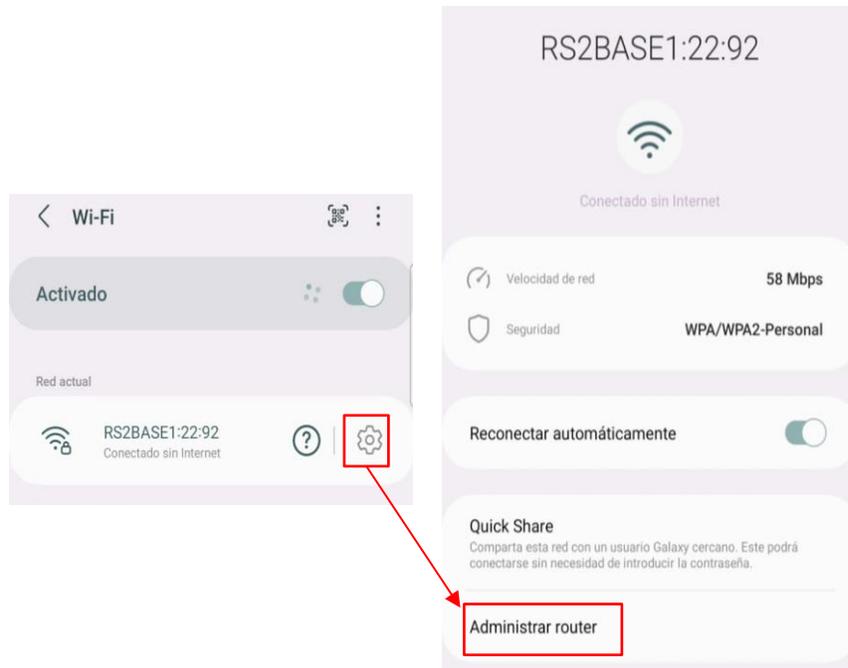


Figura 9. Administrar Router.

En el inicio se podrá ver el estatus de la señal y la cantidad de satélites de las que recibe señal el receptor; está funciona de igual forma que en la aplicación. Si bajamos la ventana podemos ver un resumen de la configuración del receptor en el apartado de posición y de solución, así como las coordenadas aproximadas en las que se encuentra el receptor actualmente (figura 10).

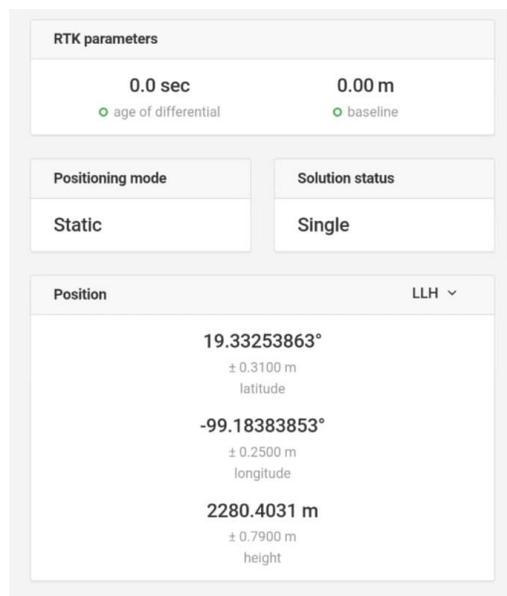


Figura 10. Posición.

En la parte superior izquierda de la pantalla se encontrará un botón con 4 rallas en las cuales desplegará un menú con diferentes módulos que son los mismos que contiene la aplicación, pero la diferencia que tienen con él es que en cada uno se pueden hacer configuraciones más avanzadas, las cuales serán exploradas más adelante (figura 11).

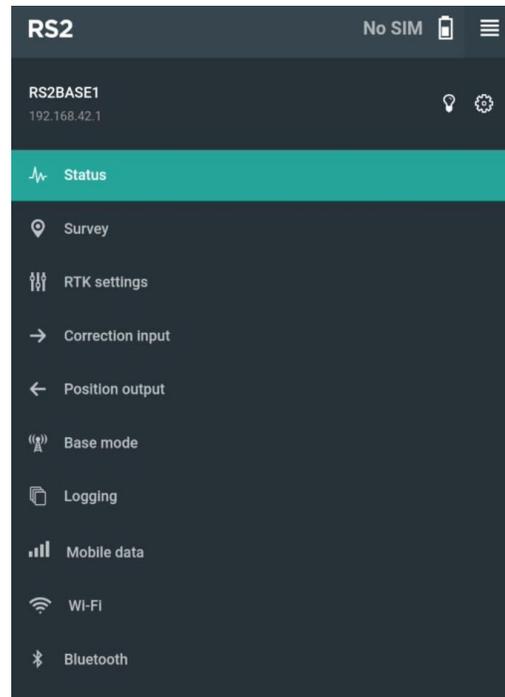


Figura 11. Menú.

Objetivos

- La y el alumno deberá familiarizarse con el funcionamiento básico de un receptor GPS y adquirir habilidades para obtener coordenadas de ubicación precisas utilizando un receptor GPS.
- La y el alumno comprenderá la diferencia entre el GPS y el GNSS.
- La y el alumno tendrá los conocimientos básicos del equipo y sus partes, así como sus funciones básicas de encendido, apagado, configuración e información de coordenadas.
- La y el alumno conocerá como el receptor GPS adquiere señales de satélite para calcular una ubicación precisa.
- La y el alumno conocerá los factores que influyen en la precisión y error en las mediciones GPS.
- La y el alumno aprenderá como tomar datos en modo estático.

Material

- Receptor GNSS.
- Trípode.
- Teléfono inteligente o tableta con sistema operativo iOS o Android.
- Base nivelante.
- Adaptador.
- Alzacuellos.
- Antena receptora.
- Cinta métrica.
- Estaca.
- Libreta de campo.

Procedimiento

Colocación del equipo y nivelado.

1. Colocar una estaca como punto (punto inicial) sobre el cual se nivelará el equipo.
2. Desenroscar los tres tornillos del trípode para permitir la extensión de las patas, de modo que la parte superior del trípode quede al nivel de los ojos.
3. Luego, ajustar los tornillos de las patas para asegurar fijar su posición.
4. Separar las patas del trípode de manera que formen un triángulo equilátero en la superficie, asegurándose de que cada pata tenga un ángulo aproximado de 60 grados con respecto al plano horizontal del suelo para garantizar su estabilidad.
5. Visualizar en la parte superior del trípode el punto que se colocó en el paso 1.
6. Observar la parte superior del trípode; si está alineada horizontalmente, proceder con el siguiente paso. En caso contrario: aflojar el tornillo de la pata opuesta al punto más alto de la base del trípode, extiéndala y asegúrela hasta que esa esquina de la parte superior del trípode quede alineada con la parte superior de la pata, de manera que quede perpendicular al nivel del piso (figura 12).



La base nivelante debe de estar perpendicular al terreno

Figura 12. Colocación del trípode.

7. Posteriormente, colocar la base nivelante fijándola con el tornillo de la base del trípode.
8. Por medio de la plomada óptica, verificar que coincida con el punto 1. En caso de que no coincida dejar una pata fija del trípode como pivote y alzar las otras dos patas hasta que la plomada coincida con el punto inicial.
9. Se procederá a nivelar el nivel burbuja, para ello se tiene que liberar el tornillo de la pata contraria a la orientación de la burbuja del nivel, de tal manera que se forme una línea entre ambos elementos; fijar la pata, repetir dicho procedimiento con las diferentes patas hasta que la burbuja se encuentre centrada (figura 13).

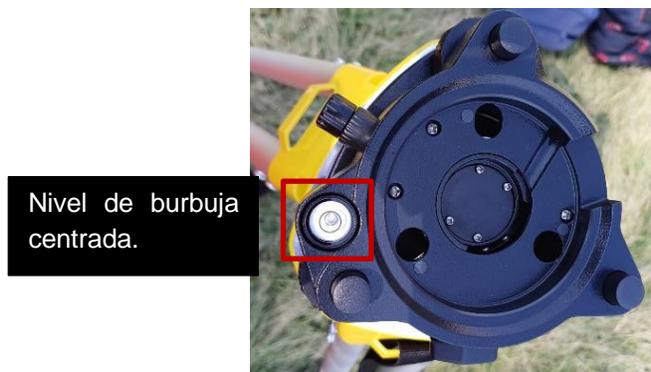


Figura 13. Base nivelante.

10. Colocar el adaptador de precisión y ajustar ambos tornillos del adaptador con el fin de asegurar que quede fijo a la base nivelante (figura 14).



Figura 14. Adaptador de precisión.

11. Atornillar el alzacuellos al adaptador (figura 15).



Figura 15. Alzacuellos.

12. Colocar el receptor GNSS enroscado sobre el alzacuellos.

13. Por último, en el puerto lateral llamado “Lora”, enroscar la antena (figura 16).



Figura 16. Receptor GNSS.

Programación inicial

14. Una vez instalado el equipo se deberá mantener pulsado el botón de encendido durante 5 segundos para encender la unidad. Se debe esperar unos 30 segundos hasta que los LED de encendido dejen de parpadear y el LED de red permanezca fijo en blanco, cuando esto suceda el equipo estará transmitiendo una red Wi-Fi (figura 17).

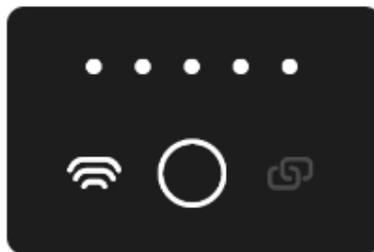


Figura 17. Botón de encendido Fuente: Emlid.

15. Desactivar los datos móviles del dispositivo inteligente con el fin de poder conectarse al punto de acceso del Reach.
16. De acuerdo con los manuales de Emlid, para establecer la conexión entre un dispositivo móvil y el receptor GNSS, es necesario acceder a la configuración de Wi-Fi del dispositivo inteligente y seleccionar la red identificada como "RS2BASE1:22:92". Posteriormente, se debe ingresar la contraseña predeterminada "emlidreach" (Figura 18).

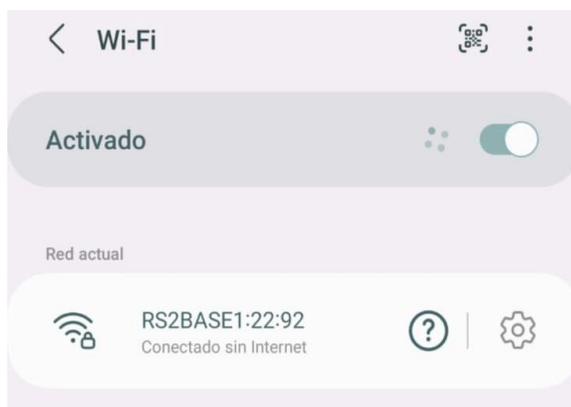


Figura 18. Conexión WiFi.

Nota: El nombre de la red WiFi que emita el receptor puede variar dependiendo del modelo.

17. Una vez que se conecte al receptor a través de Emlid Flow, se podrá acceder a los ajustes y configurarlo para el levantamiento.

Toma de un dato estático sin procesar.

18. Cuando el dispositivo móvil esté conectado al Emlid, abrir el router en el icono de engrane (figura 19).

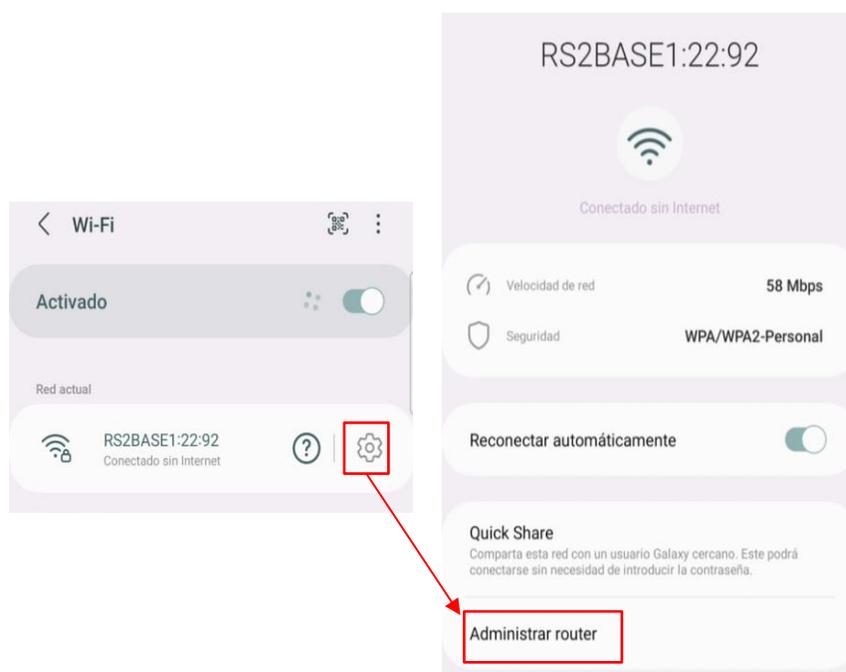


Figura 19. Administrar Router.

19. En la opción de “RTK Setting”, configurar el receptor como se muestra en la figura 20.

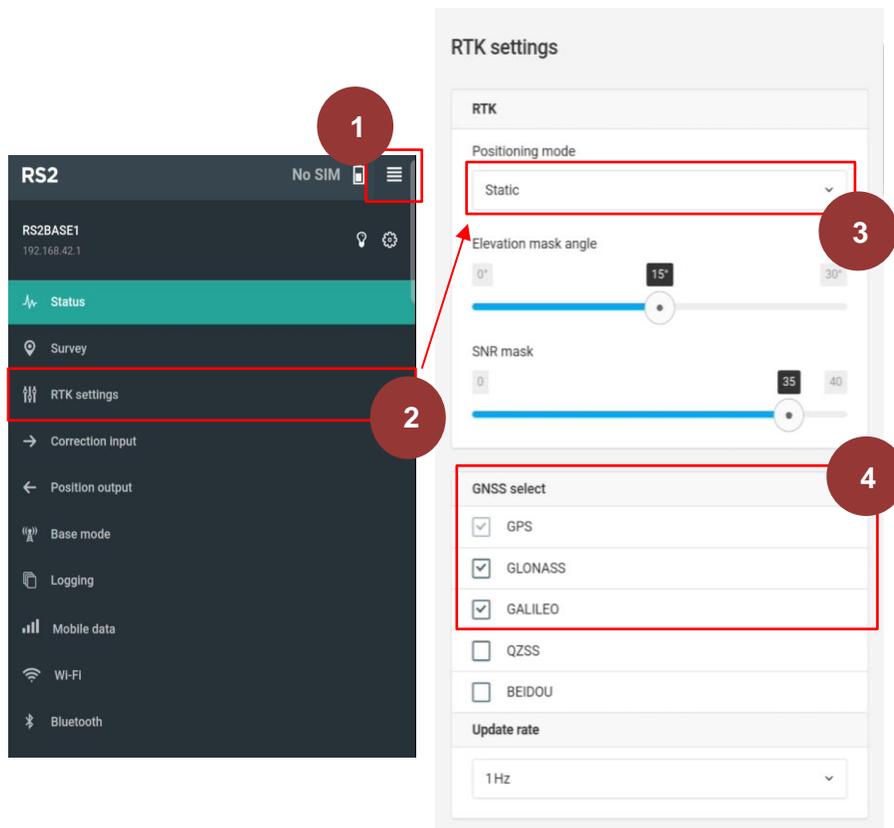


Figura 20. RTK Settings.

20. En el menú, el módulo de “base mode” y en el apartado de coordenadas base se hará una configuración sencilla, se seleccionará la opción de “average single”, posteriormente se seleccionará el tiempo de 3 minutos y, por último, guardar. El receptor empezará a tomar datos por el tiempo que se le asignó y al finalizar el proceso los promediará automáticamente y arrojará las coordenadas (figura 21).

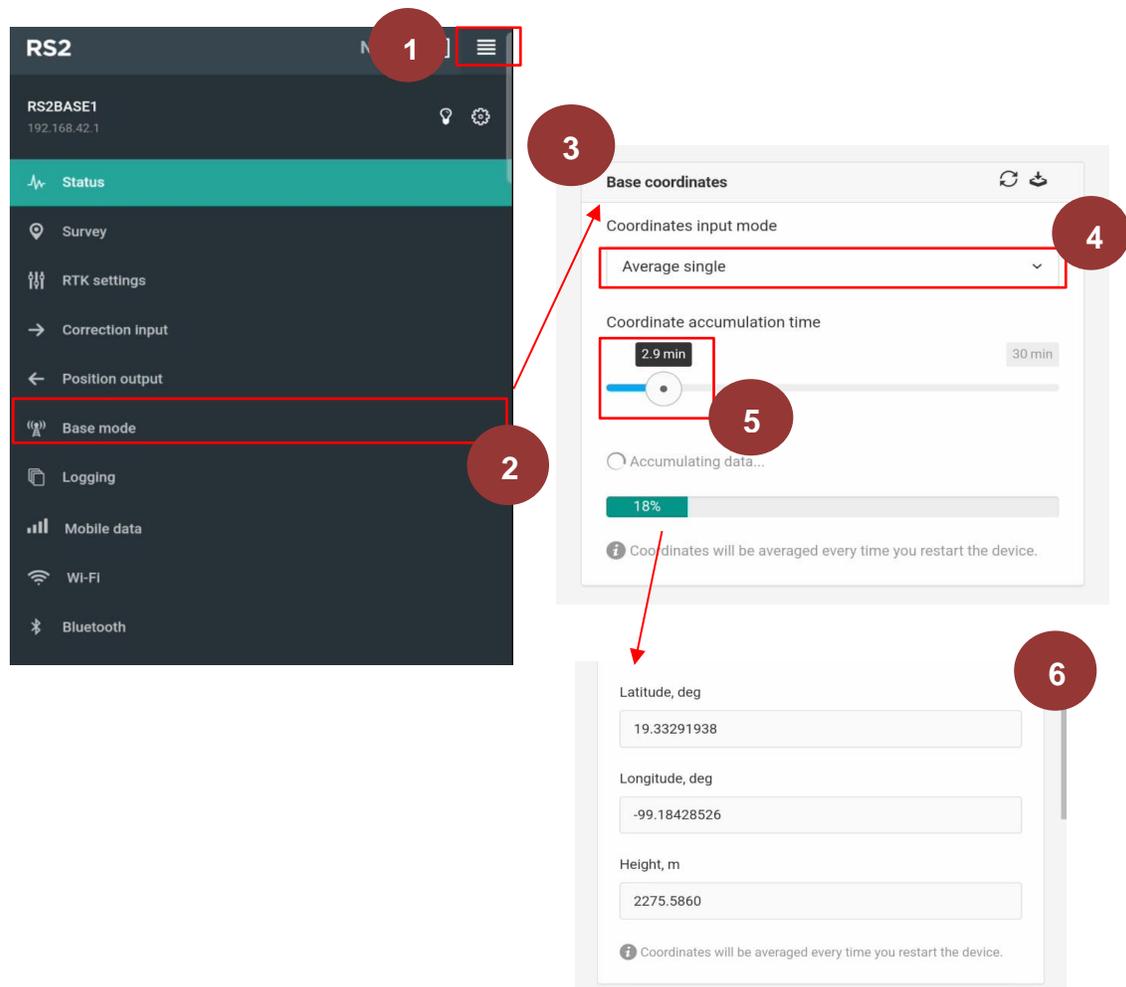


Figura 21. Configuración en “base mode”.

21. Una vez terminado el proceso, apagar el equipo y cambiar de locación.

22. Repetir el proceso anterior desde el paso 1 al 4 cuantas veces se requiera.

Restablecer el equipo a la configuración de fábrica y reconfigurar.

Según el video de Topografía GNSS (2022), el procedimiento para restablecer el equipo es útil cuando se presenta un problema de conexión. En tales casos, se recomienda restaurar la configuración inicial del dispositivo, ya que esta acción puede resolver de manera eficaz los inconvenientes relacionados con la conectividad.

Los posibles problemas de conexión son los siguientes:

- Conexión celular – receptor.
- Conexión base – rover.
- Conexión receptor – Wifi.

Procedimiento:

Para la base:

23. Con el equipo ya prendido y conectado, presionar el botón en la parte superior de la pantalla hay un botón con 4 rallas paralelas, en este se desplegará un menú con los diferentes módulos, en pulsar la pantalla en la figura del engrane (figura 22).

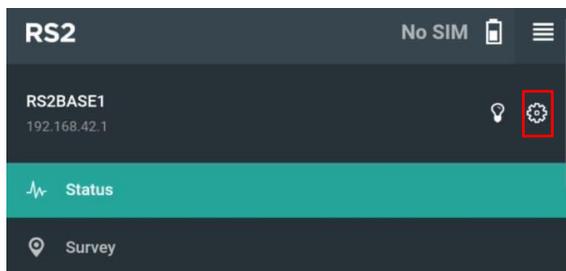


Figura 22. Configuración.

24. Bajar la pantalla hasta encontrar el apartado de “Restablecer la configuración a los valores predeterminados” y pulsar el botón para que reinicie. Después de unos segundos sonará un pitido, el cual significa que el equipo ha sido reiniciado (figura 23).

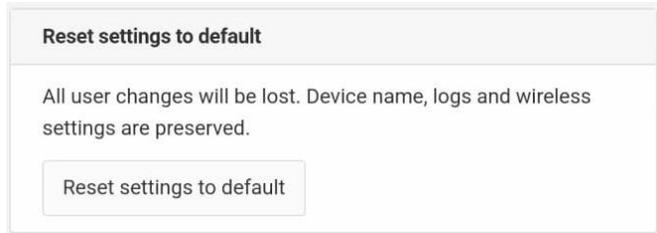


Figura 23. Reseteo del receptor.

25. Cerrar la ventana del router.

26. Con la ventana la cerrada, volver a conectarse y abrir el router desde la conexión wifi.

27. Primero aparecerán avisos de privacidad de los cuales se aceptarán todos. Posteriormente, en el módulo de “RTK Setting” poner en la opción de modo estático con un ángulo de elevación de 15° y un “SNR mask” de 35°, y presionar el botón de aplicar (figura 24).

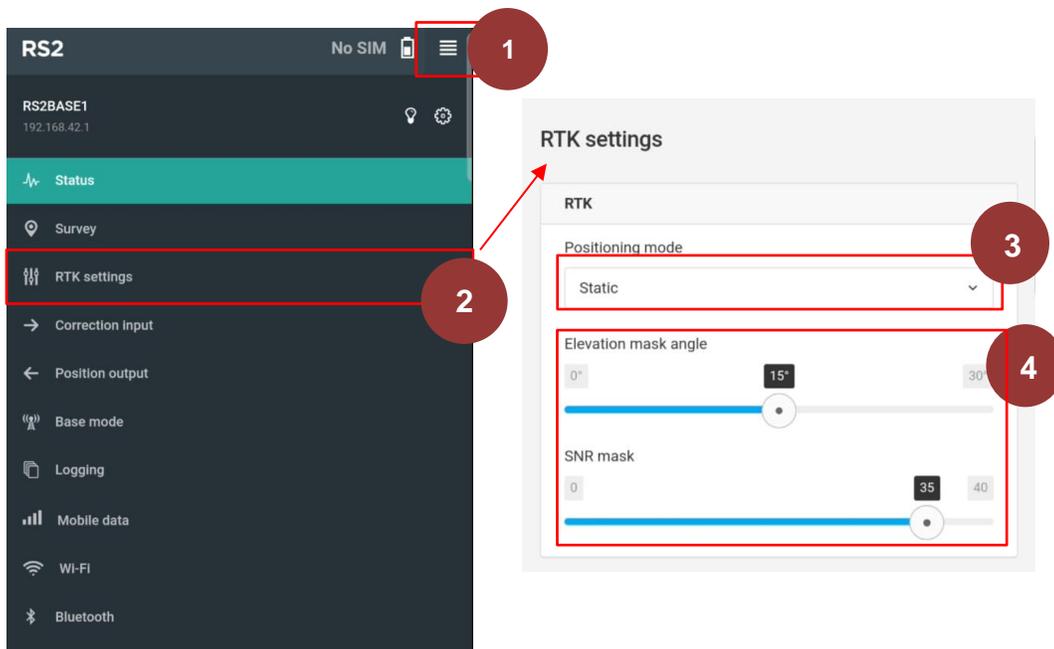


Figura 24. Configuración en “RTK settings”.

28. En el apartado de las constelaciones que se tomarán para la toma de datos, seleccionar las que están al alcance que son GLONASS y Galileo, a una frecuencia de 1Hz y aplicar.
29. De nuevo al menú seleccionar el apartado de “base mode” y seleccionar que las correcciones de salida sean de tipo “LoRa” con un “output power” de 20 dBm. En frecuencia el equipo trabajará a 902.0 MHz y en “air data rate” de 9.11 kb/s, y aplicar (figura 25).

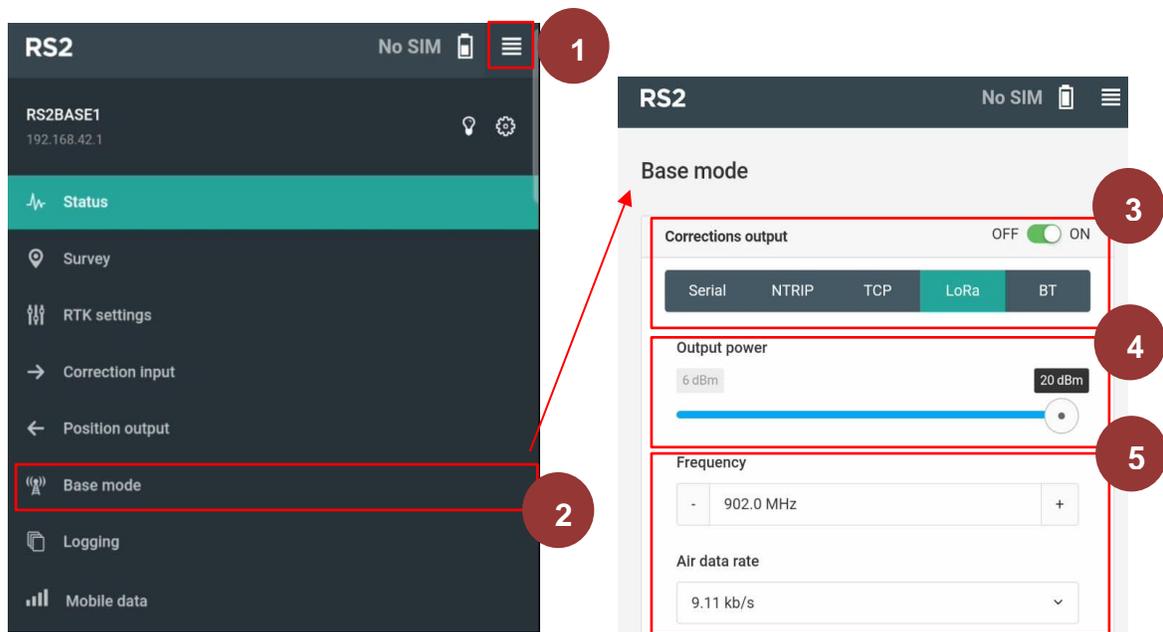


Figura 25. Configuración en "base mode".

30. Más abajo se encontrará la sección de "coordenadas base". Si el equipo está en modo "average single" comenzará a tomar una lectura para determinar su posición actual. En caso contrario, si el equipo no tiene esta configuración, es necesario activarla para realizar este paso.
31. En el menú, seleccionar el módulo de logging, en el apartado de "Raw data", configurar en "Settings" para que el formato de los datos sea "RINEX 2.11"; los sistema de satélites que el equipo utilizara son: "GPS", "GLONASS" y "Galileo"; y aplicar cambios (figura 26).

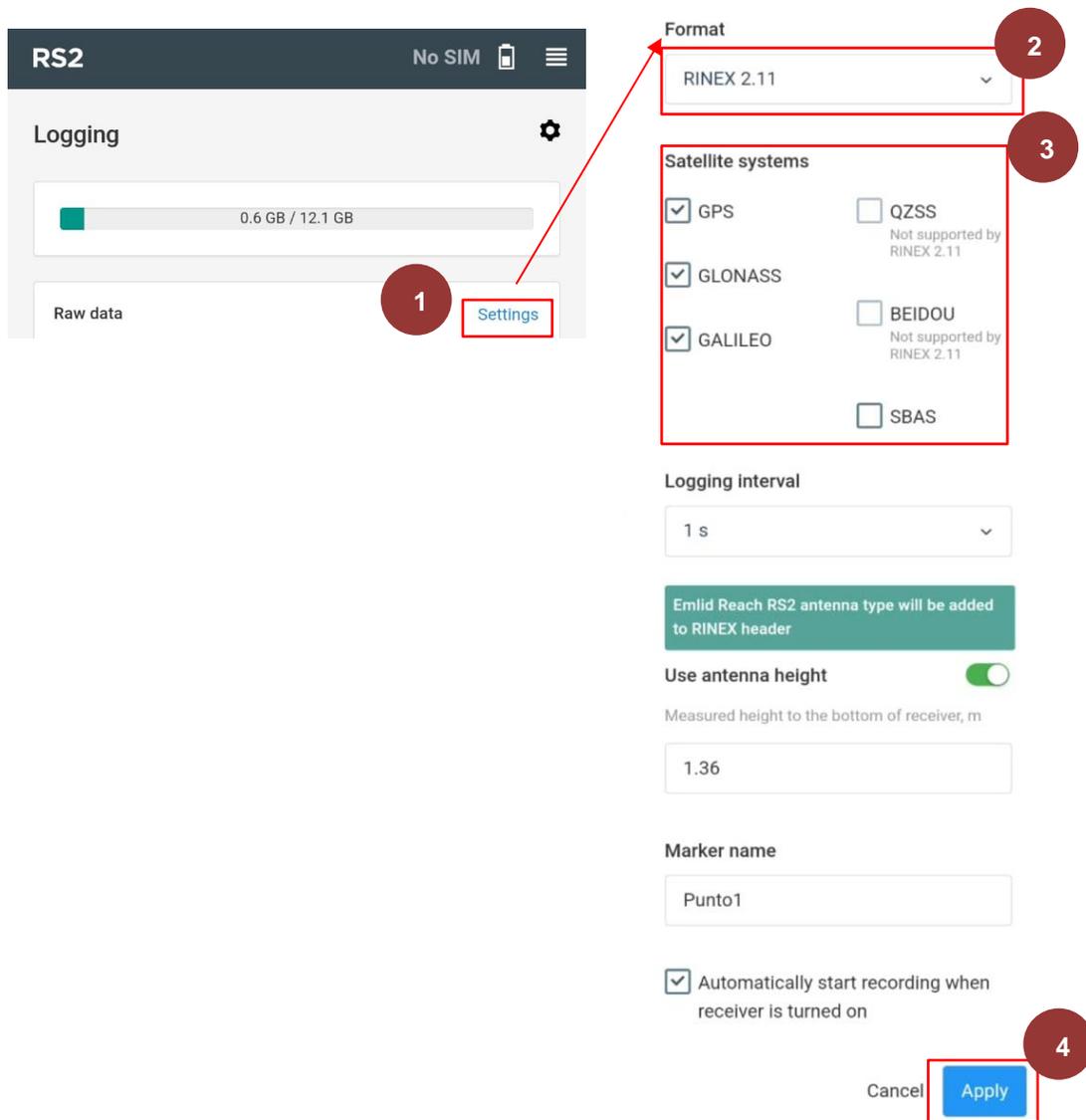


Figura 26. Configuración en “Logging”.

32. Más abajo se encontrará otro apartado llamado “Position Setting”, seleccionar el formato “LLH” y aplicar (figura 27).

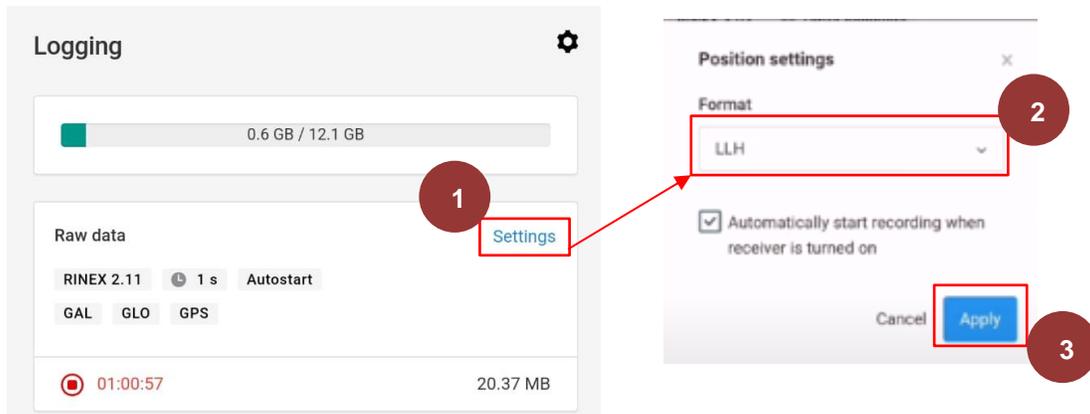


Figura 27. Configuración de "Position setting".

33. En "Base corrections settings" seleccionar el formato "RTCM3" y aplicar (figura 28).

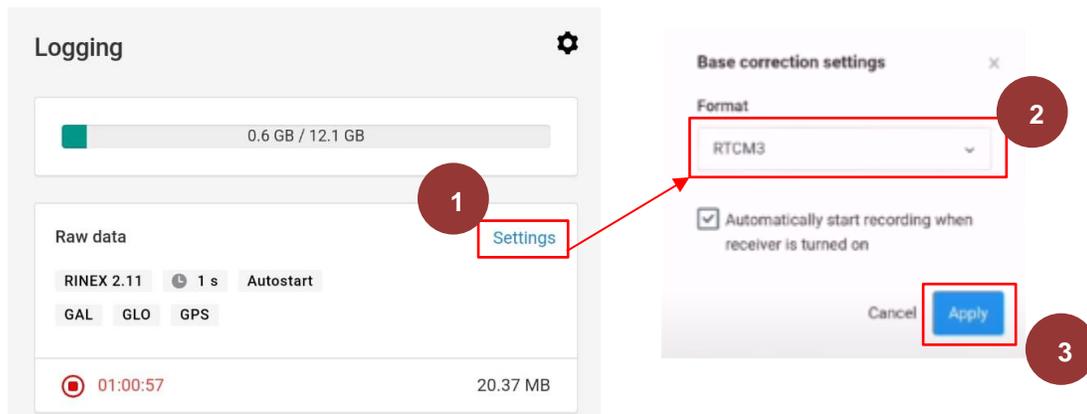


Figura 28. Configuración de "base correction settings".

34. Apagar el equipo.

Para el rover:

35. Ya que la base ha sido reiniciada a su estado de fabrica se tiene que reiniciar el rover, para ello seguir los paso del 1 a 4 de la configuración de la base.

36. En el menú, ir al modulo de "RTK Setting" y seleccionar el tipo de posición cinemático. En el ángulo de elevación seleccionar el 15°, el "SNR mask" de 35° y aplicar (figura 29).

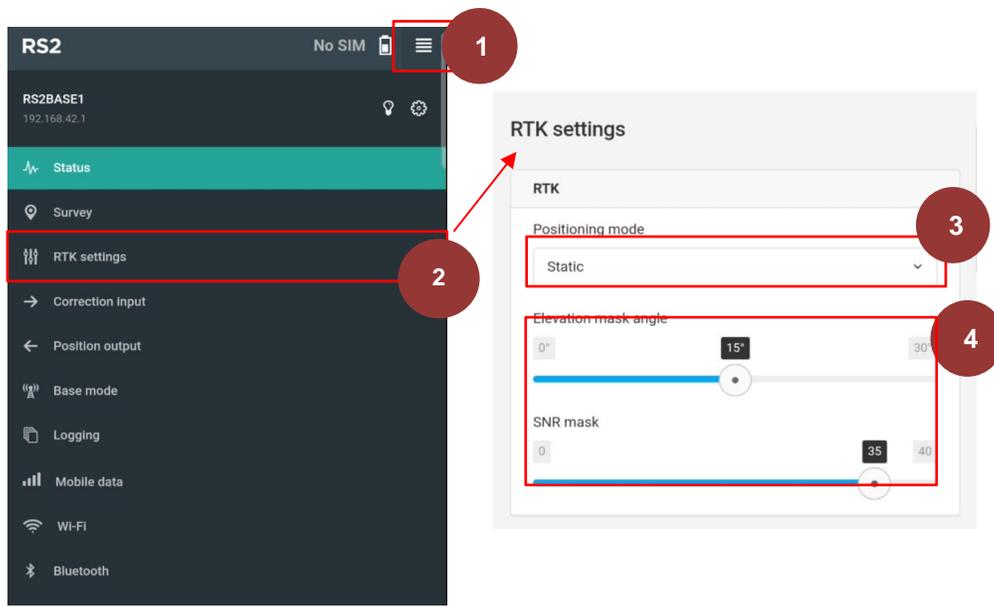


Figura 29. Configuración en "RTK settings".

37. En el apartado de las constelaciones que se tomarán para la toma de datos, seleccionar las que están al alcance que son GLONASS y Galileo a una frecuencia de 1Hz y aplicar.
38. En el menú, seleccionar el apartado de "Base Mode" y seleccionar las correcciones de salida sean de tipo "LoRa" con un "output power" de 20 dBm, en frecuencia el equipo seleccionar a 902.0 MHz y en "air data rate" de 9.11 kb/s (figura 30).

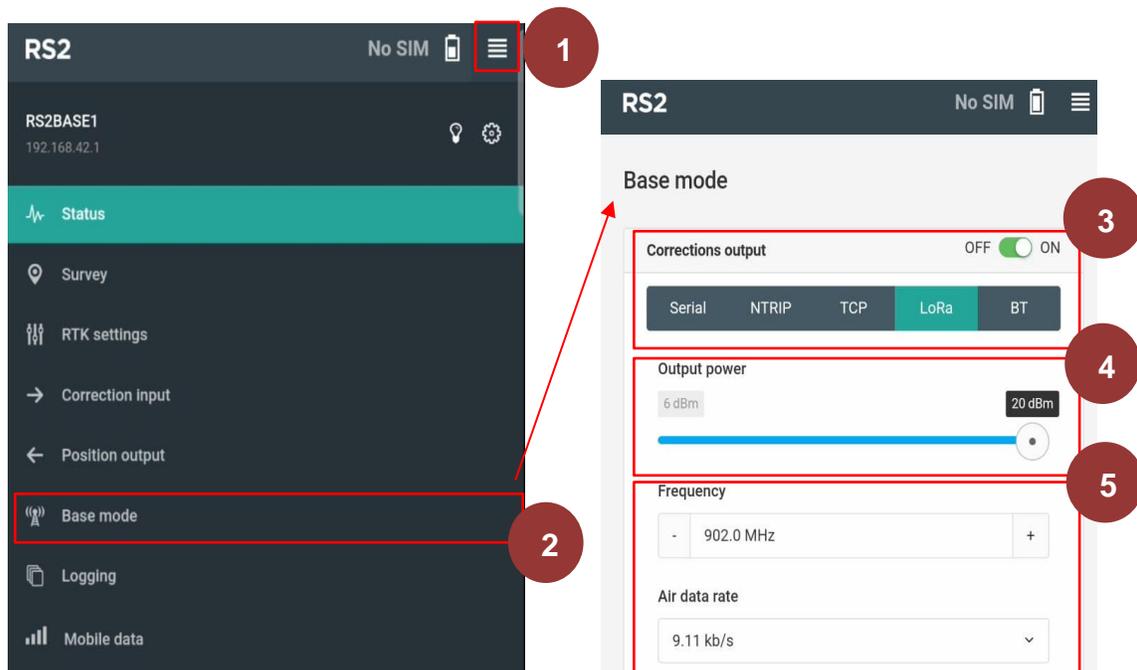


Figura 30. Configuración en "base mode".

39. Más abajo, se encontrará el apartado de “base coordinates” y si el equipo está en “average single” el equipo empezará a tomar una lectura para saber en qué posición se encuentra actualmente. En caso contrario, poner la configuración mencionada.
40. En el menú, seleccionar el módulo de logging, en el apartado de “Raw data”, seleccionar en “Settings” el formato de los datos “RINEX 2.11” o “RINEX 3.03” según sea el caso, los satélites que el equipo utilizara se dejaran los de “GPS”, “GLONASS” y “Galileo”; y aplicar.
41. Más abajo, se encontrará otro apartado llamado “Position Setting”, seleccionar el tipo de formato “LLH” y aplicar
42. En “Base corrections settings”, seleccionar el tipo de formato “RTCM3” y aplicar.

Referencias

Emlid. (2023). *Primera configuración*. docs.emlid.com/reachrs2/es/before-you-start/first-setup

Emlid. (2023). *Configuración de la base y del rover*. docs.emlid.com/reachrs2/es/rtk-quick-start/base-rover-setup

Topografía GNSS. (2022, noviembre 15). *Emild RS+, RS2, RS2+*. *Mis equipos ya no reciben el Fix*. [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=9Jx-bjvVqNI

Trail Run España. (2021). *GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo y QZSS*. www.trailrunningespana.com/gps-glonass-beidou-galileo-y-qzss/?amp=1

Garrido, N. (2014, septiembre). *Errores GNSS. Cómo minimizarlos en Geodesia y topografía*. UPV. naqarvil.webs.upv.es/errores-gnss/

Principales fuentes de error en GPS (I). n/a. (s.f). detopografia.blogspot.com/2012/11/principales-fuentes-de-error-en-gps-i.html

GPS.gov. (s.f). *Sistema de posicionamiento global. Al servicio del mundo*. www.gps.gov/spanish.php#:~:text=Desde%20el%20espacio%2C%20los%20sat%20%C3%A9lite%20como%20la%20hora%20local%20precisa

Carvalza. (2020, diciembre). *¿Qué es un GPS?* www.carvalza.es/que-es-un-gps/

Práctica 2. Generación de línea base con GNSS para levantamientos con estación total

Marco teórico

Una "constelación" es un grupo de satélites que orbitan la Tierra y que forman parte de un sistema GNSS. Estos satélites trabajan juntos para proporcionar señales de navegación y posicionamiento a receptores GNSS. Por tanto, cada constelación GNSS consta de múltiples satélites en órbita que transmiten señales de radio que contienen información precisa sobre su ubicación y el tiempo. De esa forma, los receptores GNSS alrededor del planeta utilizan estas señales para calcular su posición en función de la información de tiempo y la triangulación de múltiples satélites de la constelación.

Según el Centro de Información y Análisis para la Coordinación del Tiempo y el Apoyo a la Navegación del Gobierno Ruso, en diciembre del 2024 las constelaciones GNSS más conocidas y utilizadas a nivel mundial, cuyas características son las siguientes:

1. **GPS:** lo opera el Gobierno de Estados Unidos y consta de una constelación de 30 a 32 satélites operativos en órbita a cargo del Gobierno del Estados Unidos a una altitud de 20 000 km. Este se utiliza ampliamente en todo el mundo y se conoce por su precisión y disponibilidad.
2. **GLONASS:** es el sistema de navegación por satélite de Rusia y consta de una constelación de 24 a 26 satélites rusos.
3. **LEO:** se desarrolla y opera en la Unión Europea; ofrece una constelación de 25 a 32 satélites disponibles en operación.
4. **BDS:** se desarrolla y operada por Centro de Investigación de Pruebas y Evaluación de la Administración de Navegación por Satélite de China. Inicialmente, se centraba en la región de Asia-Pacífico, pero en los últimos años se ha expandido a una cobertura global. Actualmente cuenta con 44 a 54 satélites disponibles en órbita.

Es fundamental destacar que la información de cada sistema GNSS puede variar según el año, e incluso el mes, en que se consulte, debido a las actualizaciones periódicas y constantes mejoras tecnológicas de los mismos.

Cada constelación GNSS tiene su propio conjunto de satélites y frecuencias de señales, pero todos operan bajo el mismo principio básico para proporcionar información de navegación y posicionamiento desde el espacio para su uso en la Tierra. Los receptores GNSS modernos suelen ser compatibles con múltiples constelaciones, lo que mejora la precisión y la disponibilidad de la señal en diversas ubicaciones y condiciones.

El formato **RINEX** (Receiver Independent Exchange Format) según como lo indica el blog de “ecomexico” es un estándar ampliamente utilizado en la industria de la navegación satelital para almacenar y compartir datos de observación y navegación. Este formato permite que receptores de diferentes fabricantes sean interoperables, lo cual es fundamental para análisis avanzados, como correcciones diferenciales y generación de líneas base en proyectos topográficos. Los datos capturados incluyen información clave como tiempos, fases de portadora, pseudodistancias y señales de múltiples satélites.

En conclusión, los archivos RINEX no tienen formato y son fácilmente legibles, lo que facilita su intercambio y procesamiento. Esta información puede incluir observaciones de varios sistemas de satélites, como GPS, GLONASS, LEO y BDS, según el tipo de receptor GNSS que se utilice para la recolección de datos.

Aplicaciones

La creación de un punto estático y georreferenciado ayuda a establecer puntos de control para poder así con mayor facilidad la georreferenciación de un levantamiento realizado en coordenadas locales. Este procedimiento, al generar una línea base, permite determinar las coordenadas reales del terreno donde se llevarán a cabo los trabajos, sin depender de la existencia de una mojonera. Esto resulta especialmente útil en sitios de exploración inicial, donde no se ha establecido una mojonera o esta se encuentra considerablemente alejada del área de interés.

Objetivos

- La y el alumno comprenderá los principios básicos del sistema de posicionamiento global por satélite (GNSS) y sus posibles aplicaciones en la generación de líneas base.
- La y el alumno aprenderá a identificar y tener en cuenta factores que pueden afectar la calidad de las mediciones GNSS, como las obstrucciones de satélites, las interferencias de radiofrecuencia y las condiciones atmosféricas.
- La y el alumno utilizará software para el procesamiento de los datos para obtener coordenadas precisas y generar la línea base.

Material

- Un receptor GNSS (base).
- Un trípode.
- Un bastón.
- Un teléfono inteligente o tableta.
- Base nivelante.
- Adaptador.

- Alzacuellos.
- Antena receptora.
- Cinta métrica.
- Estación total.
- Prisma.
- Clavos.
- Estacas.
- Marro.
- Libreta de campo.

Procedimiento

Estación total

1. Seleccionar dos puntos que se medirán y que tengan una distancia significativa entre sí y que se encuentre en un área despejada (sin muchos árboles y edificios).
2. En los puntos seleccionados colocar una estaca en cada punto.
3. En el “punto 1” colocar el trípode extendiendo las tres patas formando un triángulo equilátero con ángulos interiores de aproximadamente 60° de cada lado.
4. Una vez que el trípode ha sido colocado correctamente, colocar la estación total.
5. Con la plomada laser, ajustar con las patas del trípode hasta que la línea del láser se alinee con el centro del punto.
6. Ajustar las patas del trípode según sea necesario hasta que el nivel de burbuja esté centrada en el indicador.
7. Con los tornillos de nivelación en la base de la estación total nivelar el nivel de barra de la estación total con movimientos encontrados.
8. Realizar las compensaciones en la configuración de la estación total.
9. Una vez que la estación total esté correctamente estacionada y nivelada orientar la estación total con respecto al norte.
10. Una vez orientada la estación total se pueden tomar las coordenadas del punto 1 y el punto 2.
11. Apagar la estación, y dirigirse al siguiente punto (que no sea al punto uno y dos).
12. Realizar cambio de estación (backsight).

GNSS

13. Colocar el receptor GNSS en el punto A de acuerdo con el procedimiento de la práctica número 1 de los pasos 1 al 13 del apartado de colocación del equipo y nivelado.
14. Prender el receptor y esperar a que el equipo se conecte a una red Wi-Fi.

15. Una vez que el receptor se conecte a una red Wi-Fi enlazar el dispositivo móvil al receptor. Cuando el dispositivo móvil esté conectado al Emlid, abrir el rotter en el icono de engrane (figura 31).

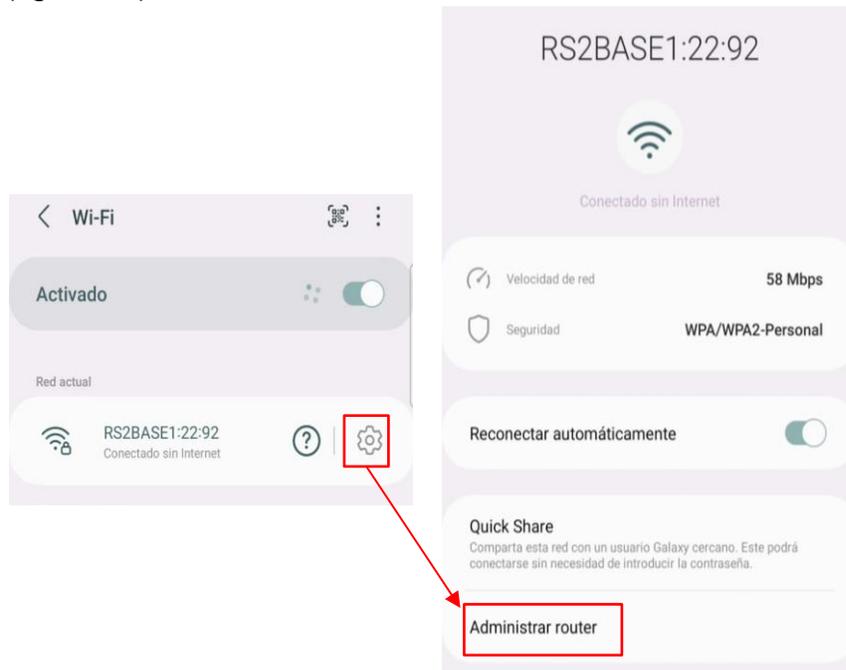


Figura 31. Administrar Router.

16. En la opción de “RTK Setting”, configurar el receptor como se muestra en la figura 32.

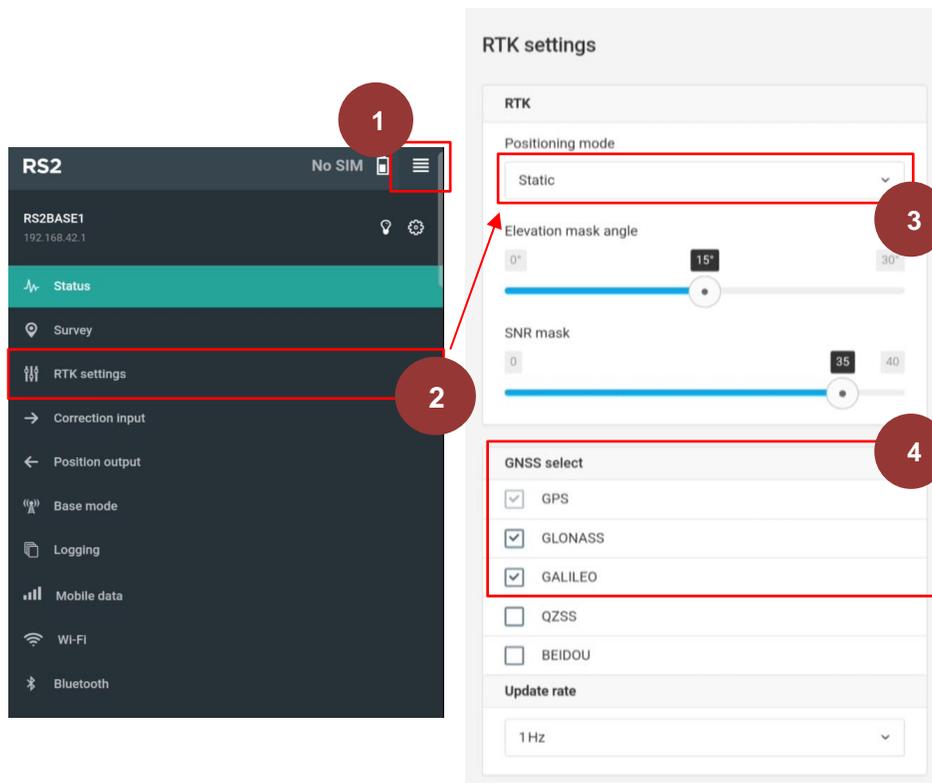


Figura 32. RTK Settings.

17. En el apartado de “base mode”, el receptor proporcionará coordenadas aproximadas del equipo. Justo debajo de las coordenadas del equipo, se debe insertar la altura del receptor desde el nivel del suelo hasta el final del alzacuellos. Para obtener esta altura, utilizar un flexómetro y luego introducir la medida en “antena, height” (figura 33).

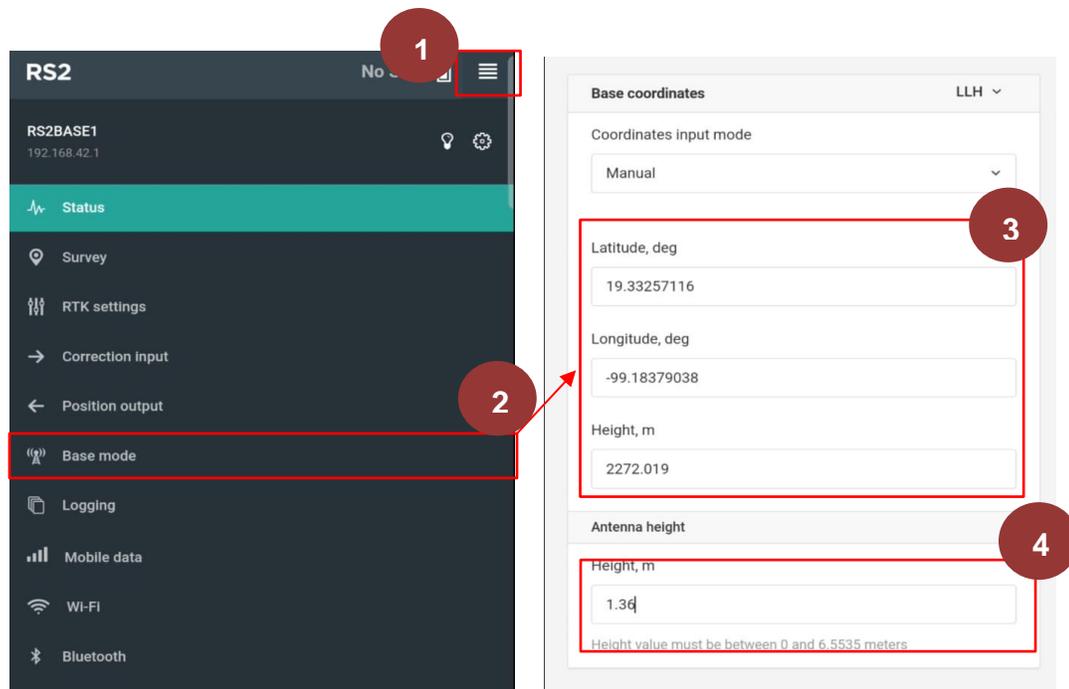


Figura 33. Configuración en “Base Mode”

18. En el módulo de “Logging”, configurar el modo estático. Para ello después de seleccionar el módulo, ir al apartado de “Raw data” y seleccionar “Settings” para configurar. En la ventana emergente, seleccionar el formato de los archivos con RINEX 2.11 (en caso de usar constelación BeiDou, se utilizará RINEX 3.03), el intervalo en que tomaran los datos el equipo, la altura de la antena, el nombre del punto que se está tomando, aplicamos y empezamos a grabar (figura 34).

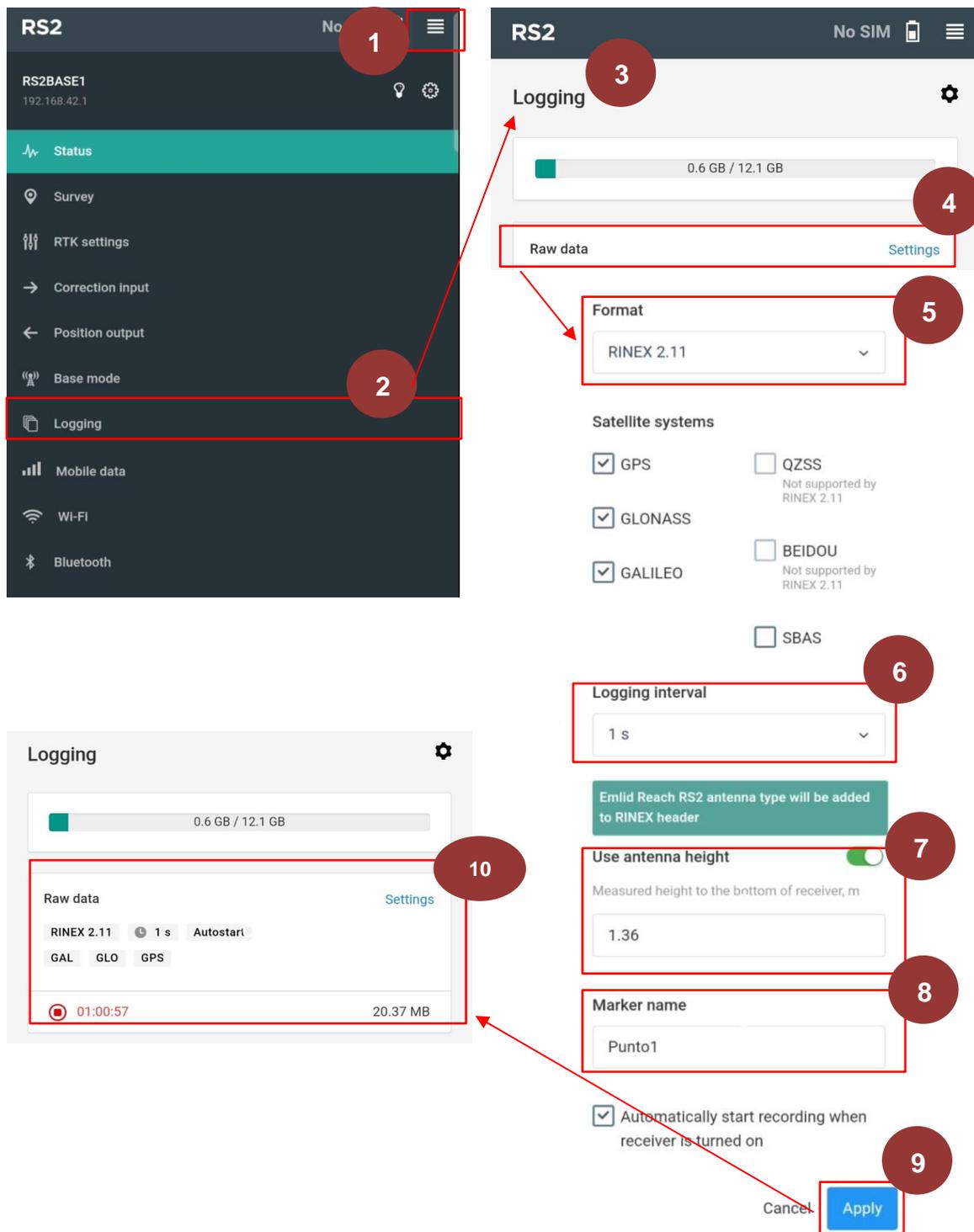


Figura 34. Configuración en "Logging".

19. Dejar el equipo grabando durante por lo menos 1 hora. Revisar y verificar cada 30 minutos que la grabación continúe.

20. Una vez terminado el tiempo, ingresar a “logging” y detener la grabación de datos como se muestra en la figura 35.

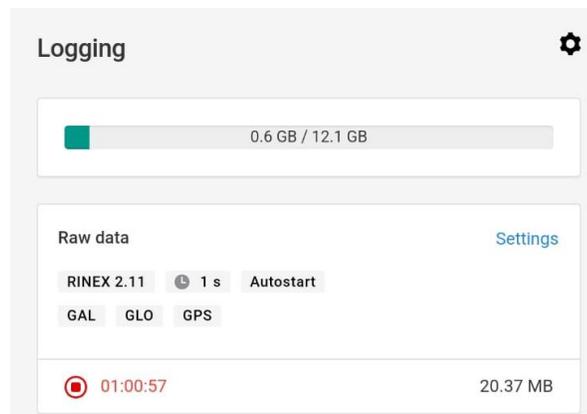


Figura 35. Detener la grabación en “logging”.

21. Inmediatamente que se detenga la grabación, en segundo plano se empezarán a comprimir los datos obtenidos. Una vez completado el proceso, el archivo RINEX (Receiver Independent Exchange Format) estará disponible para descargar en el dispositivo móvil. Los archivos RINEX contienen datos brutos de observación capturados por receptores GNSS, como señales de satélites, tiempos, pseudodistancias, fases de portadora y otros parámetros. Estos datos son esenciales para llevar a cabo análisis de posicionamiento, correcciones diferenciales y otras aplicaciones relacionadas con la navegación por satélite (figura 36).



Figura 36. Descarga del archivo tipo “RINEX”.

22. Una vez completada la descarga, apagar el equipo, posteriormente desmontar el receptor y moverse al punto 2.

23. En el menú, el módulo de “base mode” y en el apartado de “coordenadas base”, se hará una configuración sencilla. Seleccionará la opción de “avarage single”, posteriormente se seleccionará 3 minutos y por último guardamos.

El receptor empezará a tomar datos por el tiempo que se le asignó y al finalizar el proceso los promediará automáticamente y mostrará las coordenadas (figura 37).

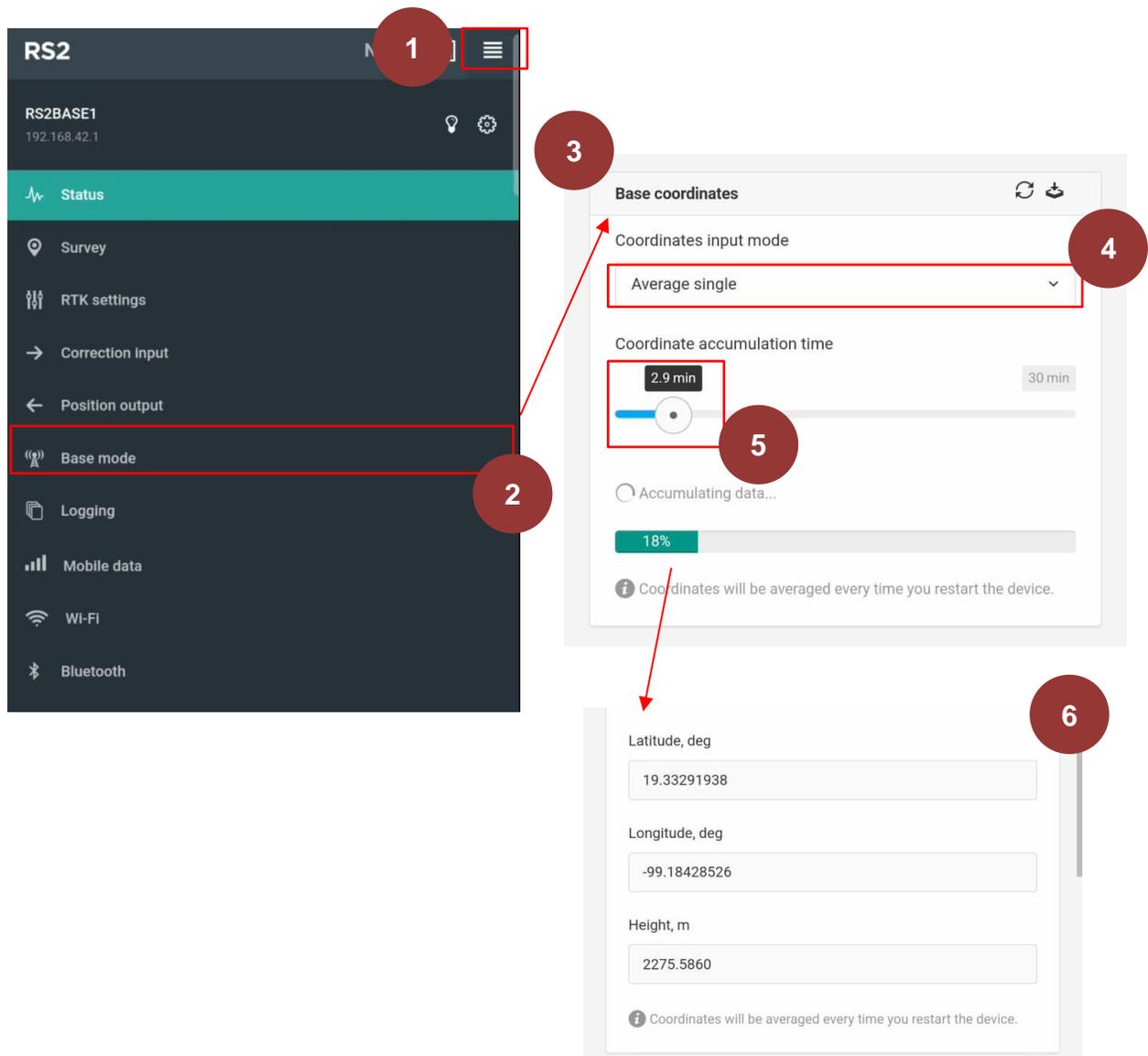


Figura 37. Configuración en “base mode” del segundo punto.

24. Una vez terminado, comparar con los datos obtenidos con la estación total.
25. En el mismo módulo de “base coordinates” cambiar a modo manual, insertar la altura de la antena y aplicar (figura 38).

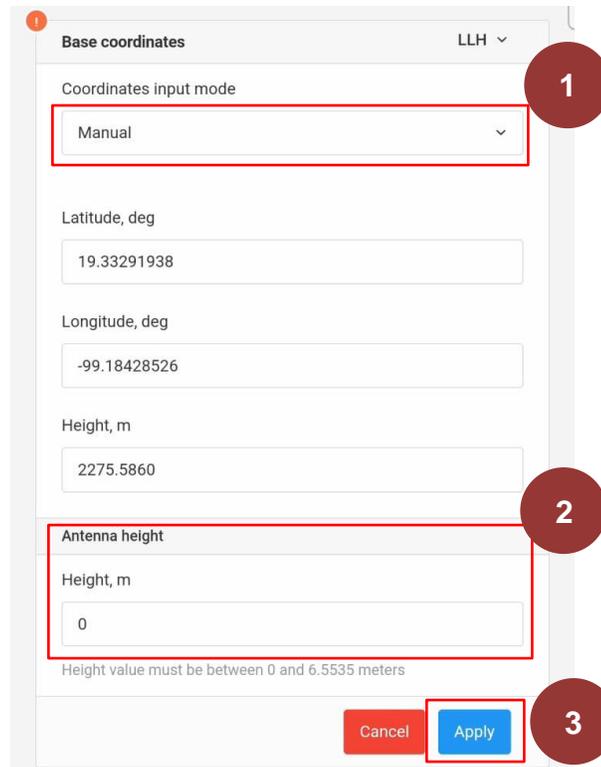


Figura 38. Configuración en “coordenadas base”.

26. Configurar nuevamente el equipo para hacer la toma de datos del punto 2, para ello repetir los pasos 17 al 22.
27. Una vez descargados y guardados los datos apagar el receptor, desmontar el receptor y lo guardarlo correctamente.

Procesamiento

Para el procesamiento de los archivos previamente obtenidos, y siguiendo las directrices presentadas en el video de *TutoArk* (2022), cuya fuente se encuentra debidamente citada en las referencias, se puede concluir que:

28. Una vez que se tengan los archivos en un dispositivo móvil, enviar a la computadora. Descomprimir los archivos Zip y abrir en un bloc de notas el archivo con terminación “AñoO” (figura 39).

	RS2BASE1_raw_20230920200425.23B	11/10/2023 16:39	Archivo 23B	575 KB
	RS2BASE1_raw_20230920200425.23N	11/10/2023 16:39	Archivo 23N	9 KB
	RS2BASE1_raw_20230920200425	11/10/2023 16:39	Archivo 23O	20.389 KB

Figura 39. Tipo de archivo observable.

29. Primero se procesará el primer punto tomado, abrir el archivo parecido al que se muestra en la figura 40.

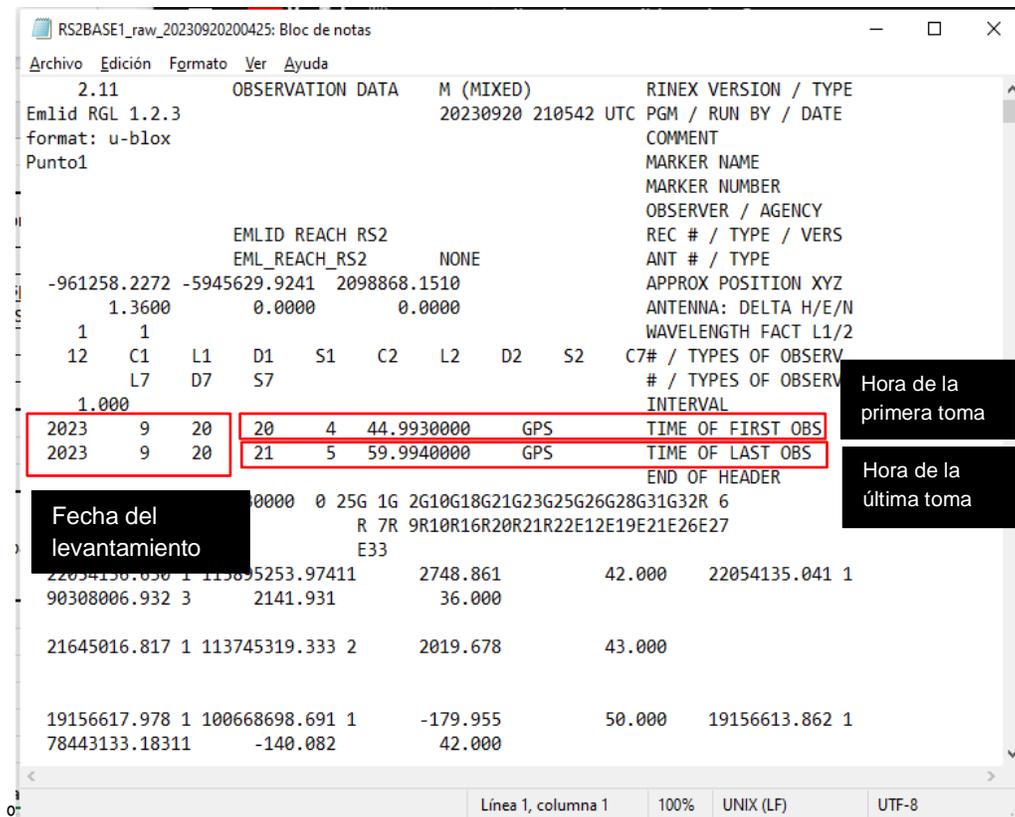


Figura 40. Lectura del archivo tipo "RINEX".

Como ejemplo de la imagen anterior muestra que la primera toma de datos fue a las 20:04:44 horas y la última toma fue a las 21:05:59 horas del Meridiano de Greenwich.

30. Para poder obtener los datos recolectados, ir a la página de la INEGI (en <https://www.inegi.org.mx/>), en el menú desplegable del módulo de "temas", buscar la opción de marco geodésico y seleccionar red geodésica nacional activa (figura 41).

Temas Programas de información Sistemas de Consulta Infraestructura Acerca del INEGI

Inicio / Temas

Demografía y Sociedad

- > Educación
- > Empleo y Ocupación
- > Hogares y Vivienda
- > Población
- > Salud y seguridad social
- > Tecnologías de la información y comunicaciones

Economía y Sectores Productivos

- > Agricultura, ganadería y pesca
- > Comercio
- > Comercio exterior
- > Construcción
- > Empresas y establecimientos
- > Manufacturas
- > Minería
- > PIB y cuentas nacionales
- > Precios
- > Sectores Económicos
- > Sectores Institucionales

Geografía y Medio Ambiente

- > Catastro y Gestión Territorial
- > Imágenes del Territorio
- > Mapas
- > Marco Geodésico
 - > Red Geodésica Nacional Pasiva
 - [Red Geodésica Nacional Activa](#)
 - [Geoide Gravimétrico Mexicano](#)
 - > Deformaciones del Terreno
 - > Marco Geoestadístico
 - > Medio ambiente

Figura 41. Marco Geodésico.

31. Dentro del menú de la “Red geodésica Nacional”, seleccionar el menú de “herramientas” y en las opciones despegables seleccionar “Red geodésica activa” se muestra en la figura 42.

Red Geodésica Nacional Activa 🔗

Conjunto de estaciones de operación permanente que registran los datos del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), distribuidas estratégicamente en el territorio nacional, que materializan el Sistema Geodésico Nacional en su vertiente horizontal, y proporcionan servicios de posicionamiento geodésico a los usuarios mediante datos en línea y coordenadas de la más alta exactitud posicional en el país.

Ver más presentación ↕

Mapas
Documentación
Publicaciones
Herramientas

Herramientas de Red Geodésica Nacional Activa

- [Unión de archivos RINEX](#)
- [Red geodésica nacional activa](#)
- [Coordenadas geodésicas de las estaciones de la RGNA \(ITRF2008_ época 2010.0\)](#)

Herramientas genéricas

Servicios en línea

- [Espacio y Datos México](#)
- [Mapa Digital de México](#)
- [Metadatos](#)

Servicios para desarrolladores

- [APIs](#)
- [MxSIG](#)

Figura 42. Red geodesica activa.

38 | Página

32. En el apartado de “estación fija”, colocar la estación más cercana de donde se realizó el levantamiento. La fecha y hora de inicio, así como la fecha y hora final. Hay que tener cuidado que para la hora de inicio, si no está en un número cerrado hay que redondear hacia abajo, sin embargo, para la hora final es redondear hacia arriba, como se muestra en la figura 43.

Estación fija	Fecha y hora inicial	Fecha y hora final
<input type="text" value="ICMX Cd. de México"/>	Fecha <input type="text" value="2023-09-20"/>	Fecha <input type="text" value="2023-09-20"/>
<input checked="" type="radio"/> Rinex Versión 2.11 <input type="radio"/> Rinex Versión 3.04	Hora <input type="text" value="Vigésima"/>	Hora <input type="text" value="Vigésima segunda"/>
<input type="button" value="Siguiete"/>		

Figura 43. Datos del levantamiento.

33. Una vez colocados todos los datos, presionar el botón de “siguiete” y posteriormente descargar todos los archivos y descomprimir la carpeta.
34. Cuando se descomprima la carpeta aparecerán más archivos tipo Zip, antes de descomprimirlos, unir todos en una sola, con la aplicación de UNIRINEX, la cual es una aplicación proporcionada por la INEGI.
35. En la carpeta donde está ubicado el archivo RINEX, seleccionar todos los archivos, seleccionamos “abrir”. Una vez cargados los archivos seleccionados presionar el botón de “multiconstelación”. Una vez terminado el proceso emergerá una ventana de con un aviso de que la unión fue completada, seleccionar el botón de aceptar y finalmente salir. Figura 44.

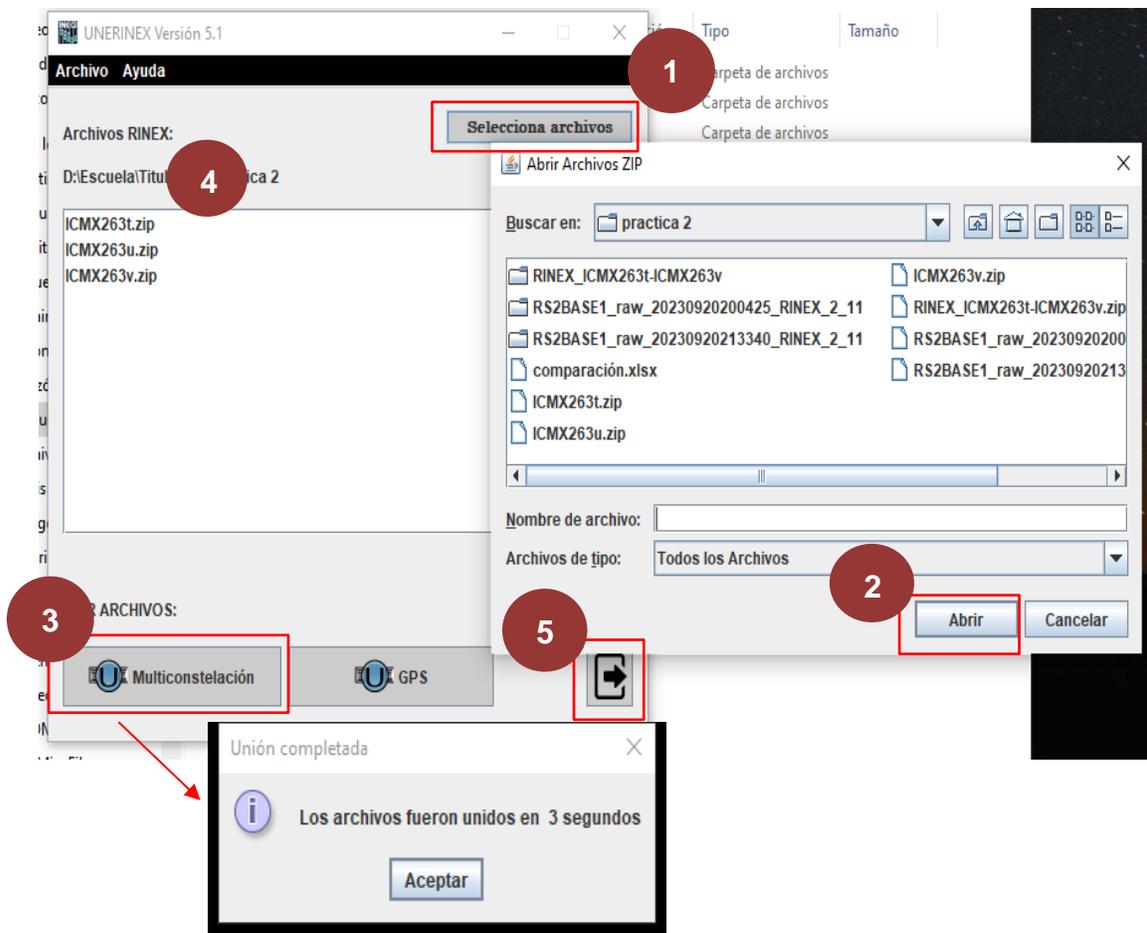


Figura 44. Unión de archivos tipo “RINEX”.

36. Una vez unidos todos los archivos, se generará una carpeta en donde se encontrará el archivo nuevo.
37. A continuación, en la aplicación de Emlid studio. Seleccionar la opción de “static”, en la viñeta de “static receiver” (figura 45) seleccionar el archivo tipo RINEX tomados con el receptor, y posteriormente en la viñeta “base” seleccionar el archivo de INEGI que previamente fue unido. En la viñeta de “navegación” se pondrán los datos del levantamiento que se encuentran en el archivo tipo “AñoN” de la INEGI, aunque se puede usar el archivo “AñoN” del Emlid también (Figura 46).

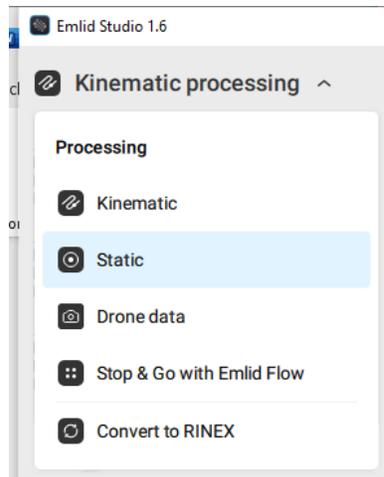


Figura 45. Estatico.

The screenshot displays the 'Static processing' settings in Emlid Studio 1.6. The interface is divided into three main sections: 'Static receiver', 'Base', and 'Navigation'. Red boxes and numbered circles (1, 2, 3) highlight specific areas with arrows pointing to document lists.

Static receiver: A red box highlights the 'Static receiver' section, which contains a document 'RS2BASE1_ra...0200425.230' and a note: 'Measured height is 1.36 m. RS2 offset will be applied'. A red circle with the number '1' is positioned above this section, with an arrow pointing to the first document list.

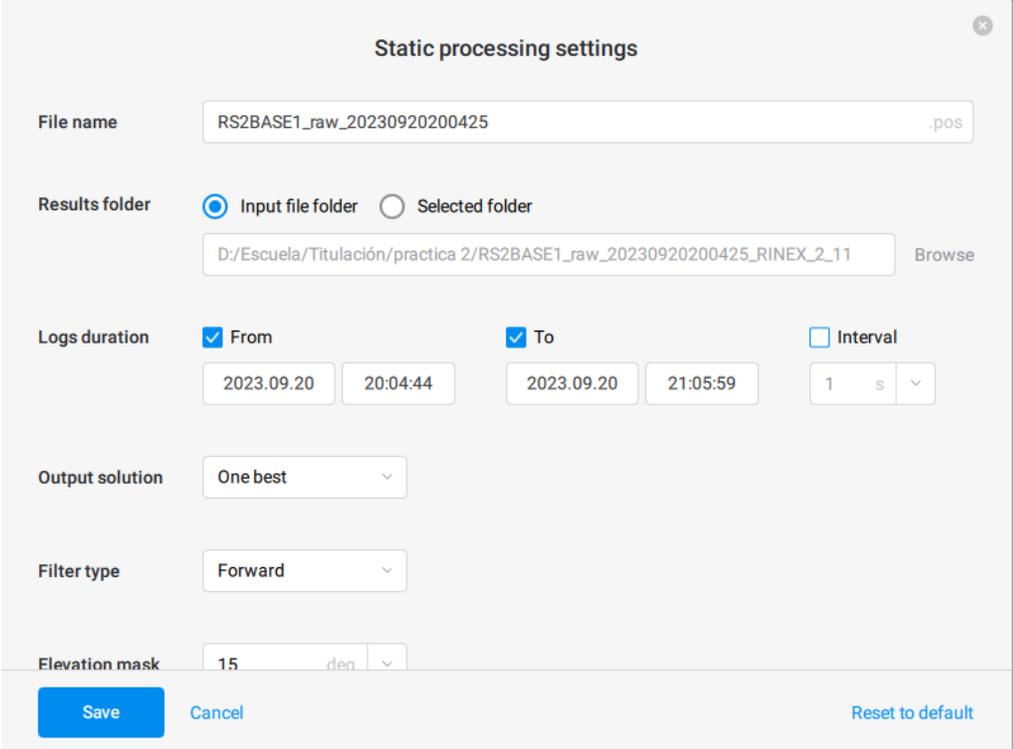
Base: A red box highlights the 'Base' section, which contains a document 'ICMX2630.230' and a note: 'Measured height is 0.235 m. TRM115000.00 offset will be applied'. A red circle with the number '2' is positioned above this section, with an arrow pointing to the second document list.

Navigation: A red box highlights the 'Navigation' section, which contains a 'RINEX' link. A red circle with the number '3' is positioned above this section, with an arrow pointing to the third document list.

Document Lists: Three document lists are shown, each with columns for 'Nombre', 'Fecha de modificación', and 'Tipo'. The first list contains one document: 'RS2BASE1_raw_20230920200425' (11/10/2023 16:39, Archivo 230). The second list contains three documents: 'ICMX2630.23G' (12/10/2023 0:33, Archivo 23G), 'ICMX2630.23L' (12/10/2023 0:33, Archivo 23L), and 'ICMX2630.23N' (12/10/2023 0:33, Archivo 23N). The third list contains three documents: 'ICMX2630.23G' (12/10/2023 0:33, Archivo 23G), 'ICMX2630.23L' (12/10/2023 0:33, Archivo 23L), and 'ICMX2630.23N' (12/10/2023 0:33, Archivo 23N).

Figura 46. Ingresos de documentos correspondientes en "Emlid Studio".

38. Una vez que se han cargado todos los archivos, en el botón del engrane se podrá configurar para que el software de los datos en el formato necesario, en ese caso primero verificar que la hora y día sean correctos. La solución de salida debe de ser “one best”, esto es porque se toma un punto estático y lo que nos interesa es tener una solución final. En el tipo de filtro se seleccionar la opción “forward” (figura 47).



The image shows a software configuration window titled "Static processing settings". It includes fields for "File name" (RS2BASE1_raw_20230920200425 .pos), "Results folder" (D:/Escuela/Titulación/practica 2/RS2BASE1_raw_20230920200425_RINEX_2_11), "Logs duration" (From: 2023.09.20 20:04:44, To: 2023.09.20 21:05:59, Interval: 1 s), "Output solution" (One best), "Filter type" (Forward), and "Elevation mask" (15 deg). Buttons for "Save", "Cancel", and "Reset to default" are at the bottom.

Figura 47. Configuración de los datos estaticos 1.

39. En elevación se seleccionar la opción de “15 grados”, en “SNK mask” dejar las opciones por default. Para la opción de “satélites”, seleccionar los satélites que se escogieron en la configuración elaborada en el campo. En la solución de formato seleccionar en la que los datos fueron tomados, para este caso es latitud, longitud y altura (figura 48).

Static processing settings

Elevation mask: 15 deg

SNR mask: L1: 35 dBHz, L2: 35 dBHz

Satellites: GPS, SBAS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou, IRNSS

Integer ambiguity resolution: GPS: Fix and Hold, GLONASS: Fix and Hold, BDS: On

Solution format: Lat/Lon/Height

Buttons: Save, Cancel, Reset to default

Figura 48. Configuración de los datos estáticos 2.

40. En el tiempo de formato, se deja por default, en el apartado de formato de la latitud y longitud se selecciona la opción de “ddd.ddddd”, en debug trace se deja la opción “off” y finalmente guardar (figura 49). Posteriormente, presionar el botón de “process” (figura 50), inmediatamente el software empezará a procesar los archivos y le aplicará una corrección de coordenadas (figura 51).

Static processing settings

Satellites

GPS SBAS GLONASS Galileo

QZSS BeiDou IRNSS

Integer ambiguity resolution

GPS: GLONASS: BDS:

Solution format:

Time format:

Latitude / Longitude format:

Debug trace:

Save **Cancel** **Reset to default**

Figura 49. Configuración de los datos estáticos 3.

Navigation

ICMX2630.23N

Process

Figura 50. Navegación.

Navigation

ICMX2820.23N

FIX at 21:37:34

Cancel

Figura 51. Proceso "FIX".

41. Una vez terminado el proceso, el software creará un archivo donde estará el resultado de la solución Fix, abrir el archivo y obtener las coordenadas finales. Figura 52

```

RS2BASE1_raw_20230920200425: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
% program : ES 1.6
% inp file : D:\Escuela\Titulación\practica 2\RS2BASE1_raw_20230920200425_RINEX_2_11\RS2BASE1
% inp file : D:\Escuela\Titulación\practica 2\Archivos GNSS\ICMX2630.23N
% inp file : D:\Escuela\Titulación\practica 2\Archivos GNSS\ICMX2630.230
% obs start : 2023/09/20 20:04:45.0 GPST (week2280 331485.0s)
% obs end : 2023/09/20 21:05:59.0 GPST (week2280 335159.0s)
% ref pos : 19.405641406 -99.170852708 2267.2520
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satel
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) s
2023/09/20 20:04:45.000 19.332514417 -99.183836898 2267.4667 1 6 0.0001 0.0001 0

```

Figura 52. Obtención de datos corregidos.

42. Repetir el procedimiento de los pasos 16 al 29 con el archivo correspondiente al punto B.
43. La presentación de los datos y procesamiento adicionales serán determinados dependiendo de los requisitos de entrega del profesor.

Referencias

AutoArk. (2022, 23 de mayo). *[GNSS] Posprocesando dos puntos estáticos con Emlid Studio*. [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=rP9pHhWbV50

Trail Run España. (2021). *GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo y QZSS*. www.trailrunningespana.com/gps-glonass-beidou-galileo-y-qzss/?amp=1

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2023). *Red Geodesica activa*. www.inegi.org.mx/temas/geodesia_activa/

Ecotopografía. (s.f.). *¿Qué son los archivos RINEX?* www.ecomexico.net/noticias/detalle/20

Centro de consumidores de aplicaciones GLONASS. (2023). *Sobre el Sistema GLONASS*. glonass-iac.ru/spa/about_glonass/

Centro de consumidores de aplicaciones GLONASS. (2024). *Composición y estado de la constelación orbital GLONASS*. glonass-iac.ru/glonass/sostavOG/

Centro de consumidores de aplicaciones GLONASS. (2024). *Composición y estado de la constelación orbital BeiDou*. glonass-iac.ru/beidou/sostavOG/

Centro de consumidores de aplicaciones GLONASS. (2024). *Composición y estado de la constelación orbital GPS*. glonass-iac.ru/gps/sostavOG/

Centro de consumidores de aplicaciones GLONASS. (2024). *Composición y estado de la constelación orbital Galileo*. glonass-iac.ru/galileo/sostavOG/

Práctica 3. Levantamiento de Áreas con GPS en tiempo real (modo RTK)

Marco teórico

El “Real Time Kinematic” o por sus siglas en inglés RTK es una técnica avanzada de posicionamiento y navegación que se utiliza en GPS y otros sistemas GNSS para obtener ubicaciones extremadamente precisas en tiempo real. La principal característica de la RTK es su capacidad para proporcionar precisión centimétrica en cuanto al posicionamiento en tiempo real. Esto significa que los receptores RTK pueden determinar la ubicación con una precisión muy alta, a menudo inferior a un centímetro, en comparación con los receptores GPS convencionales, que ofrecen una precisión de varios metros. (GNS Components, 2019)

La clave para la precisión de RTK es el uso de una estación, llamada base, y un receptor móvil, llamado rover. La base establece una posición conocida y rastrea las señales de los satélites, al calcular las diferencias entre las posiciones medidas y las posiciones conocidas. Luego, estas correcciones se transmiten en tiempo real al rover.

De igual manera, la técnica RTK corrige errores en las mediciones, los cuales surgen desde los efectos atmosféricos y el reloj en los satélites, lo que mejora significativamente la precisión. No obstante, y a pesar de su alta precisión, la RTK tiene algunas limitaciones; por ejemplo, esta requiere una línea base clara, la cual puede afectarse con las interferencias de las señales, que se producen por los obstáculos o cambios en la atmósfera.

Otra parte elemental que se tiene que entender antes de elaborar dicha práctica es que, cuando se habla de “bandas”, se hace referencia a las diferentes frecuencias de radio en las que operan los satélites que forman parte de estos sistemas. En otras palabras, los GNSS utilizan múltiples bandas de frecuencia para transmitir señales desde los satélites a los receptores en la Tierra.

Cada satélite envía varias señales de radio en diferentes frecuencias y para que los códigos de alcance y el mensaje de navegación viajen desde el satélite al receptor deben modularse con una portadora que permita que las señales lleguen con suficiente potencia (Mettatec, 2023, párr. 6).

La distancia real entre el satélite y el receptor GNSS no es la misma a la distancia medida, generando un error en dicha magnitud, al haber ondas de distintas frecuencias, habrá trayectos diferentes entre el satélite y receptor, donde mediante una combinación lineal se corrigen estos errores rápidamente obteniéndose

distancias satélite-receptor más confiables. Por lo que, utilizar varias señales de ondas de distintas portadoras nos ayudaría a agilizar y mejorar el cálculo de posición de un receptor, incluso en entornos de poca visibilidad satelital (Mettatec, 2023, párr. 7-8).

De ese modo, existen diversas bandas según el sistema GNSS, y cada una de ellas tiene un nombre diferente, así como características y aplicaciones específicas. Cabe señalar que la combinación de señales de varias bandas GNSS de receptor a receptor mejora la precisión. En este contexto, otro concepto a tener en cuenta para efectuar la metodología RTK efectivamente es el de "frecuencia de ratio", el cual apunta a la velocidad a la que se transmiten los bits (datos binarios) en una señal de navegación desde un satélite hasta un receptor GNSS en la Tierra. Cada señal GNSS se compone de una serie de bits que contienen información sobre la identificación del satélite, la hora de transmisión, los datos orbitales, la salud del satélite y más información necesaria para que el receptor determine su posición con precisión. La frecuencia de ratio se mide en bits por segundo (bps) o baudios (baud). (Mettatec, 2023)

Por otra parte, la frecuencia de ratio puede variar según la señal GNSS y la banda de frecuencia específica. La frecuencia de ratio es un aspecto técnico importante en la comunicación entre los satélites y receptores GNSS, pues esta afecta la velocidad a la que se pueden recibir y procesar los datos en el receptor. Una frecuencia de ratio más alta puede permitir una adquisición y un cálculo de posición más rápidos, lo que es beneficioso en aplicaciones que requieren una respuesta rápida, como la navegación en tiempo real. (López et al., 2014).

En cuanto a la frecuencia más utilizada, esta es de 1 Hz, es decir, que el equipo receptor GNSS realiza mediciones de posición y tiempo cada segundo, lo que se traduce en una actualización de posición cada segundo. Sin embargo, en algunas aplicaciones que requieren una mayor precisión o un seguimiento más detallado, como la topografía de alta precisión o la geodésica, es posible que se utilicen configuraciones de frecuencia de actualización más altas, como 5 Hz o 10 Hz. (Foruno, s.f).

Aunque es posible configurar algunos receptores GNSS a frecuencias de actualización desde los 1 Hz, 5 Hz o incluso superiores, en ocasiones esto puede ser perjudicial. El aumento de la frecuencia conlleva un mayor consumo de energía y memoria del receptor. Además, una frecuencia más alta implica actualizaciones más frecuentes, lo que ocasiona que el receptor sea más sensible a interferencias y ruido en las señales satelitales. Esto podría afectar negativamente la precisión de las mediciones.

Aplicaciones

La técnica de Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (RTK) tiene múltiples aplicaciones en la minería y la metalurgia, destacándose por su capacidad para ofrecer coordenadas con precisión centimétrica, lo que la convierte en una buena opción para diversas áreas y enfoques. Algunas de sus posibles aplicaciones pueden ser:

- a. *Generación de mapas detallados del terreno*; permitiendo generar mapas precisos para identificar zonas de interés en prospección mineral y apoyar la planificación de proyectos mineros.
- b. *Obtención de coordenadas del terreno* con el establecer puntos de referencia en lugares remotos, facilitando la ubicación exacta de perforaciones exploratorias.
- c. *Medición precisa de volúmenes y áreas*, proporcionando datos esenciales para la planificación de actividades como la extracción y el relleno, optimizando recursos y asegurando la eficiencia operativa.
- d. *Monitoreo de movimientos de taludes*, lo cual contribuye a prevenir deslizamientos y colapsos mediante la observación precisa de cambios en la estabilidad del terreno.
- e. *Determinación de coordenadas para excavaciones*, garantizando exactitud en las actividades de excavación, reduciendo el riesgo de sobreexcavaciones y optimizando los recursos empleados.
- f. *Planificación de infraestructura*, lo cual resulta fundamental para el diseño y construcción de caminos, canales de drenaje, entre otras infraestructuras necesarias en las operaciones mineras.
- g. *Optimización de rutas de transporte*, con el fin de facilitar la planificación de rutas eficientes desde las áreas de extracción hasta las plantas de procesamiento metalúrgico, reduciendo costos y tiempos operativos.

Objetivos

- La y el alumno se familiarizará con los principios básicos del sistema RTK, incluyendo cómo funciona, los componentes necesarios y los principios de corrección en tiempo real.
- La y el alumno aprenderá a configurar un receptor GNSS para efectuar la metodología RTK.
- La y el alumno realizará las mediciones en el campo utilizando la metodología RTK para entender cómo se obtienen las coordenadas precisas en tiempo real.
- La y el alumno evaluará y comparará la precisión de las mediciones obtenidas mediante RTK contra con las obtenidas con otras metodologías mediante otros métodos convencionales para comprender las ventajas del RTK en términos de precisión.

- La y el alumno aprenderá a identificar y corregir posibles problemas que puedan afectar la precisión de la metodología RTK, como obstrucciones de señal e interferencias.
- La y el alumno analizará los datos recopilados y presentará los resultados de manera clara y comprensible.

Material

- Un par de receptores GNSS (base y rover).
- Un trípode.
- Un bastón.
- Un teléfono inteligente o tableta.
- Base nivelante.
- Adaptador.
- Alzacuellos.
- Antena receptora.
- Cinta métrica.
- Libreta de campo.
- Estacas.
- Marro.

Procedimiento

Para la base:

1. Colocar el receptor GNSS en unos de los dos puntos posprocesados de la práctica 2 de acuerdo con el procedimiento de la práctica “número 1” del “punto 1 al punto 13” del apartado de “colocación del equipo y nivelado”.
2. Prender el receptor y esperar a que el equipo se conecte a una red Wi-Fi.
3. Una vez que el receptor se conecte a una red Wi-Fi, enlazar el dispositivo móvil al receptor (práctica 1, programación inicial punto 5).
4. Cuando el dispositivo móvil esté conectado al Emlid, abrir el router en el ícono de engrane (figura 53).

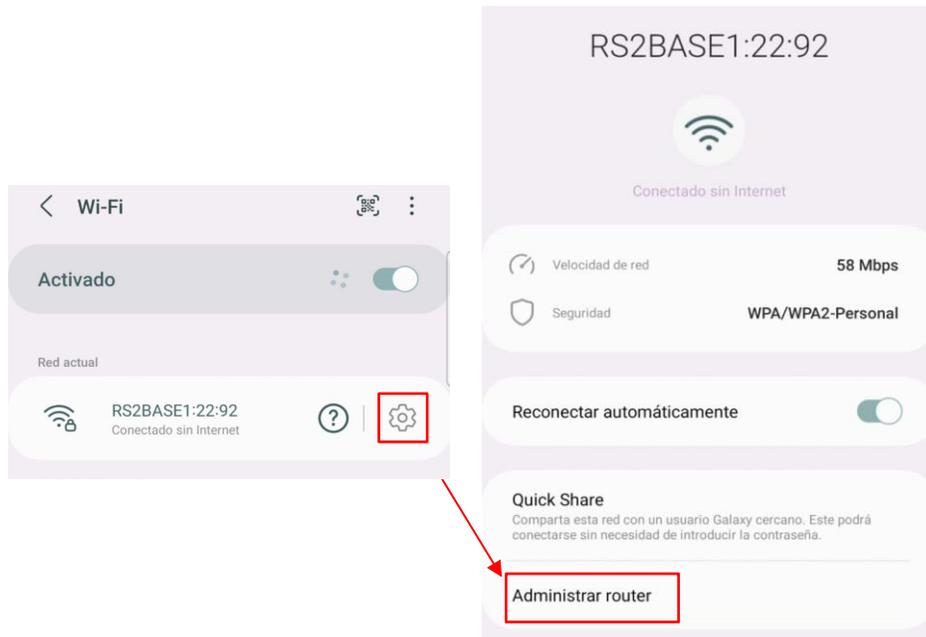


Figura 53. Administrar Router.

5. En el menú, entrar en el módulo de “base mode” y en el apartado de “corrections output”, se seleccionará la opción de “LoRa”, posteriormente se configurará en “Output power” con un valor de 20 dBm, con una frecuencia de 902 MHz y un “Air data rate” de 9.11 kb/s. Aplicar (figura 54).

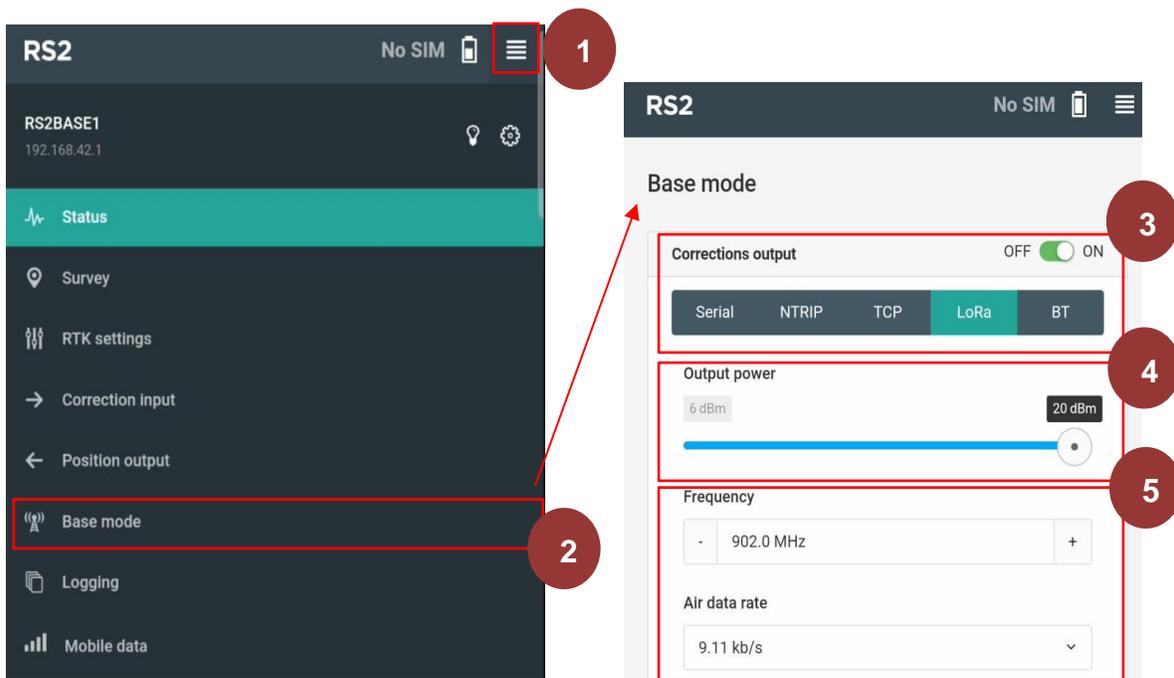


Figura 54. Configuración en “base mode”.

6. En el módulo de las coordenadas base insertaremos alguno de los dos puntos pos-procesados, posteriormente mediremos con un flexómetro la altura de la antena y la insertaremos en el apartado correspondiente y finalmente aplicamos (figura 55).

Base coordinates LLH ▾

Coordinates input mode

Manual ▾

Latitude, deg

19.33027167

Longitude, deg

-99.182758634

Height, m

2268.1483

Antenna height

Height, m

1.625

Height value must be between 0 and 6.5535 meters

Figura 55. Coordenadas base.

7. En el módulo de RTCM3, dejar la configuración por default.

Para el rover:

8. Colocar el receptor correspondiente al rover en el bastón, una vez que ha sido colocado, prender el receptor de igual manera que se hace con la base, esperar hasta que el receptor emita una señal Wi-Fi; enlazar el “rover” y abrir la interfaz por medio del router.
9. En el menú, entrar en el apartado de “base mode” apagar (off) “corrections output”. Este paso es esencial, ya que nos permitirá hacer un correcto enlace de la base con el rover (figura 56).

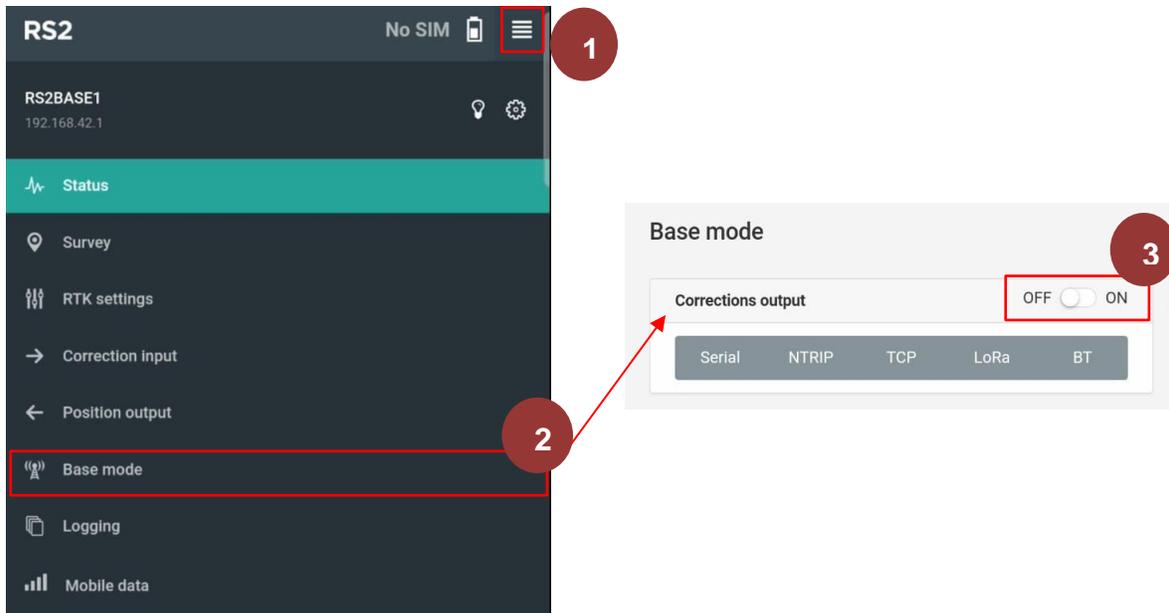


Figura 56. Configuración en “base mode”.

10. En el módulo de “base coordinates” se selecciona la opción de “average fix” y tomar una medición de 1 minuto (figura 57).

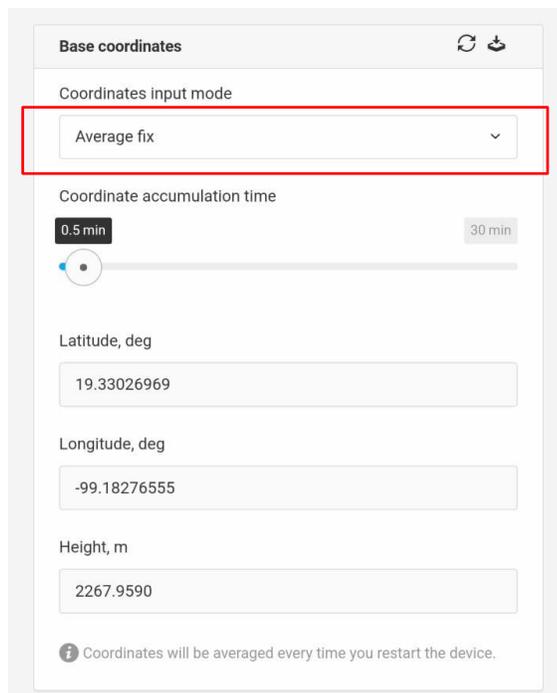


Figura 57. Corrdenadas base.

11. Nuevamente, en el menú, entrar al apartado de “RTK Setting” seleccionar el tipo de posicionamiento “Kinematic” (modo cinamático), ya que este receptor estará en

movimiento. Seleccionar la elevación de “15°” y el “SNR mask” colocarla en 35 (figura 58).

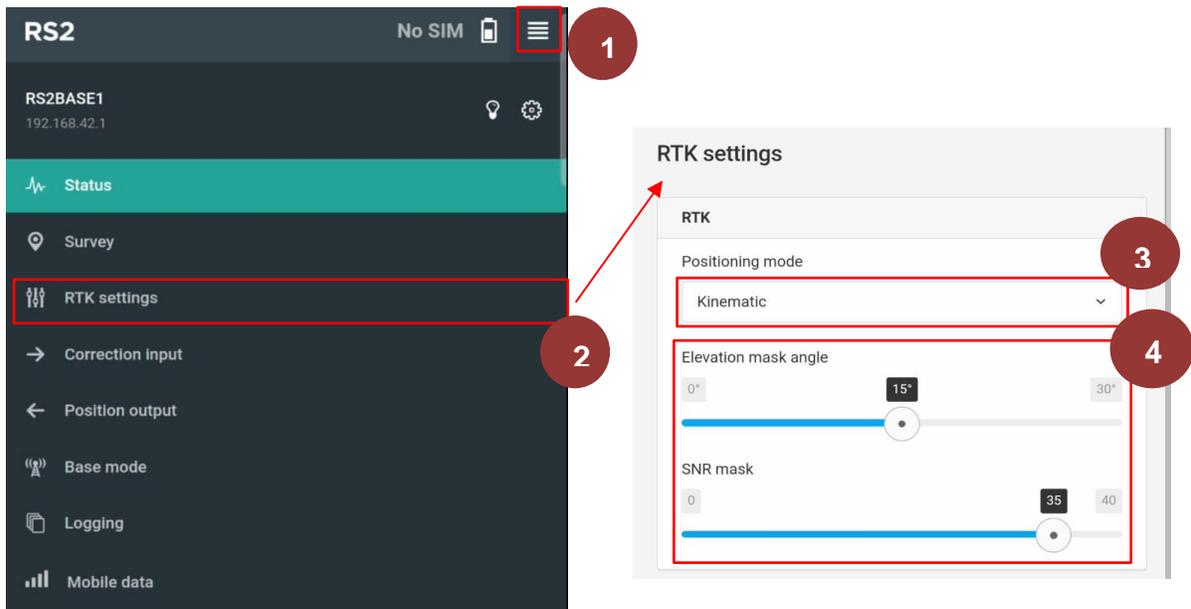


Figura 58. Configuración en “RTK Settings”.

12. En el apartado de las constelaciones seleccionar GPS, GLONASS y GALILEO (figura 59).

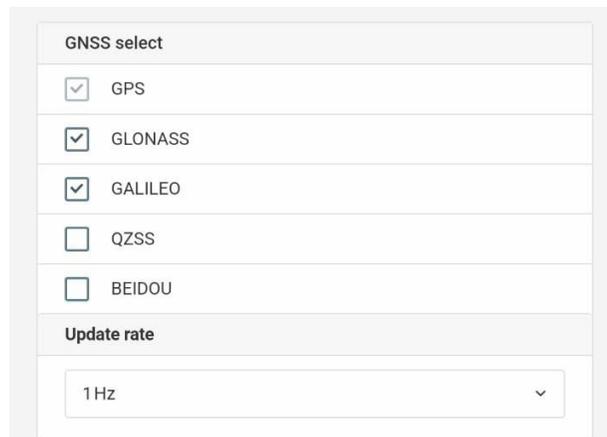


Figura 59. Constelaciones.

13. De nuevo en el menú, entrar al apartado de “correction input”, encender (on) la opción de “base correction” y establecer una frecuencia de 902.0 MHz y un “air data rate” de 9.11 kb/s. Aplicar (figura 60).

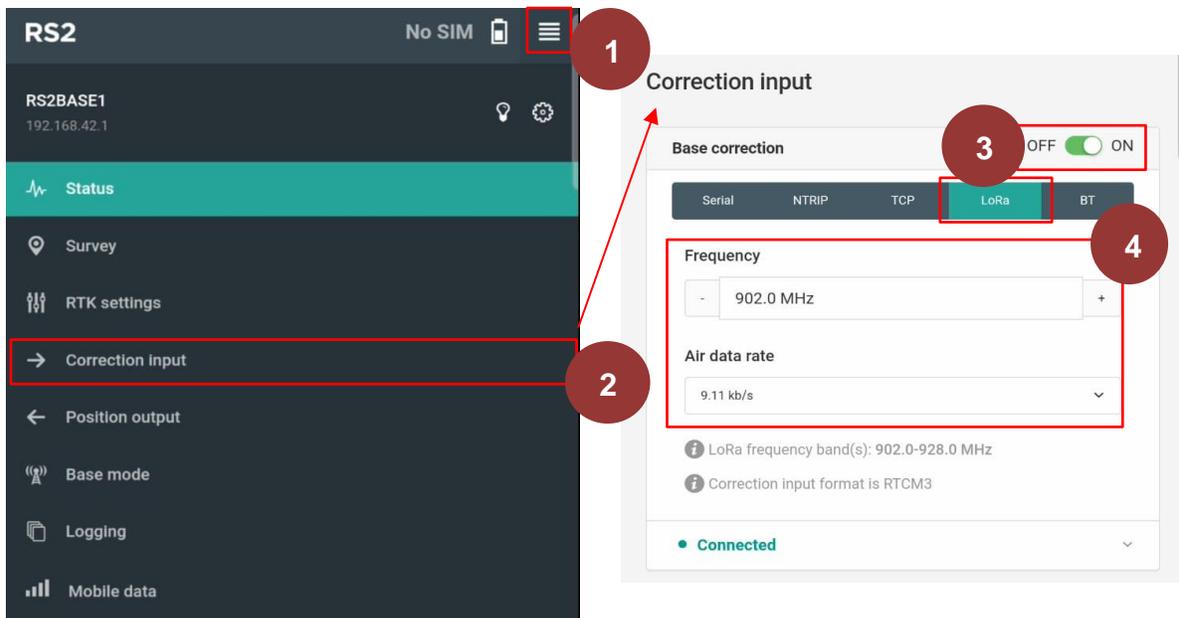


Figura 60. Configuración en "correction input"

14. Cuando toda la configuración del rover esté completada, el receptor emitirá un pitido dando como señal de que se encuentra totalmente conectado con la base y viceversa, la base estará conectada al rover.
15. Regresar al menu de inicio y entrar a la opción "estado del receptor", allí se visualizará la señal de ambos receptores y a cuantos satelites estan enlazados cada uno, tambien se vizualizarán los parámetros de RTK, la posición del receptor y un mapa donde se pueden vizualizar ambos receptores (figuras 61 y 62).

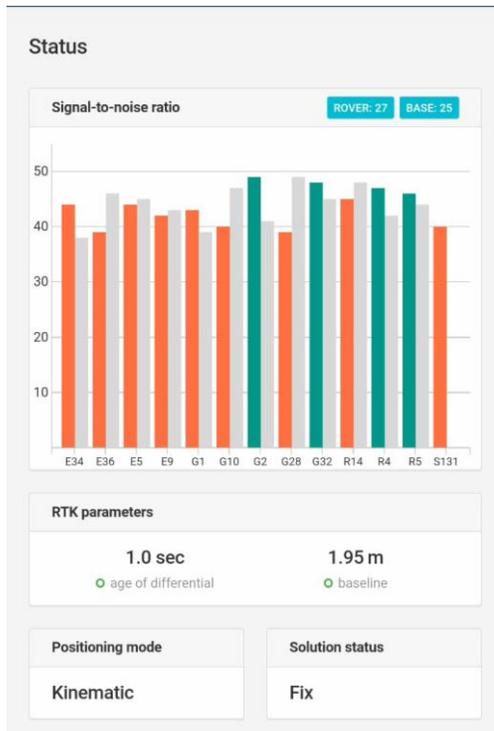


Figura 62. Estatus 1.

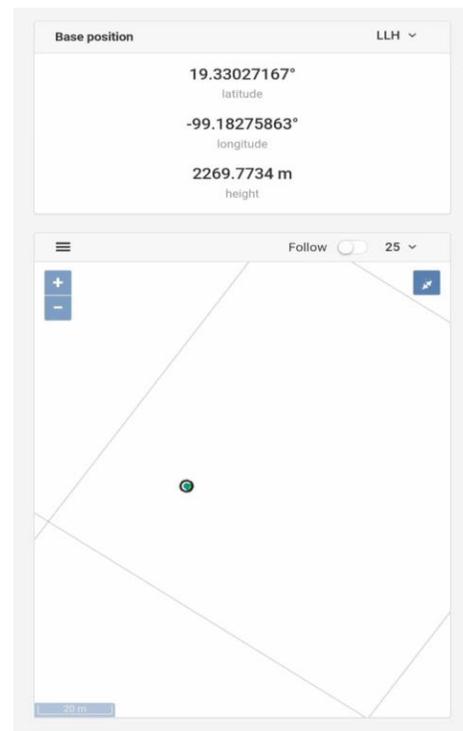


Figura 61. Estatus 2.

Levantamiento:

16. En el menú, entrar al apartado de "survey". Crear un archivo donde se encontrarán los datos de nuestro levantamiento, seleccionar el botón de "New proyect", ingresar información elemental como el nombre del proyecto, autor y alguna nota de ser necesaria y presionar el botón de siguiente (Next), (figura 63).

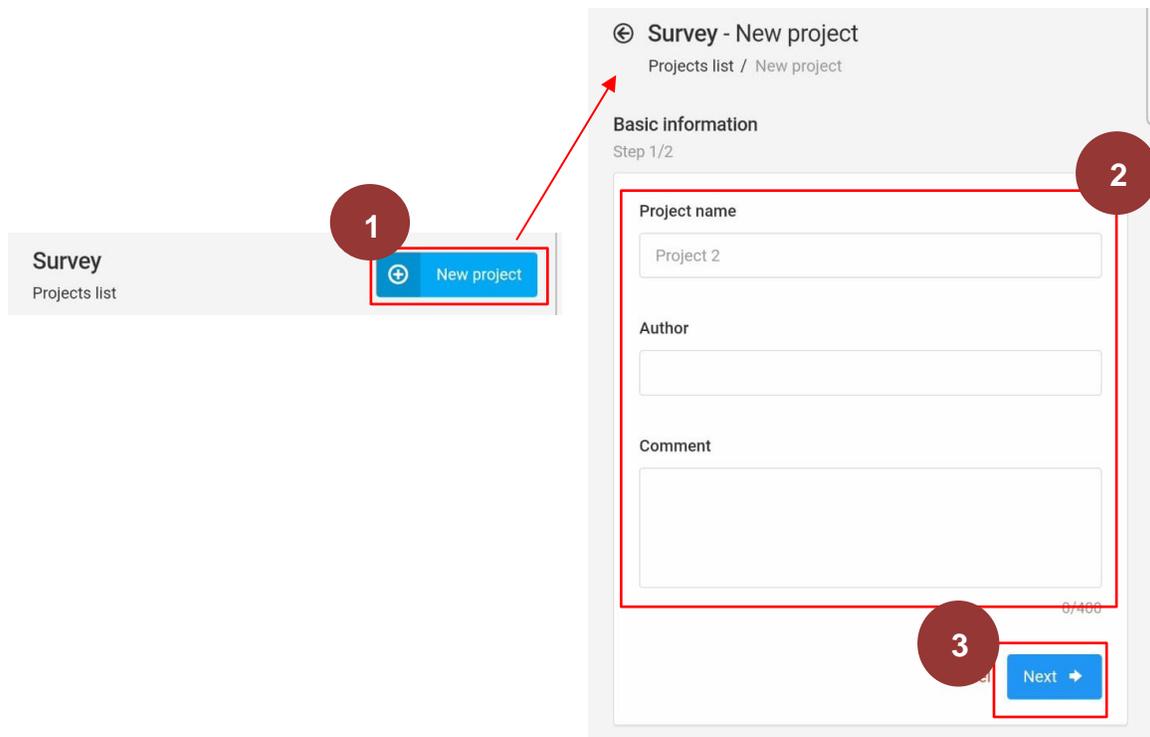


Figura 63. Creación de un nuevo proyecto.

17. En la ventana de “auto-save-rules”, activar la opción de “Solution status Fix”, con un requerimiento de observación de 40 segundos, con una desviación estándar de 0.005 y un “DOP” de 2; concluir y seleccionar el botón “Done” (figura 64).

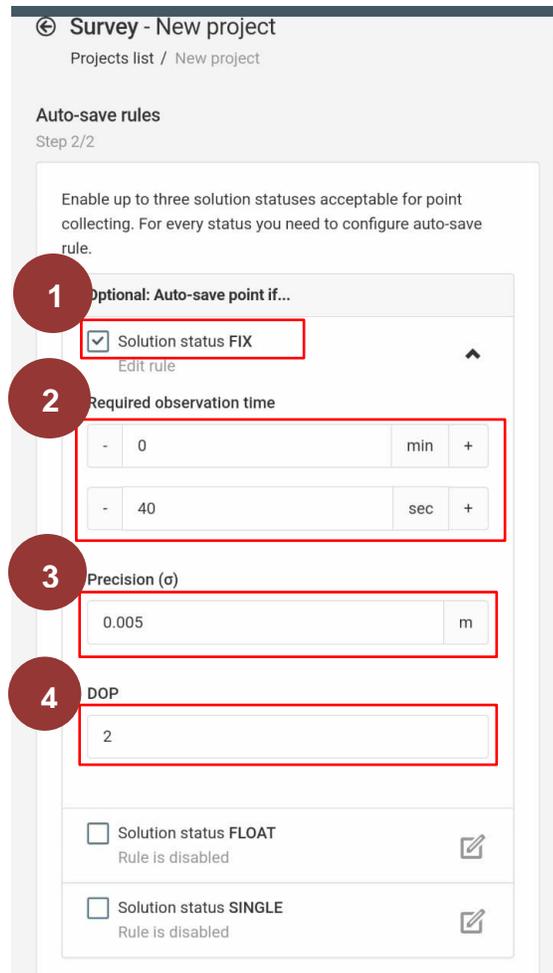


Figura 64. Configuración del proyecto.

18. A continuación, empezaremos con la lectura de los datos, para esto hay que dirigirse al signo “mas” que está en la parte inferior derecha de la pantalla, en el cual se le insertar el nombre del dato a tomar, la altura del bastón. Posteriormente, seleccionar el botón de “Collect” y el equipo empezará a recolectar el dato cuando se cumplan las condiciones previamente dadas durante 39 segundos consecutivos (figura 65).

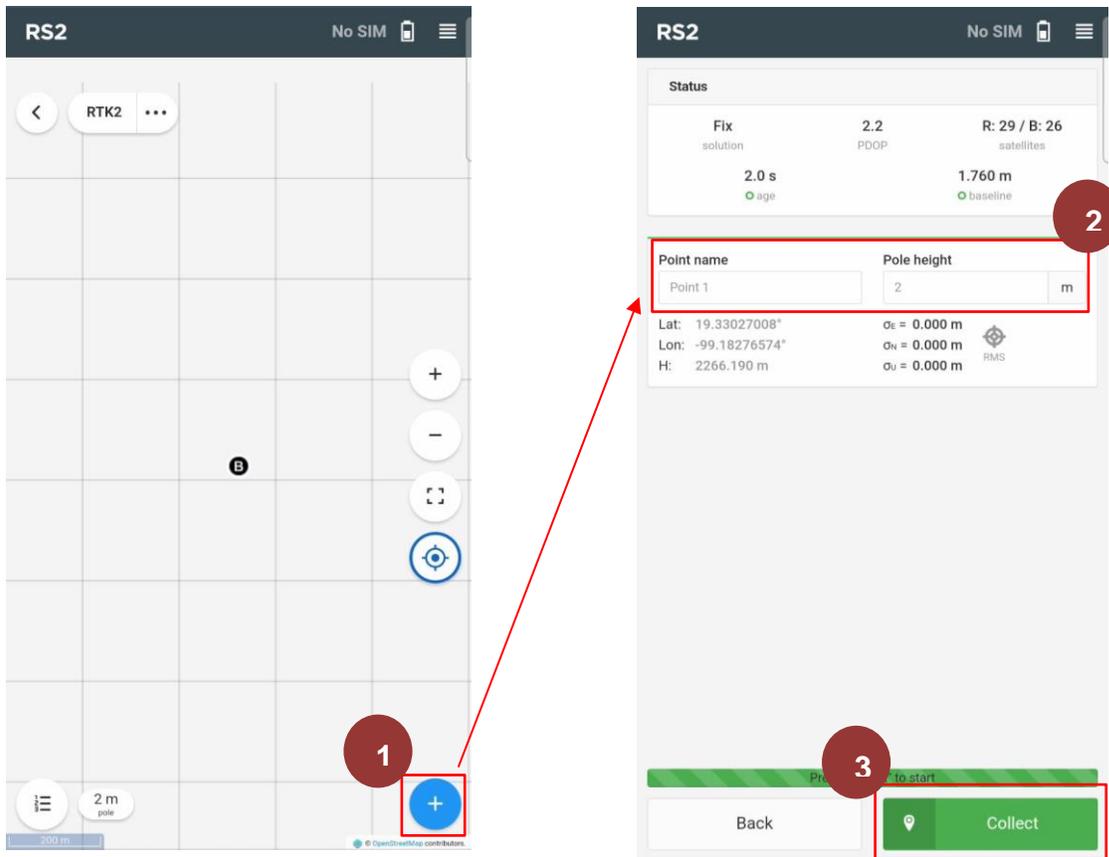


Figura 65. Toma de datos.

19. Se puede visualizar si el dato fue correctamente tomado si el símbolo de “RMS” permanece en verde y no el rojo (figura 66).

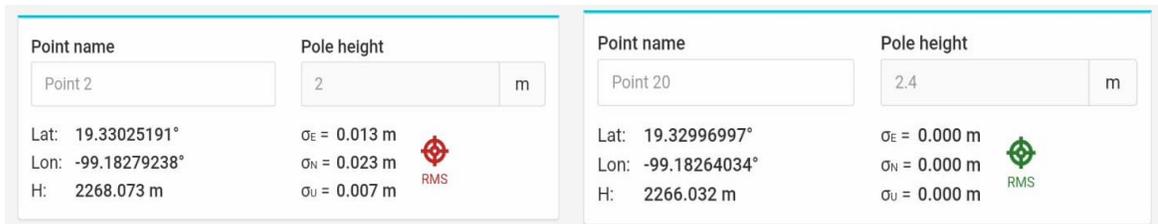


Figura 66. Toma correcta de los datos.

20. Una vez que se tomó el dato correctamente en la pantalla debe aparecer el icono de “save & go” y se podrá avanzar al siguiente punto (figura 67).

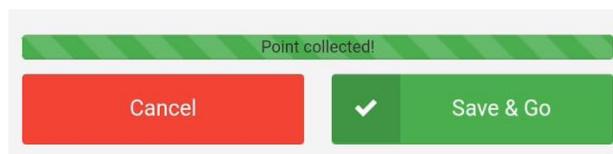


Figura 67. Guardar dato.

21. Repetir los pasos del 19 al 21 alrededor del área deseada, cuantas veces sea necesario.
22. Una vez que se haya terminado la toma de todos los puntos necesarios para el levantamiento, se ira al mapa de inicio y en el icono de tres puntos se podrá descargar el archivo en “export” y descargar en un archivo tipo “.csv” (figura 68).



Figura 68. Guardado de datos en archivo tipo “csv”.

Procesamiento

Para RecMin:

23. En un blog de notas copiar y pegar solos los datos de nombre, longitud, latitud y elevación, posteriormente guardamos.
24. En el software de RecMin crear un nuevo proyecto donde se trabajarán los datos obtenidos; para ello nos dirigiremos al icono de “editar yacimientos” y luego en “nuevo”

después el software desplegará una ventana nueva y seguir los pasos que el mismo software indica (figura 69).

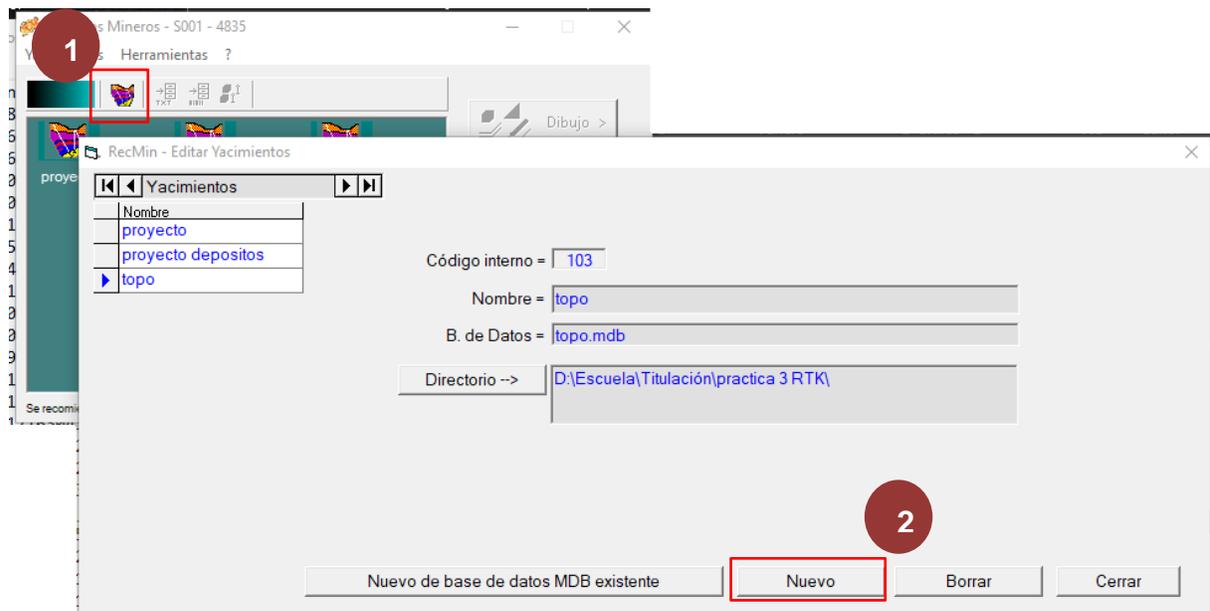


Figura 69. Creación de un nuevo proyecto.

25. Una vez creado el nuevo proyecto seleccionarlo y dar clic a la barra superior de la ventana donde dice “importar” y posteriormente, seleccionar la opción “ficheros de líneas, superficies o puntos en formato TXT” (figura 70).

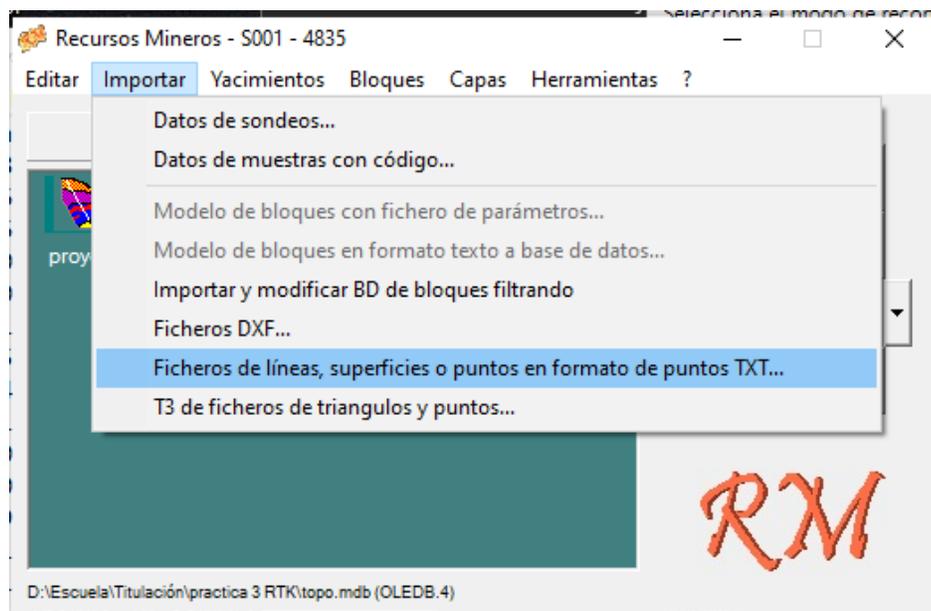


Figura 70. Importar fichero 1.

26. Seleccionar las opciones de “importar coordenadas geográficas”, “WGS84” y “Hemis. N” (figura 71).

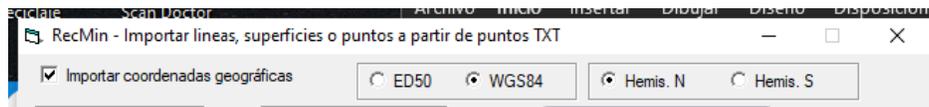


Figura 71. Importar fichero 2.

27. En el “fichero de lectura” seleccionar el archivo de bloc de notas que se realizó previamente (figura 72). En “guardar fichero” seleccionar la ruta donde se guardará y asignarle un nombre y con la extensión de “*.pts” (figura 73).



Figura 72. Importar fichero 3.

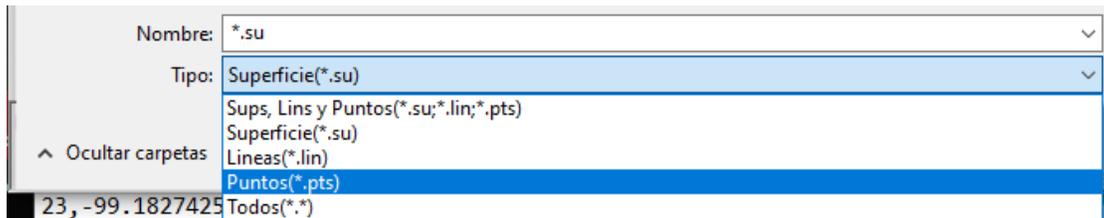


Figura 73. Formato del fichero.

28. Posteriormente, asignar el orden de lectura que dará el software al archivo, en este caso primero será el “ID línea”, segundo la longitud, tercero la latitud y por último la elevación. También, si es el caso, asignar que no se lea la primera línea de los datos. En la opción de “separador”, en este caso, seleccionar “por comas”. En la opción de “Guardar como:” seleccionar “puntos (.pts)”. Importar y cerrar (figura 74).

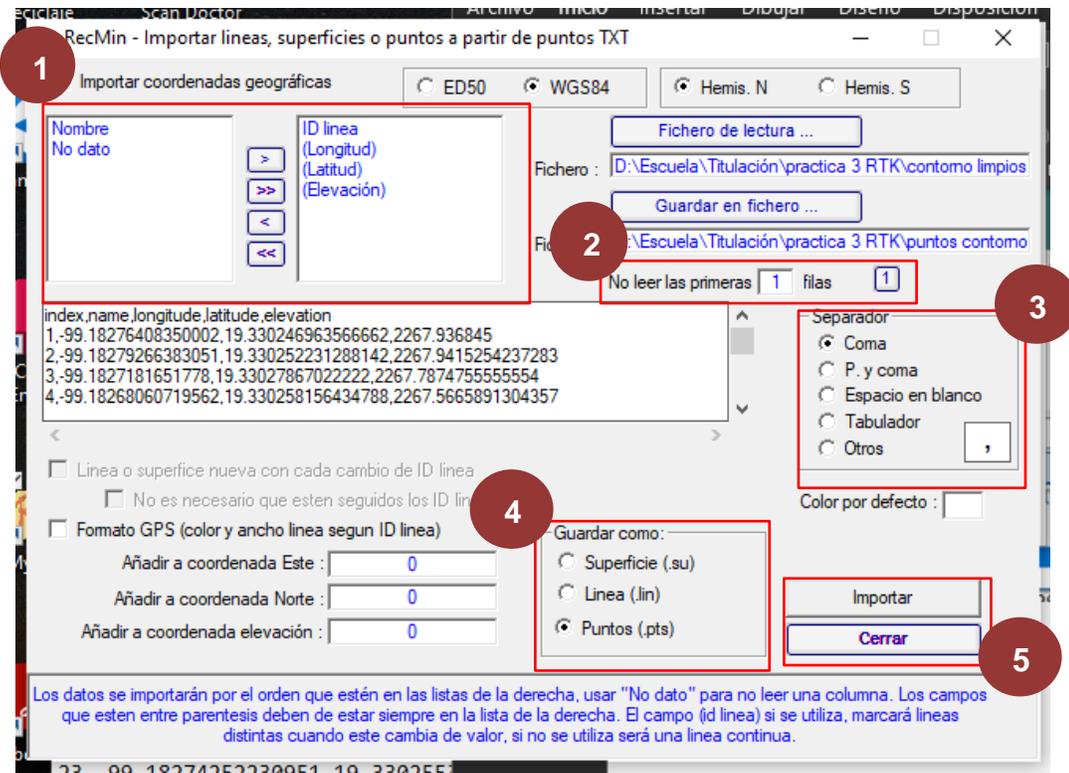


Figura 74. Importar fichero 4.

29. En la ventana de inicio, seleccionar la opción de “dibujo” (figura 75), posteriormente se abrirá una ventana nueva en la cual se trabajará el dibujo de los datos. En el icono de abrir fichero de puntos, seleccionar el archivo creado en el paso anterior (figura 76).

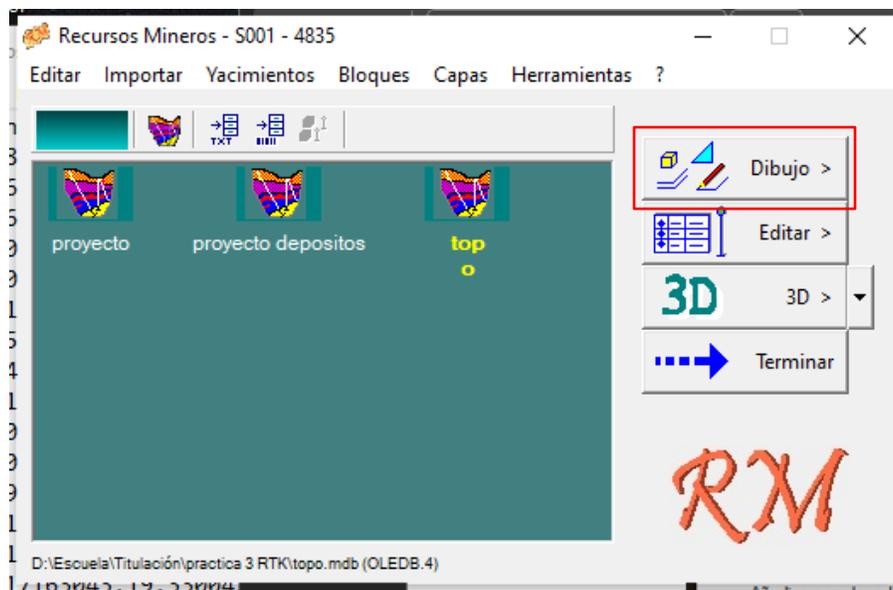


Figura 75. Dibujo.

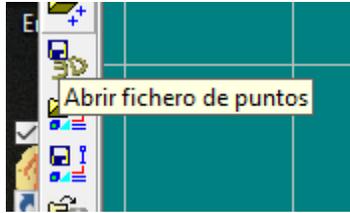


Figura 76. Fichero de puntos.

30. El software dibujará los puntos que se han importado, con el botón de lápiz y en el botón de encajar en puntos activos, unir con una línea todo el contorno del levantamiento (figura 77). Nota: En lista grupo de puntos se puede el editar el formato de los puntos.

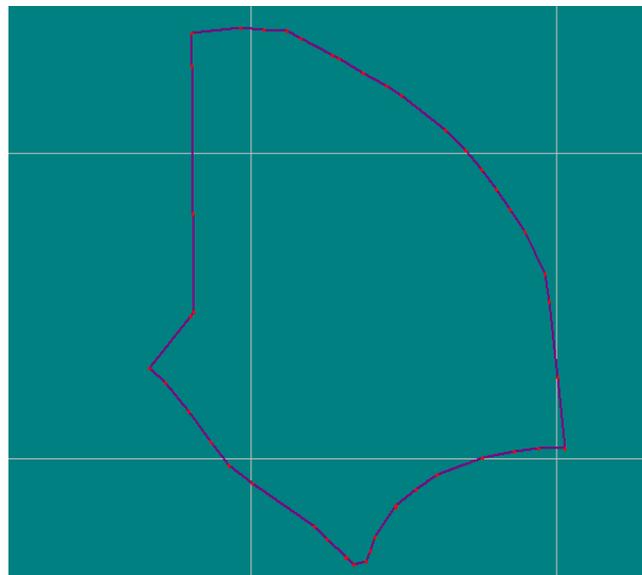


Figura 77. Dibujo del levantamiento.

31. Dar el formato final dependiendo de los requerimientos del profesor.

Referencias

López, J., López, J., Seco, G. (2014). *El sistema GPS*. Universidad Oberta de Catalunya. p. 16. openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/77345/5/Sistemas%20de%20radionavegaci%C3%B3n_M%C3%B3dulo%204_El%20sistema%20GPS.pdf, el 21 de noviembre de 2023.

Emilid. (s.f.). *Como funciona el RTK*. docs.emlid.com/reach/es/tutorials/basics/rtk-introduction/, el 21 de noviembre de 2023.

Topo Servis. (s.f.). *Conoce el receptor RTK y sus funciones*. toposervis.com/conoce-el-receptor-rtk-y-sus-funciones/, el 21 de noviembre de 2023.

GNS Components. (Julio, 2019). *¿Qué es un RTK? ¿Cuál es la diferencia entre GPS y RTK?* es.led-diode.com/news/what-is-an-rtk-what-is-the-difference-between-26036302.html, el 21 de noviembre de 2023.

Geodesical. (s.f.). *Entendiendo las frecuencias satelitales y los canales de receptores GNSS*. geodesical.com/es/novedades/articulos/articulos-de-topografia-entendiendo-las-frecuencias-satelitales-y-los-canales-de-receptores-gnss#:~:text=Las%20frecuencias%20satelitales%20son%20las,posic%C3%B3n%20exacta%20en%20la%20tierra, el 21 de noviembre de 2023.

Mettatec. (Febrero, 2023). *Canales GNSS: ¿Qué son y por qué son tan relevantes?* mettatec.com/es/canales-gnss-que-son-y-por-que-son-tan-relevantes/, el 21 de noviembre de 2023.

Foruno. (s.f.). *Posicionamiento a una frecuencia de actualización de 10 Hz*. www.furuno.com/en/gnss/technical/tec_rate

Peñafiel, J. Zayas, J. (Septiembre, 2001). *Fundamentos del Sistema GPS y Aplicaciones en la Topografía*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

Medina, F. (s.f.). *Guía de liga para los radios de sus sistema GPS RTK. Maximice el rendimiento de su GPS RTK*. Ecomexico. www.ecomexico.net/proyectos/soporte/PDL/Guia%20para%20liga%20PDL.pdf?srsId=AfmBOoqe-4_18gP297riGKkwnqgOTMNE2clqlpOqsXug5aZbmQxJPrsU

Geometer. (Mayo, 2023). *¿Qué es GNSS RTK y cómo funciona?* gpsgeometer.com/es/blog/what-is-gnss-rtk-and-how-does-it-work?srsId=AfmBOoogAS-pbZP-9K0YAStJ7rx25uMtgBFaragnLU7HGYtqRfNNejDE

Práctica 4. Configuración del terreno con GPS en RTK

Marco teórico

La precisión de los receptores GNSS está determinada por diversos factores, los cuales pueden clasificarse de distintas maneras según la fuente consultada. A continuación, se presenta una clasificación que corresponde a mi propuesta, la cual agrupa los aspectos clave que afectan la precisión de las mediciones:

- **Errores de reloj y número de satélites visibles:** los relojes en los satélites no son completamente precisos, por lo que pueden generar errores que se corrigen al tener más de cuatro satélites visibles con buena señal; por tanto, cuantos más satélites estén a la vista del receptor, mayor puede ser la precisión. (Metatec, 2024).
- **Errores orbitales:** las órbitas de los satélites no son perfectas, ni totalmente lineales. Sin embargo, con el avance de la tecnología, los cálculos matemáticos necesarios para mantener un satélite dentro de su órbita han mejorado, lo que contribuye a obtener mejores resultados en las mediciones. (SBG Systems, 2024).
- **Errores atmosféricos:** cuando las señales de satélites pasan a través de la ionósfera se disminuye la velocidad de transmisión de la señal, lo que produce un efecto parecido a la refracción. Estos retrasos pueden introducir un error en el cálculo de las distancias, porque la velocidad de la señal se ve afectada. Este retraso no es constante, en él influyen diversos factores (Metatec,2024):
 - a. *Elevación del satélite.* Cuanto mayor sea la distancia de recorrido de la señal, más afectada podría verse esta.
 - b. *Densidad de la ionósfera.* La densidad de la ionósfera se ve afectada por el sol, por eso la influencia de este es mayor durante el día, y con ello disminuye la velocidad de transmisión de la señal.
 - c. *El vapor de agua contenido en la atmósfera* también afecta las señales GNSS, pues ralentiza las ondas electromagnéticas que pasan a través de él. Esto puede provocar un retraso en la señal, lo que ocasiona errores en la medición de la distancia entre el satélite y el receptor.
- **Multitrayectoria:** las señales pueden reflejarse en superficies cercanas antes de llegar al receptor, lo que puede ocasionar interferencias y errores por una medición falsa. Este tipo de error es común, debido a las obstrucciones por edificios altos, árboles densos o montañas. Estos elementos pueden bloquear las señales de los satélites y reducir la precisión. Finalmente, este error también tiene origen en las

señales de radiofrecuencia de fuentes cercanas, las cuales pueden interferir con las del GNSS. (Metatec, 2024).

- **Geométricos (dilución de precisión o PDOP):** la posición relativa de los satélites puede afectar la precisión. El PDOP es un indicador que sirve para evaluar la calidad geométrica de las señales provenientes de los satélites visibles en un determinado momento, lo cual afecta la precisión de la posición determinada del receptor GNSS.
De esa manera, la precisión se calcula teniendo en cuenta varios factores, como la posición relativa de los satélites en el cielo y su elevación. Un PDOP bajo indica una mejor geometría y, por lo tanto, una mayor precisión para la determinación de la posición. Además, el PDOP se compone principalmente por cuatro aspectos: la dilución de precisión horizontal (HDOP), la dilución de precisión vertical (VDOP), la dilución de precisión geométrica (GDOP) y la dilución de precisión del tiempo (TDOP). (Mecinca, s.f.).
- **Errores de hardware:** no tener un receptor adecuado para trabajos más complejos o específicos puede ocasionar más errores que los esperados e influir en el desgaste por el uso del equipo o en algún daño en la antena.
- **Errores humanos:** Los errores también pueden originarse por un manejo incorrecto del equipo o de las técnicas de correcciones, como cuando el punto no está marcado adecuadamente o el bastón no se encuentra centrado, entre otros factores. (Eptec, 2024)

Aplicaciones

La técnica de RTK se destaca por su capacidad de proporcionar coordenadas de alta, lo que la convierte en una herramienta útil esencial en minería y metalurgia. Algunas de sus posibles aplicaciones son:

- a. Generación de mapas detallados del terreno para identificar zonas de interés y planificación de proyectos mineros.
- b. Generación detallada de curvas de nivel.
- c. Establecimiento de puntos de referencia, facilitando así perforaciones exploratorias.
- d. Medición precisa de volúmenes y áreas con el fin de optimizar recursos y planificar actividades de extracción y relleno.
- e. Monitoreo y control de taludes para prevenir deslizamientos y colapsos.
- f. Determinación de coordenadas para las excavaciones, evitando sobreexcavaciones.
- g. Planificación de infraestructura minera y metalúrgica, como caminos y drenaje.
- h. Optimización de rutas de transporte desde las áreas de extracción hacia plantas de procesamiento.

Objetivos

- La y el alumno se familiarizará con los principios básicos del sistema RTK, incluyendo cómo funciona, los componentes necesarios y los principios de corrección en tiempo real.
- La y el alumno aprenderá a configurar correctamente un receptor GNSS con la metodología RTK para asegurar una conexión estable y precisa.
- La y el alumno realizará las mediciones en el campo utilizando la metodología RTK para entender cómo se obtienen mediciones de alta precisión en tiempo real.
- La y el alumno aprenderá a identificar y corregir posibles problemas que puedan afectar la precisión de la metodología RTK, como obstrucciones de señal e interferencias.
- La y el alumno instalará y configurará correctamente para la transmisión de correcciones diferenciales en tiempo real.
- La y el alumno analizará los datos recopilados y presentará los resultados de manera clara y comprensible.

Material

- Un par de receptores GNSS (base y rover).
- Un trípode.
- Un bastón.
- Un teléfono inteligente o tableta.
- Base nivelante.
- Adaptador.
- Alzacuellos.
- Antena receptora.
- Cinta métrica.
- Libreta de campo.
- Estacas.
- Marro.

Procedimiento

Para la base:

1. Colocar el receptor GNSS en unos de los dos puntos posprocesados de la práctica 2 de acuerdo con el procedimiento de la “práctica 1” del “punto 1 al punto 13” del apartado de “colocación del equipo y nivelado”.
2. Prender el receptor y esperar a que el equipo se conecte a una red Wi-Fi.

3. Una vez que el receptor se conecte a una red Wi-Fi, enlazar el dispositivo móvil al receptor (práctica 1, programación inicial punto 5).
4. Cuando el dispositivo móvil esté conectado al Emlid, abrir el router en el icono de engrane (figura 78).

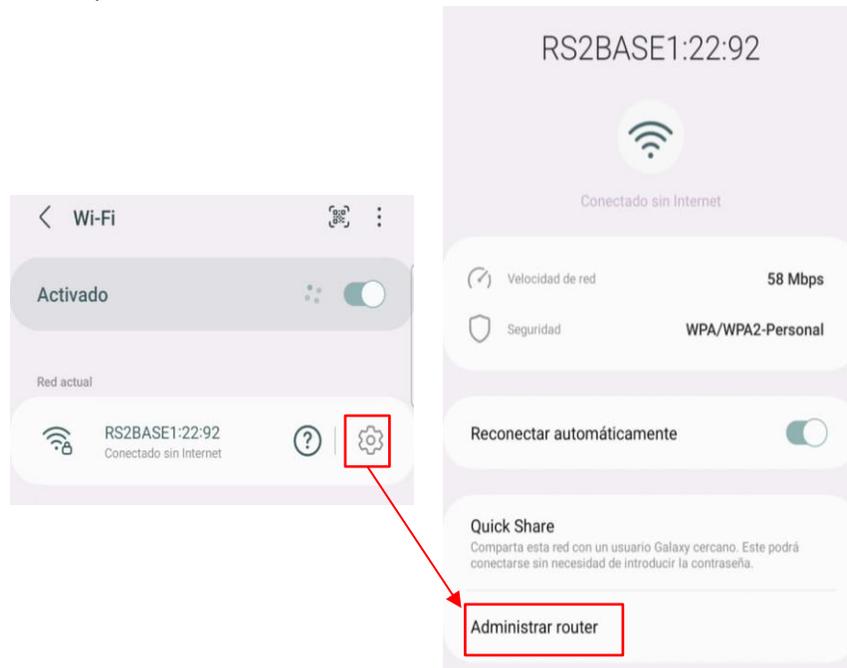


Figura 78. Administrar Router.

5. En el menú, entrar al módulo de “base mode”, seleccionar la opción “LoRa” en el apartado de “corrections output”, configurar el “Output power” con un valor de 20 dBm, con una frecuencia de 902 MHz y un “Air data rate” de 9.11 kb/s. Y aplicar (figura 79).

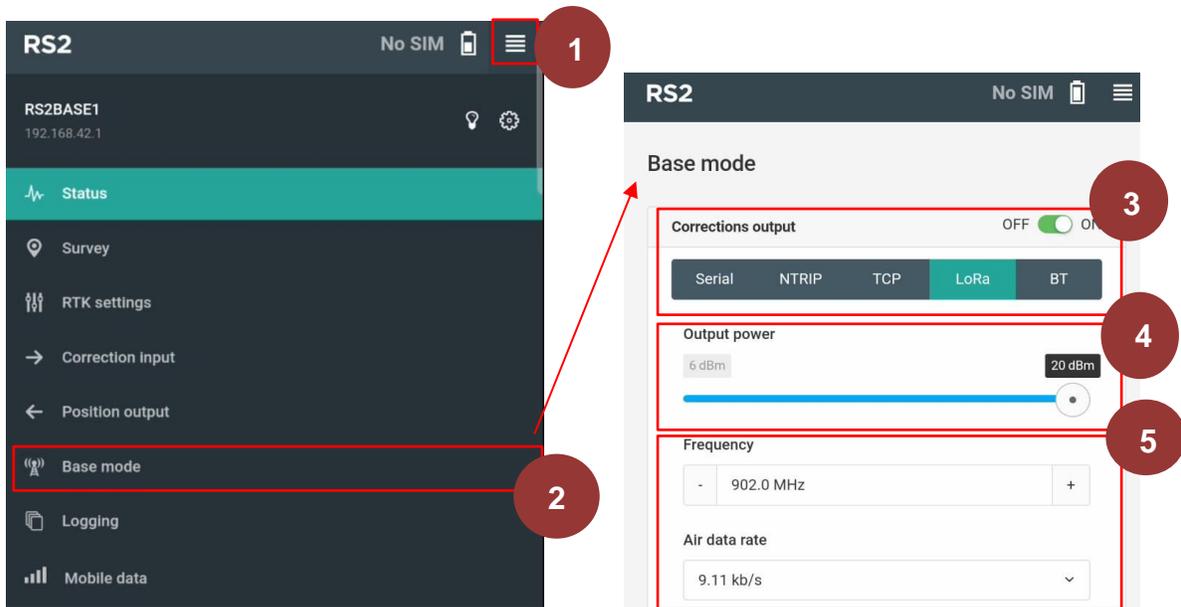


Figura 79. Configuración en “base mode”.

6. En el módulo de “Base coordinates”, insertar las coordenadas del punto en el cual estamos colocados. Con la ayuda del flexómetro, medir la altura de la antena y escribirla en el apartado correspondiente y finalmente aplicar (figura 80).

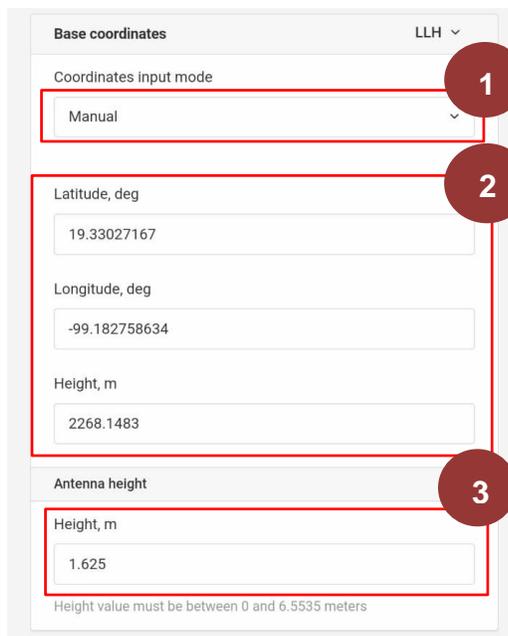


Figura 80. Configuración en “base coordinates”.

7. En el módulo de RTCM3, dejar la configuración por default.

Para el rover:

- Colocar el receptor correspondiente al rover en el bastón y una vez que ha sido colocado se prenderá el receptor de igual manera que se hizo con la base, esperar hasta que el receptor emita una señal Wi-Fi y enlazar al rover. Posteriormente abriremos la interfaz por medio del router.
- En el menú, entrar al apartado de “base mode”, apagar (off) las “corrections output”, este paso es esencial, ya que nos permitirá hacer un correcto enlace de la base con el rover (figura 81).

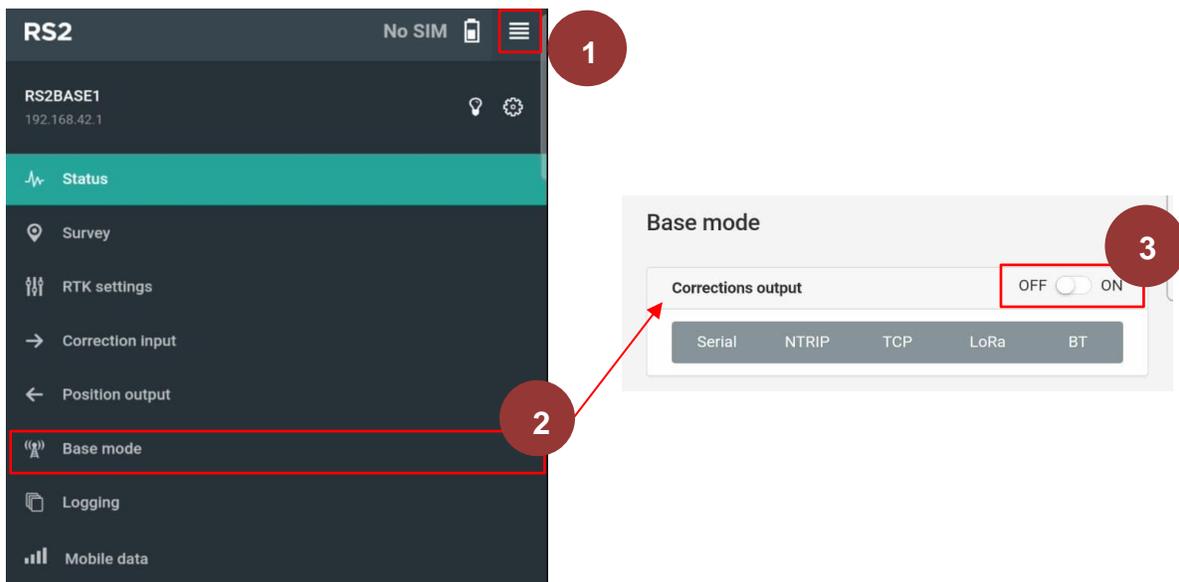


Figura 81. Configuración en “base mode” para el rover.

- En el módulo de “base coordinates” seleccionar la opción de “average fix” y tomar una medición de 1 minuto (figura 82).

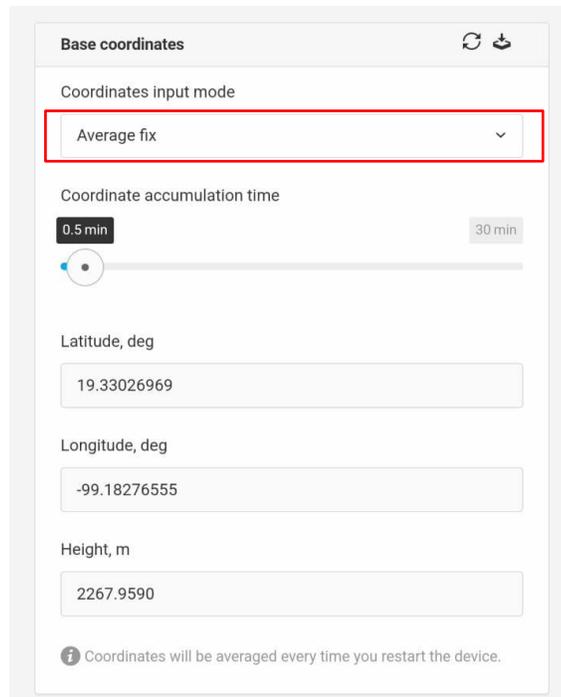


Figura 82. Configuración en “base coordinates” para el rover.

11. Nuevamente, en el menú, entrar al apartado de “RTK Setting” seleccionar el tipo de posicionamiento “Kinematic” (modo cinamático), ya que este receptor estará en movimiento. Seleccionar la elevación de “15°” y el “SNR mask” colocarla en 35 (figura 83).

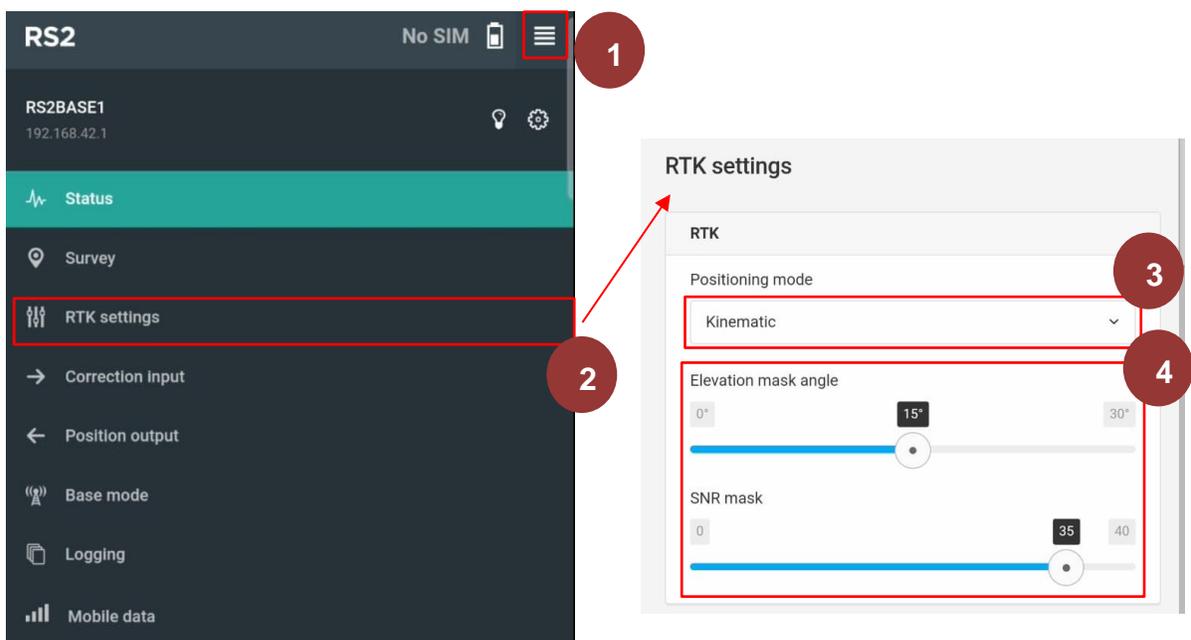


Figura 83. Configuración en “RTK settings”.

12. En el apartado de las constelaciones “GNSS select”, seleccionar GPS, GLONASS y GALILEO (figura 84).

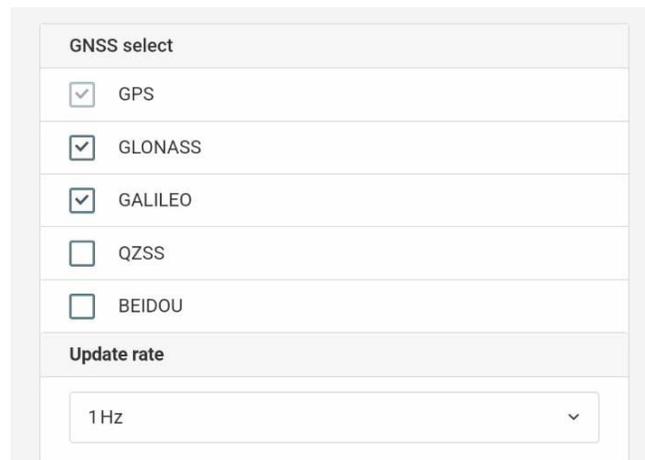


Figura 84. Selección de las constelaciones.

13. De nuevo en el menú, entrar al apartado de “correction input”, encender (on) la opción de “base correction” y establecer una frecuencia de 902.0 MHz y un “air data rate” de 9.11 kb/s. Aplicar (figura 85).

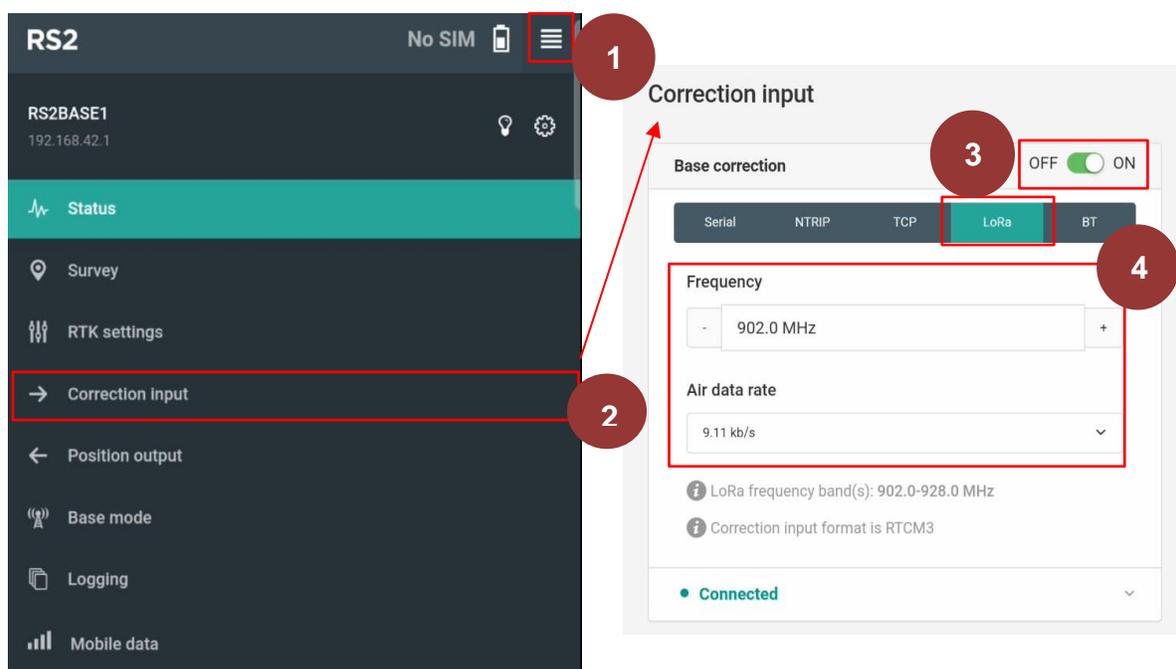


Figura 85. Configuración en “correction input”.

14. Cuando toda la configuración del rover esté completada, el receptor emitirá un pitido dando como señal de que se encuentra totalmente conectado con la base y viceversa, la base estará conectada al rover.

15. Regresar al menú de inicio y entrar a la opción “estado del receptor”, allí se visualizará la señal de ambos receptores y a cuantos satélites están enlazados cada uno, también se visualizarán los parámetros de RTK, la posición del receptor y un mapa donde se puede visualizar ambos receptores (figuras 86 y 87).

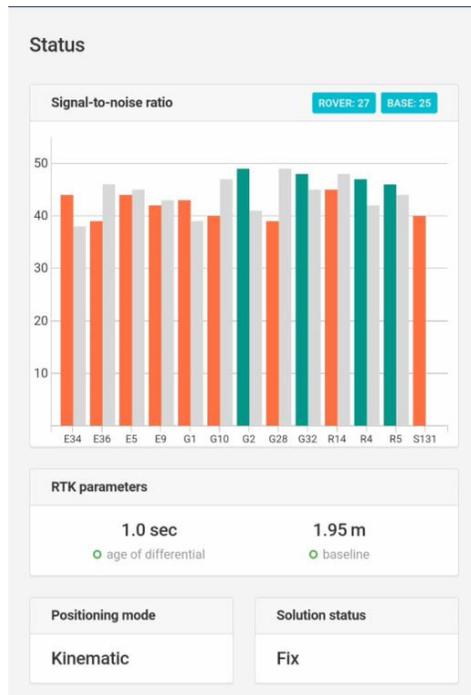


Figura 87. Estatus 1.

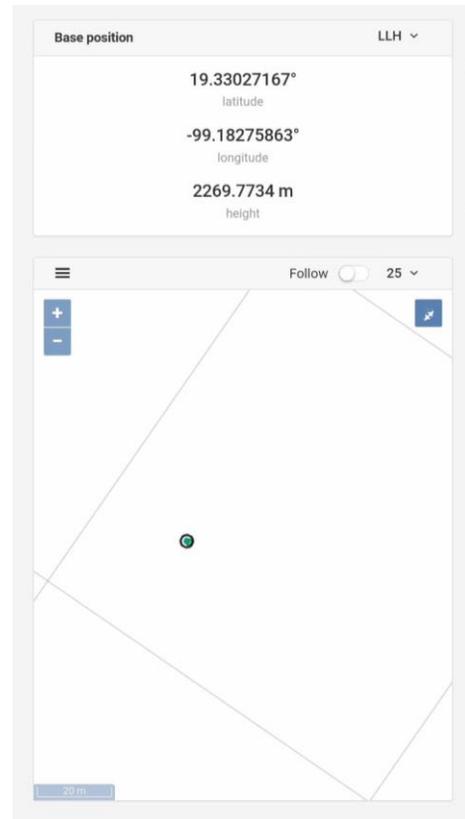


Figura 86. Estatus 2.

Levantamiento:

16. En el menú, entrar al apartado de “survey”. Crear un archivo donde se encontrarán los datos de nuestro levantamiento, por lo que seleccionar el botón de “New proyect”, ingresar información elemental como el nombre del proyecto, autor y alguna nota de ser necesaria y presionar el botón de siguiente (Next); (figura 88).

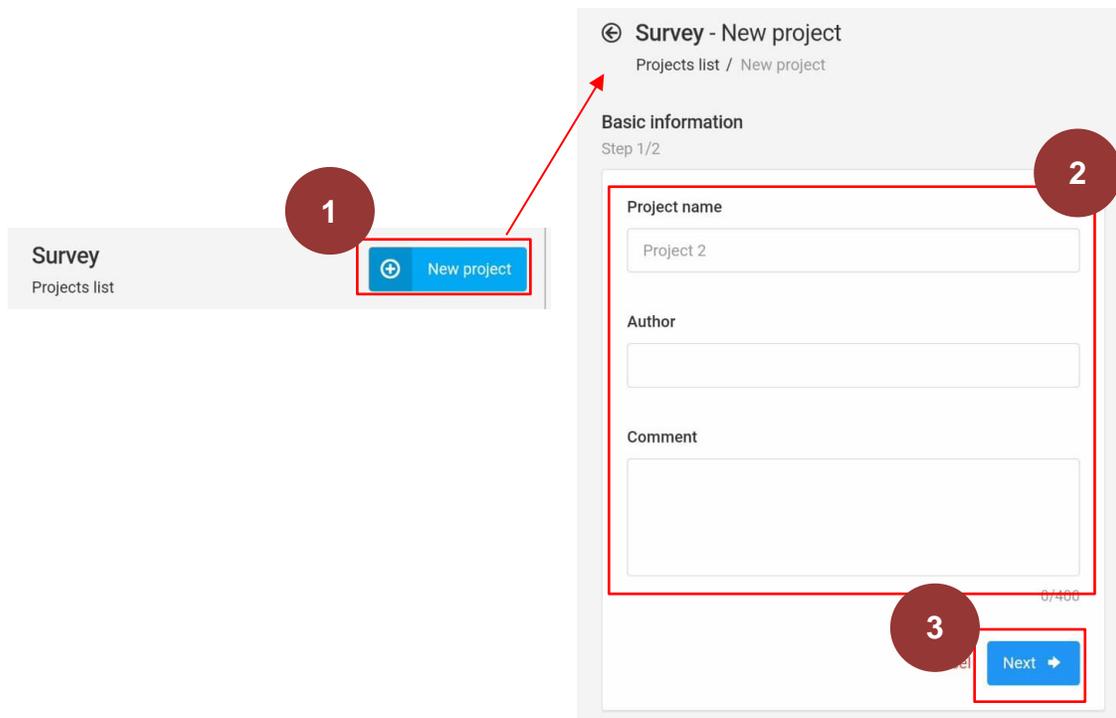


Figura 88. Creación de un proyecto nuevo.

17. En la ventana de “auto-save-rules”, activar la opción de “Solution status Fix”, con un requerimiento de observación de 40 segundos, con una desviación estándar de 0.005 y un “DOP” de 2; concluir y seleccionar el botón “Done” (figura 89).

Survey - New project
Projects list / New project

Auto-save rules
Step 2/2

Enable up to three solution statuses acceptable for point collecting. For every status you need to configure auto-save rule.

1 Optional: Auto-save point if...

- Solution status FIX
Edit rule

2 Required observation time

- 0 min +

- 40 sec +

3 Precision (σ)

0.005 m

4 DOP

2

Solution status FLOAT
Rule is disabled Edit rule

Solution status SINGLE
Rule is disabled Edit rule

Figura 89. Configuración del proyecto nuevo.

18. A continuación, empezaremos con la lectura de los datos, para esto hay que dirigirse al signo “mas” que está en la parte inferior derecha de la pantalla, en el cual se le insertará el nombre del dato a tomar, la altura del bastón. Posteriormente, seleccionar el botón de “Collect” y el equipo empezará a recolectar el dato cuando se cumplan las condiciones previamente dadas durante 39 segundos consecutivos (figura 90).

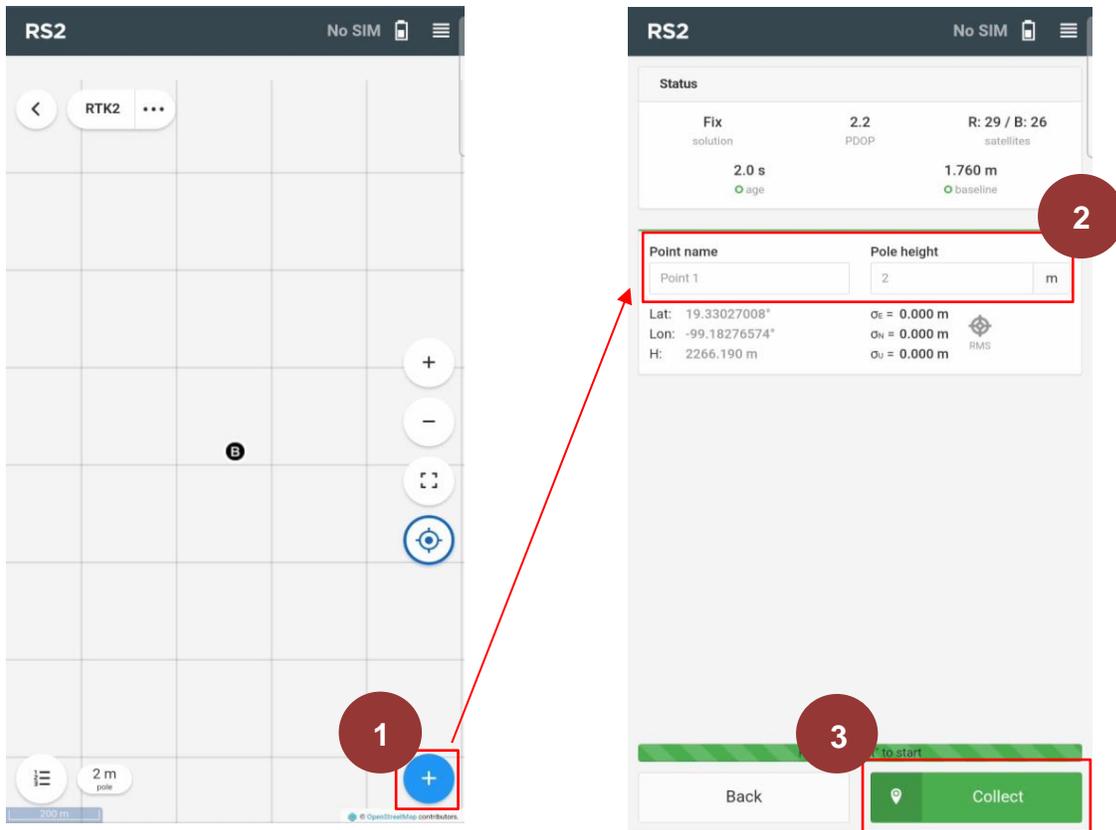


Figura 90. Toma de datos.

19. Se puede visualizar si el dato fue correctamente tomado si el símbolo de “RMS” permanece en verde y no el rojo (figura 91).

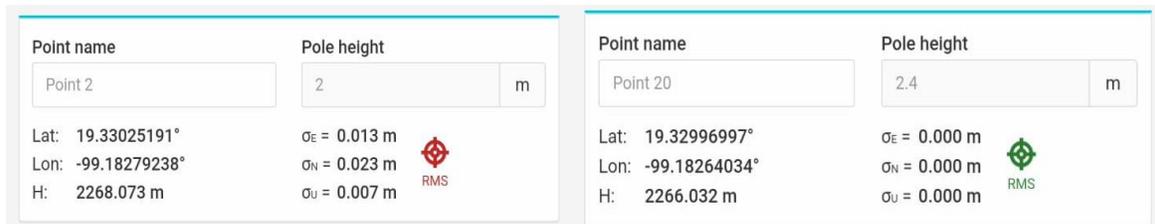


Figura 91. Toma incorrecta de los datos (izquierda) y toma correcta de los datos (derecha).

20. Una vez que se tomó el dato correctamente en la pantalla debe aparecer el icono de “save & go” y se podrá avanzar al siguiente punto (figura 92).



Figura 92. Guardado del dato.

21. Repetir los pasos del 19 al 21 alrededor del área deseada, cuantas veces sea necesario y posteriormente en puntos estratégicos dentro del área donde haya cambios de elevación.
22. Una vez que se haya terminado la toma de todos los puntos necesarios para el levantamiento, se ira al mapa de inicio y en el icono de tres puntos se podrá descargar el archivo en “export” y descargar en un archivo tipo “.csv” (figura 93).

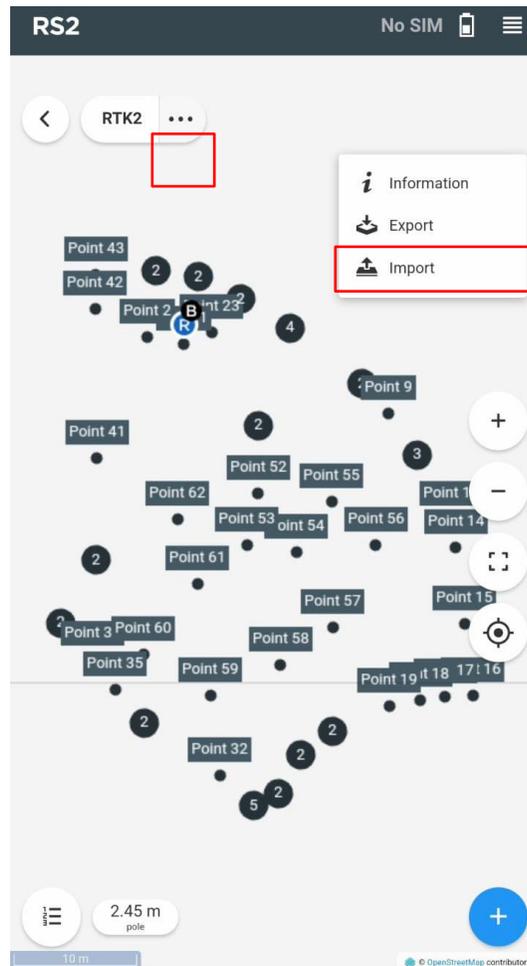


Figura 93. Exportación de los datos en un archivo “csv”.

Procesamiento

Para RecMin:

23. En un bloc de notas copiar y pegar solos los datos de nombre, longitud, latitud y elevación, posteriormente guardamos.
24. En el software de RecMin crear un nuevo proyecto donde se trabajarán los datos obtenidos; para ello nos dirigiremos al icono de “editar yacimientos” y luego en “nuevo”

después el software desplegará una ventana nueva y seguir los pasos que el mismo software indica (figura 94).

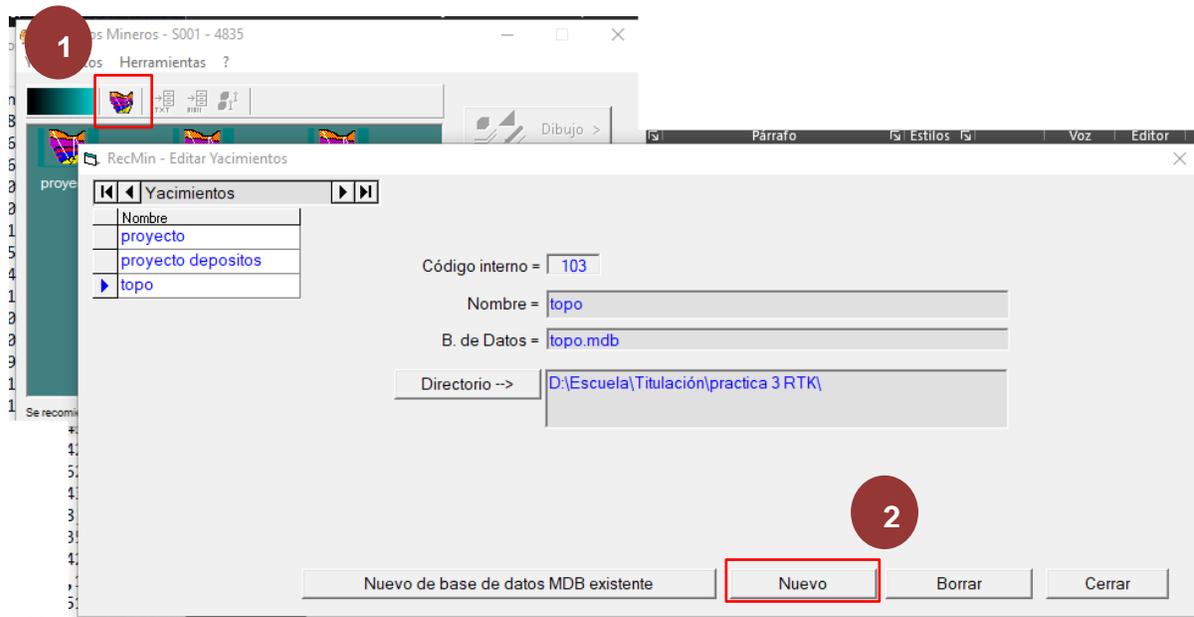


Figura 94. Creación de un nuevo proyecto en RecMin.

25. Una vez creado el nuevo proyecto seleccionarlo y dar clic la barra superior de la ventana donde dice “importar” y posteriormente, seleccionar la opción de “archivos de líneas, superficies o puntos en formato TXT” (figura 95).

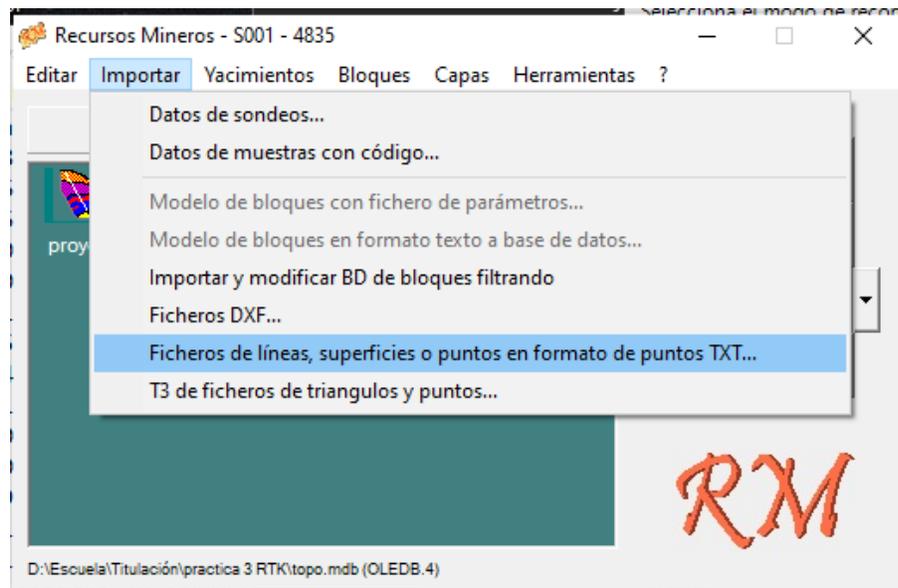


Figura 95. Importar fichero 1.

26. Seleccionar las opciones de “importar coordenadas geográficas”, “WGS84” y “Hemis. N” (figura 96).

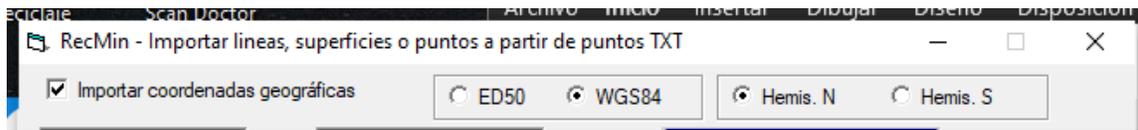


Figura 96. Importar fichero 2.

27. En el “fichero de lectura” seleccionar el archivo de bloc de notas que se realizó previamente (figura 97). En “guardar fichero” seleccionar la ruta donde se guardará y asignarle un nombre y con la extensión de “*.pts” (figura 98).



Figura 97. Importar fichero 3.

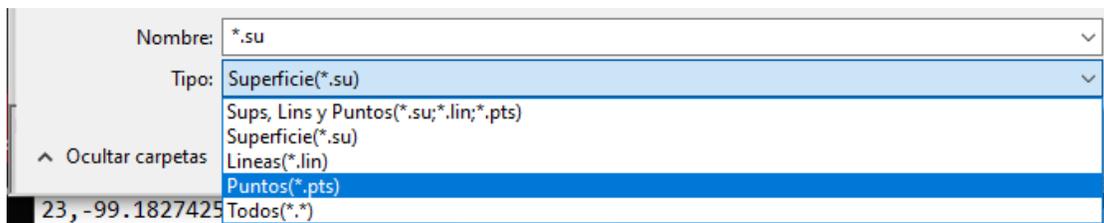


Figura 98. Formato del fichero.

28. Posteriormente, asignar el orden de lectura que dará el software al archivo, en este caso primero será el “ID línea”, segundo la longitud, tercero la latitud y por último la elevación. También, si es el caso, asignar que no se lea la primera línea de los datos. En la opción de “separador”, en este caso, seleccionar “por comas”. En la opción de “Guardar como:” seleccionar “puntos (.pts)”. Importar y cerrar (figura 99).

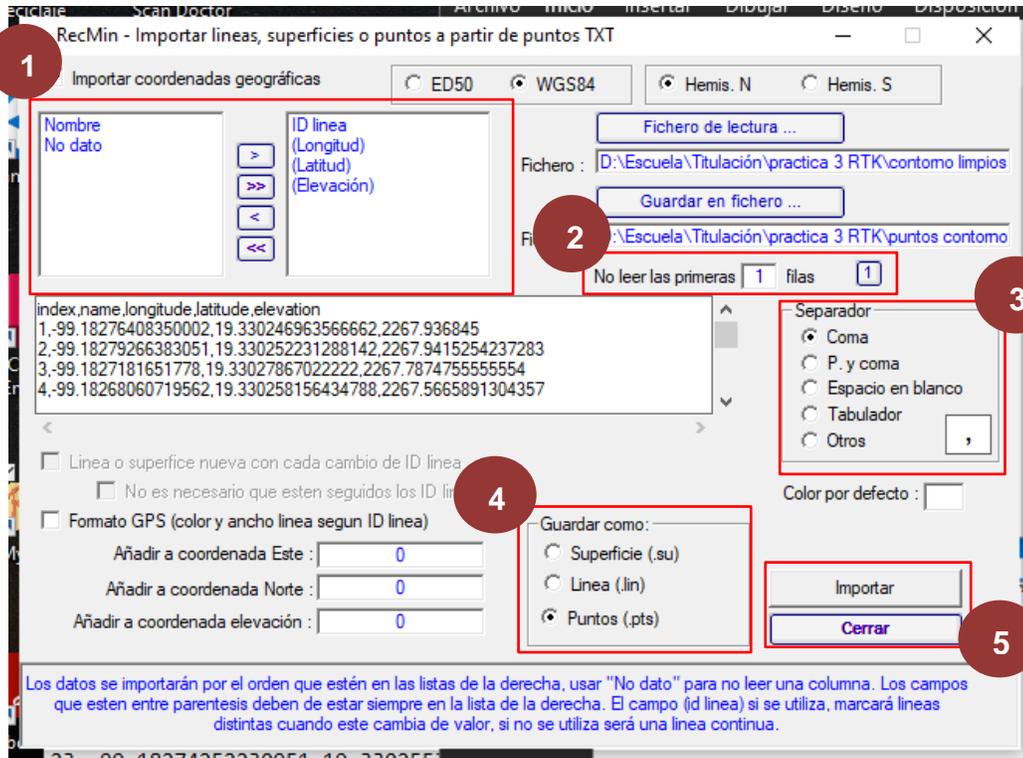


Figura 99. Importar fichero 4.

29. En la ventana de inicio, seleccionar la opción de “dibujo” (figura 100), posteriormente se abrirá una ventana nueva en la cual se trabajará el dibujo de los datos. En el icono de abrir fichero de puntos, seleccionar el archivo creado en el paso anterior (figura 101).

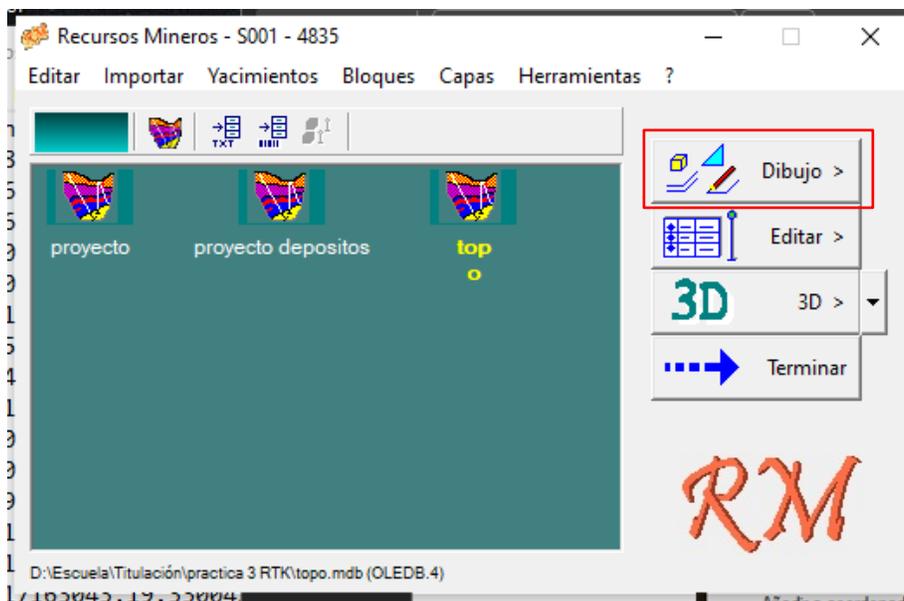


Figura 100. Dibujo.

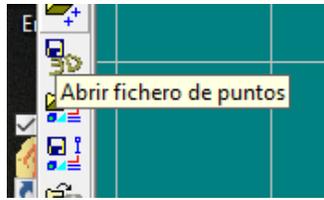


Figura 101. Fichero de puntos.

30. El software dibujará los puntos que se han importado, con el botón de lápiz y en el botón de encajar en “puntos activos”, unir con una línea todo el contorno del levantamiento (figura 102). Nota: En lista grupo de puntos se puede el editar el formato de los puntos.

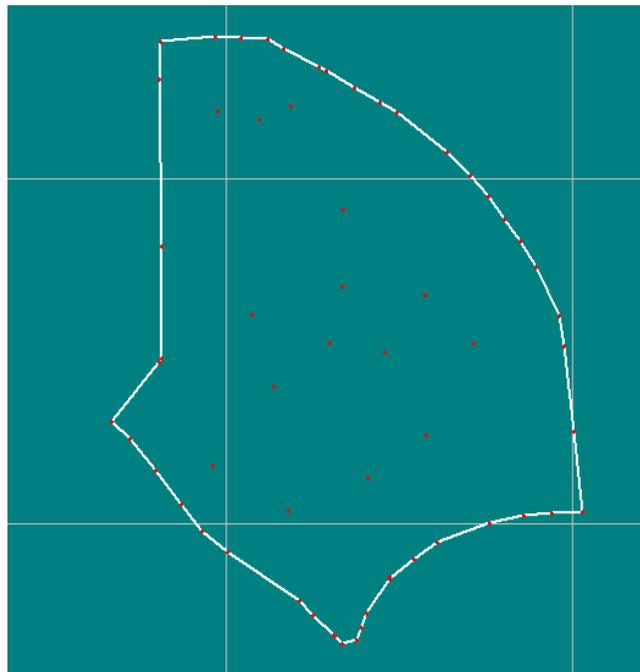


Figura 102. Dibujo del levantamiento.

31. A continuación, se seguirán los pasos correspondientes para la creación de las curvas de nivel. Para ello, en la barra superior del software dirigirse al apartado de “Sup Lin-T3”, seleccionar la opción de “Triangular superficies/grupo de puntos...”. En la ventana emergente, seleccionar el grupo de puntos importados y activar la casilla de “Triangulación sencilla”. Finalmente seleccionar la opción de “triangular” (figura 103).

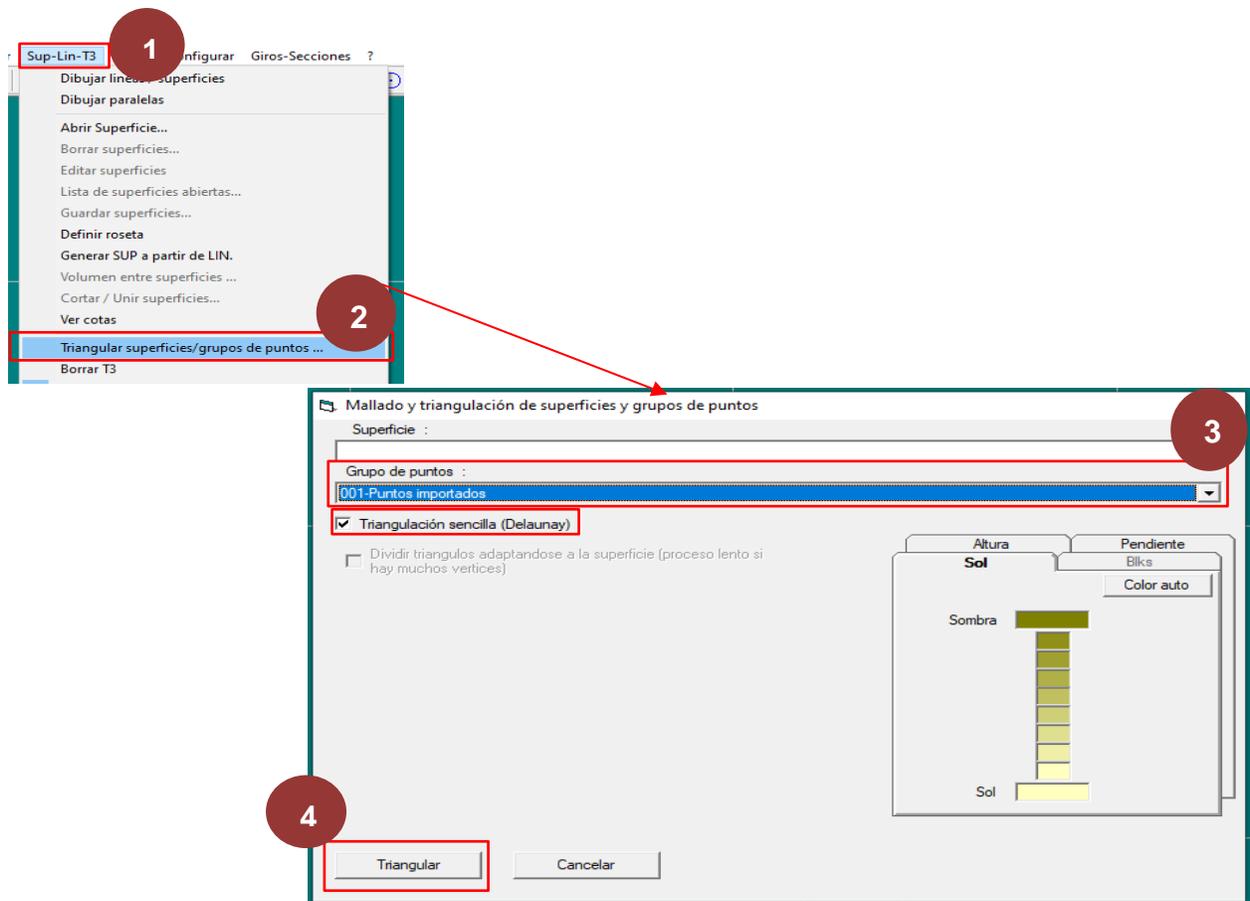


Figura 103. Triangulación en RecMin.

32. Una vez triangulado el área del levantamiento, en la parte superior del software en el módulo de “Sup-Lin-T3”, dar clic en la opción de “Generar líneas de contorno T3 activos”, con un plano de corte “NE”. Las isolneas que tendrá el área del levantamiento serán dependiendo de donde se realizó el levantamiento, por lo que se deja al criterio del alumno o los requerimientos del profesor. Las cotas iniciales y finales se aceptan a las predeterminadas. En la opción de “¿NO separar las superficies por niveles?” seleccionar la opción de “no”. RecMin empezara a generar las curvas de nivel (figura 104).

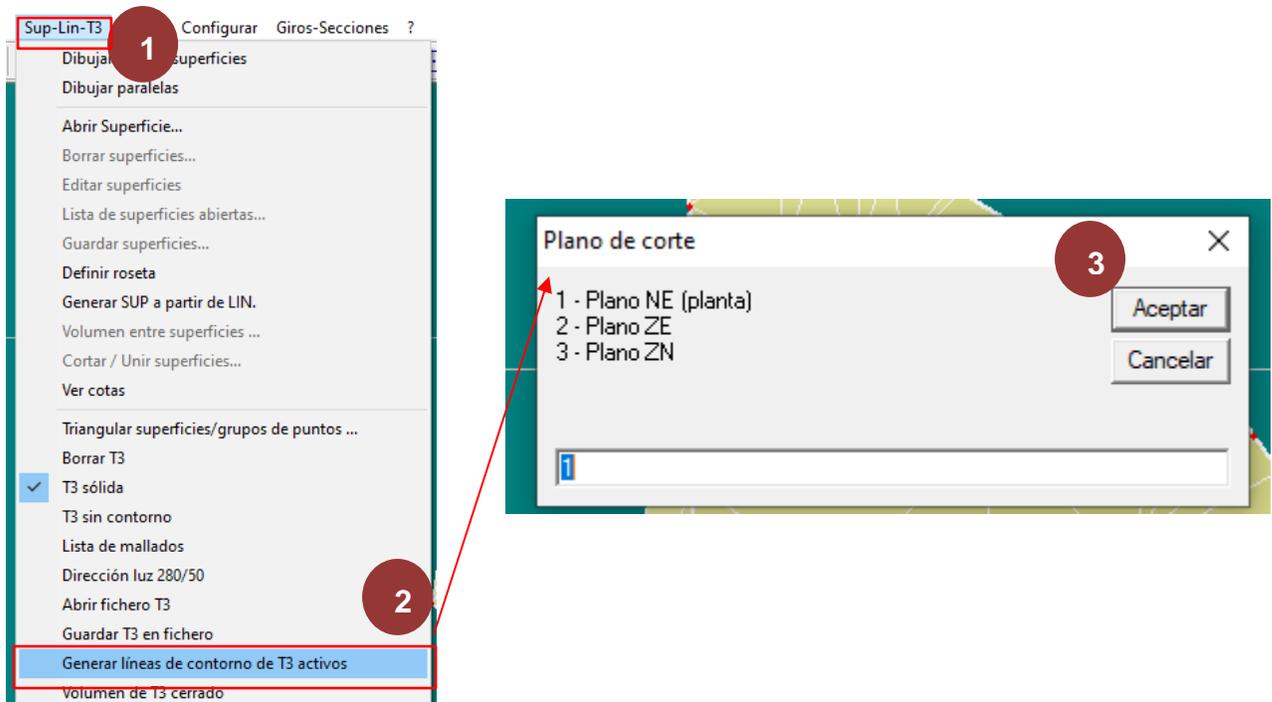


Figura 104. Generación de curvas de nivel en RecMin.

33. Dar el formato final dependiendo de los requerimientos del profesor.

Referencias

López, J., López, J., Seco, G. (2014). *El sistema GPS*. Universidad Oberta de Catalunya. p. 16. openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/77345/5/Sistemas%20de%20radionavegaci%C3%B3n_M%C3%B3dulo%204_El%20sistema%20GPS.pdf, el 21 de noviembre de 2023.

Emilid. (s.f.). *Cómo funciona el RTK*. docs.emlid.com/reach/es/tutorials/basics/rtk-introduction/, el 21 de noviembre de 2023.

Topo Servis. (s.f.). *Conoce el receptor RTK y sus funciones*. toposervis.com/conoce-el-receptor-rtk-y-sus-funciones/, el 21 de noviembre de 2023.

GNS Components. (Julio, 2019). *¿Qué es un RTK? ¿Cuál es la diferencia entre GPS y RTK?* es.led-diode.com/news/what-is-an-rtk-what-is-the-difference-between-26036302.html, el 21 de noviembre de 2023.

Mettatec (Octubre, 2023). *¿Cuántos canales necesitan un receptor GNSS? Los 184 canales del receptor X5 son más que suficientes*. mettatec.com/es/cuantos-canales-necesita-un-receptor-gnss/

Rivero, V. (Julio, 2020). *Spoofing y jamming sobre los GNSS*. Instituto Nacional de Ciberseguridad de España. <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/spoofing-y-jamming-los-gnss>

Casanova, L. (2002). *Topografía Plana*. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería Departamento de Vías. pp. 273-275. www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf

Metatec. (Diciembre, 2024). *¿Qué es la precisión en GNSS y por qué varía?* mettatec.com/es/que-es-la-precision-en-gnss-y-por-que-varia/#2_Multitrayecto

SBG Systems. (Marzo, 2024). *Dominar la precisión: El GNSS y sus fuentes de error*. www.sbg-systems.com/es/noticias/mastering-accurac-gnss-and-its-errors-sources/

Mecinca. (s.f.). *GPS – El Sistema de Posicionamiento Global*. www.mecinca.net/Presentaciones/GPSsencillo/index5.htm

Eptec. (Octubre, 2024). *¿Cuáles son las fuentes de errores RTK y cómo evitarlos?* www.eptec.net/Blog2/1019#h.d5t556am77zz

Práctica 5. Levantamiento con GNSS en modalidad NTRIP

Marco teórico

La corrección diferencial es un método que se utiliza para mejorar la precisión de las mediciones GNSS. Esta consiste en comparar las mediciones tomadas por una estación base con ubicación conocida, llamada “estación de referencia”, con las mediciones tomadas por un receptor GNSS en un lugar remoto, llamado “receptor móvil”. Las diferencias identificadas se transmiten como correcciones al receptor móvil, lo que mejora la precisión de la posición determinada por el receptor. (Esri, s.f.).

En ese sentido, una técnica de correcciones diferenciales por NTRIP es un *protocolo de comunicación* que se emplea en sistemas GPS para transmitir datos de corrección diferencial a través de internet en tiempo real a receptores GNSS, con el fin de mejorar la precisión de los receptores. En cuanto a las características principales de la NTRIP, entre estas se tienen las correcciones en tiempo real por internet; el formato de la Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos (RTCM); las estaciones base en donde se operan, generan y transmiten las correcciones a través de los servidores; y la amplia aplicabilidad a diferentes industrias y objetivos. (SCS equipos, s.f.).

Ante esto, cabe aclarar que la RTCM es una organización internacional que establece estándares para la transmisión de datos de corrección diferencial utilizados en GNSS. De esa forma, la sigla RTCM también se utiliza para hacer referencia al formato de datos que se desarrolla por parte de esta organización, el cual se emplea para transmitir dichas correcciones diferenciales desde la estación base hasta los receptores GNSS vía internet. En suma, la RTCM define cómo se empaquetan y transmiten los datos, lo que permite una comunicación efectiva entre la estación base y los receptores GNSS para mejorar la precisión de su posición. (Geodesical, s.f.).

Aplicaciones

La técnica de NTRIP es especialmente útil en entornos en donde el fenómeno del multipath podría afectar significativamente a la precisión del receptor GNSS. Al utilizar correcciones vía internet, es posible minimizar de manera considerable estos errores, mejorando la calidad de las mediciones.

En cuanto a aplicaciones más específicas, esta técnica resulta ideal para desarrollar múltiples trabajos topográficos y el seguimiento de obras en proyectos a gran escala, donde las operaciones incluyen múltiples edificaciones, maniobras y actividades que podrían generar interferencias en la señal del receptor GNSS. Además, en proyectos de

gran envergadura, suele ser posible contar con redes Wi-Fi confiables, lo que facilita la implementación de correcciones precisas a través de NTRIP.

En proyectos más pequeños, como las canteras, esta técnica también ofrece ventajas significativas. Dado que las canteras suelen ubicarse en zonas cercanas a áreas urbanas, las señales provenientes de televisores, radios y dispositivos celulares pueden interferir con la recepción de datos en el receptor GNSS. En estos casos, las correcciones a través de internet se presentan como una solución eficaz para garantizar mediciones más precisas.

Objetivos

- La y el alumno aprenderá a utilizar la tecnología NTRIP para acceder a correcciones diferenciales en tiempo real y aplicarlos en receptores GNSS para mejorar la precisión de las mediciones.
- La y el alumno aprenderá a configurar y operar un receptor GNSS a través de su conexión por NTRIP para recibir las correcciones en tiempo real.

Material

- Dos receptores GNSS (base y rover).
- Un trípode.
- Un bastón.
- Un teléfono inteligente o tableta.
- Base nivelante.
- Adaptador.
- Alzacuellos.
- Antenas receptoras.
- Cinta métrica.

Procedimiento

Registro:

De acuerdo con los manuales de Emlid la forma registrarse para poder hacer correcciones por medio de NTRIP es la siguiente:

1. Para poder usar los servidores de NTRIP con los equipos de Emlid hay que registrarse en la cuenta de Emlid Caster (<https://emlid.com/ntrip-caster/>) y seguir los pasos de registro según lo indique la página.

- Una vez completado el registro, el distribuidor te otorgará varios puntos de montaje a los cuales se podrán conectar al servidor NTRIP. Para fines académicos de dicha práctica se utilizará solo el primer punto de montaje. Emlid Caster otorgará la dirección, puerto, contraseña y punto de montaje tanto para la base como para el rover. Figuras 105 y 106.

Configure su base para enviar correcciones a través de NTRIP e ingrese estas credenciales.

DIRECCIÓN	PUERTO
caster.emlid.com	2xxx
164.xx.xxx.xxx	
CONTRASEÑA	PUNTO DE MONTAJE
423xxx	MPxxxxx

Figura 105. Datos de Emlid Caster para la base.

Configure su móvil para recibir correcciones a través de NTRIP e ingrese estas credenciales.

DIRECCIÓN	PUERTO	NOMBRE DE USUARIO
caster.emlid.com	2xxx	Uxxxx
164.xx.xxx.xxx		
CONTRASEÑA	PUNTO DE MONTAJE	
423xxx	MPxxxxx	

Figura 106. Datos de Emlid Caster para el rover.

Para la base:

- Colocar el receptor GNSS en uno de los dos puntos posprocesados de la práctica 2 de acuerdo con el procedimiento de la “práctica número 1” del “punto 1 al punto 13” del apartado de “colocación del equipo y nivelado”.
- Prender el receptor y esperar a que el equipo se conecte a una red Wi-Fi.
- Una vez que el receptor esté conectado a una red Wi-Fi enlazar el dispositivo móvil al receptor (práctica 1, programación inicial punto 5).
- Abrir la aplicación de Emlid Flow para enlazar el receptor a una red Wi-Fi
- En el módulo de Wi-Fi, acceder a la configuración para conectar el GPS a una red. Seleccionar la red a conectar, insertar la contraseña, salir y actualizar la página (figura 107).

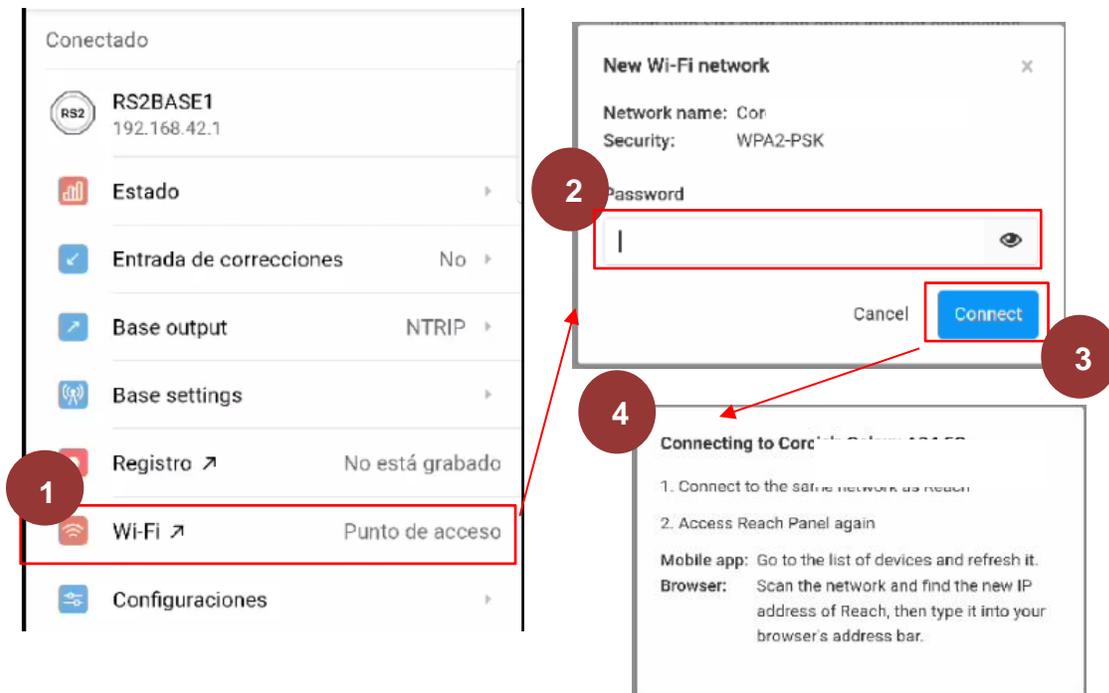


Figura 107. Conexión Wi-Fi de la base.

8. Recargamos la página y volvemos a seleccionar al equipo.
9. Entrar al apartado de “base output”, seleccionar la modalidad de “NTRIP” con el objetivo de que el equipo pueda enviar correcciones vía internet. Posteriormente se desplegará una pestaña donde se ingresarán las identificaciones para la base proporcionadas por Emlid Caster (figura 108 y 109).

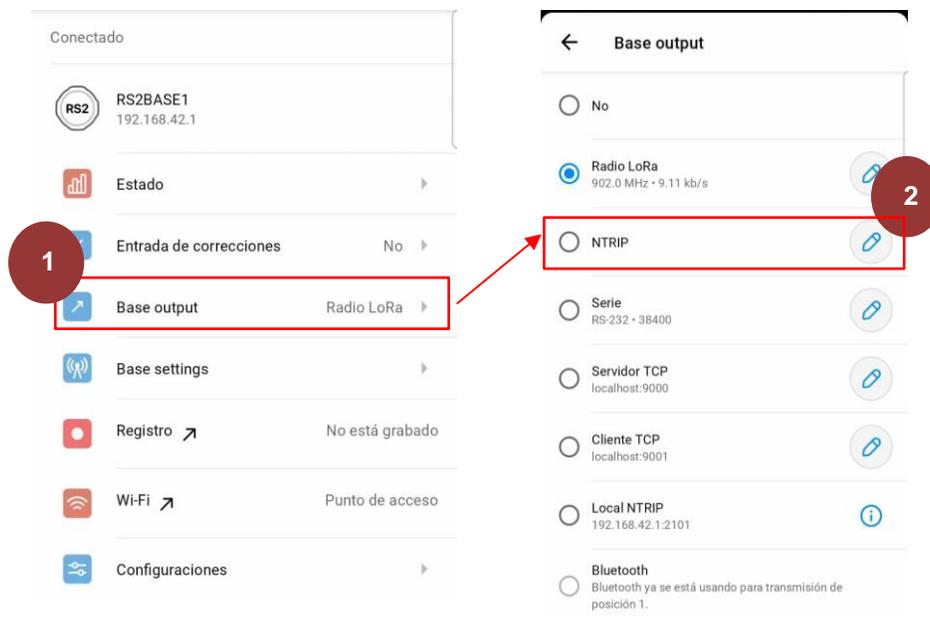


Figura 108. Correcciones vía internet.

Figura 109. Datos de la base.

10. La otra forma de conectar la modalidad “NTRIP” es seleccionar la opción de “Local NTRIP” y en el icono de signo exclamación copiar las identificaciones para el rover (figura 110).

Figura 110. Local NTRIP.

11. Abrir el “reach panel” dejando presionado el nombre del receptor (figura 111).

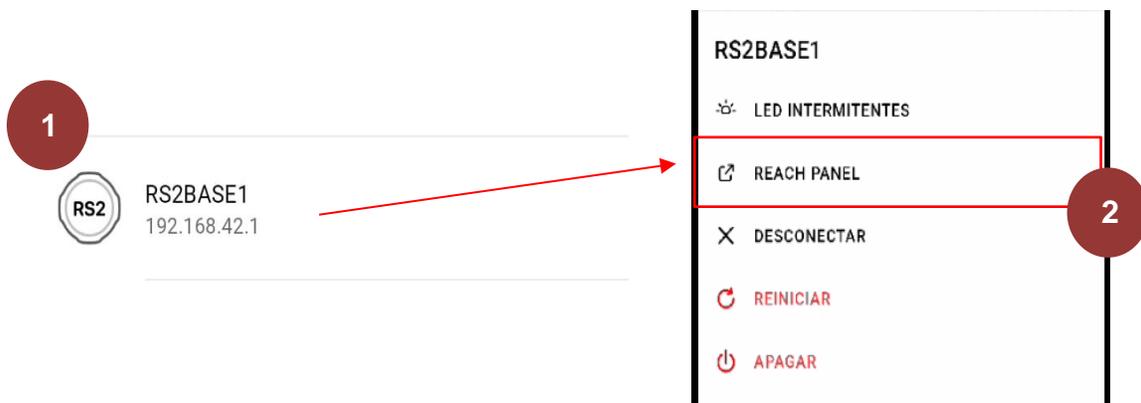


Figura 111. Reach panel.

12. En el menú, entrar al apartado de “RTK Setting”, seleccionar la opción de modo estático con un ángulo de elevación de 15° y un “SNR mask” de 35° y aplicamos (figura 112).

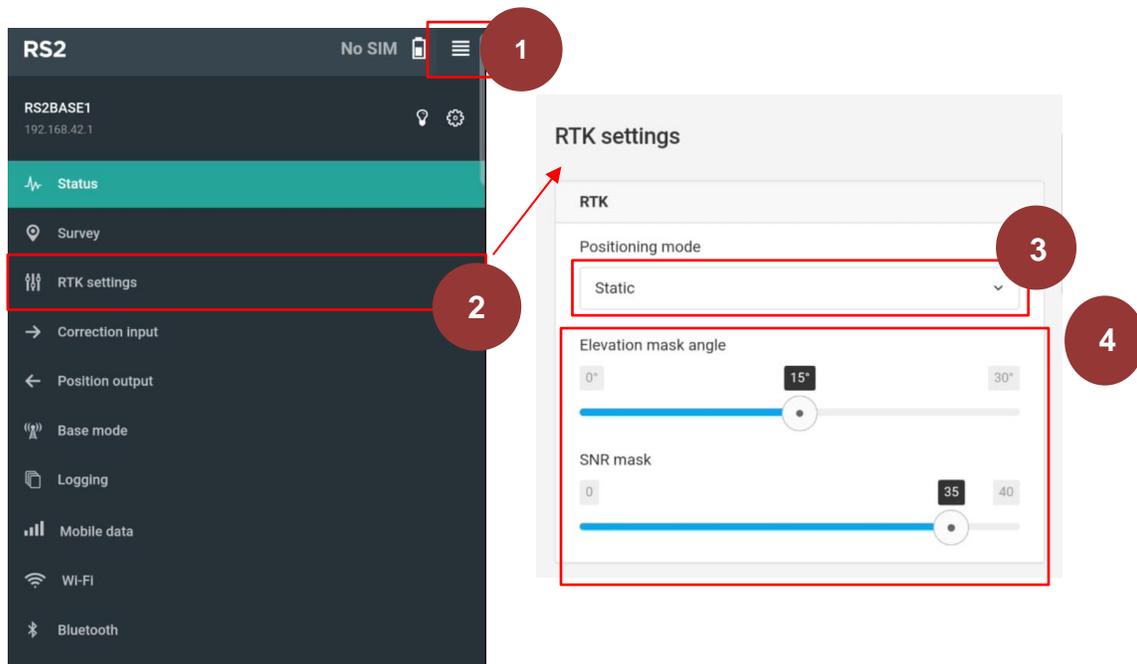


Figura 112. Configuración en "RTK Settings".

13. En el apartado de “Base Mode”, encender la opción de “corrections output” y seleccionar “NTRIP” e insertar nuevamente las identificaciones proporcionadas por el “Emlid Caster” correspondientes a la base (figura 113).

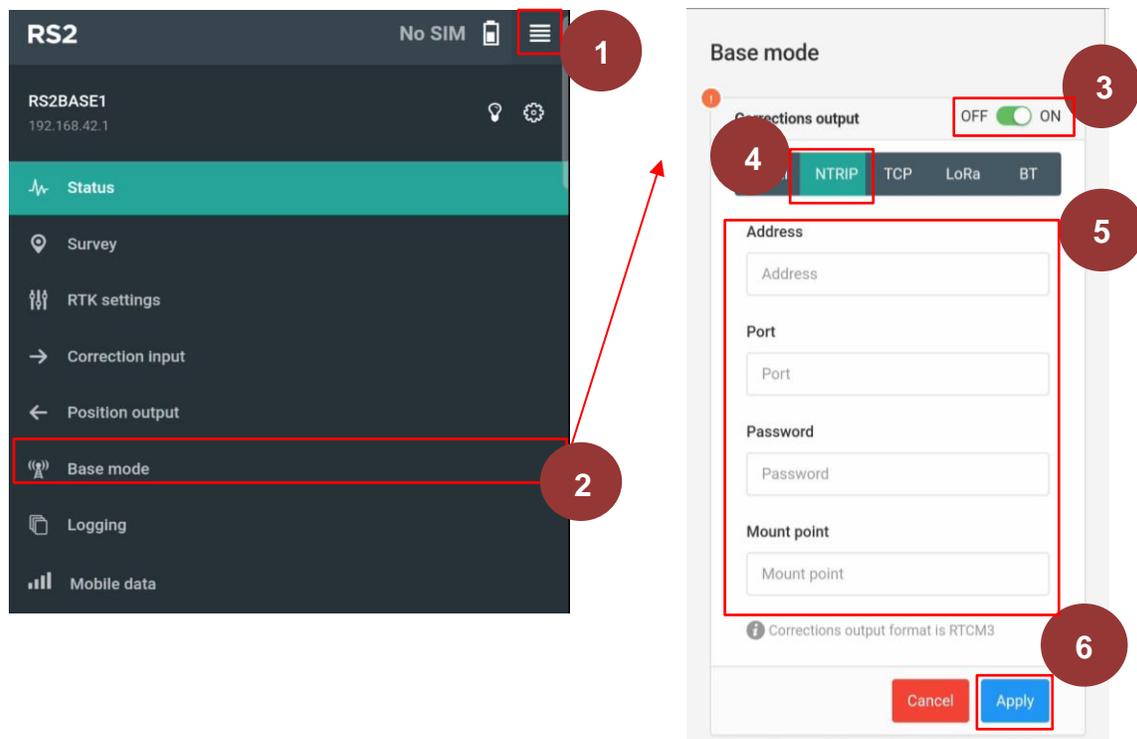


Figura 113. Configuración de NTRIP.

14. En el apartado de “Coordenadas base”, se insertar las coordenadas de modo manual del punto en donde se encuentra el GPS, con un flexómetro medir la altura de la antena al piso y registrarlo (figura 114).

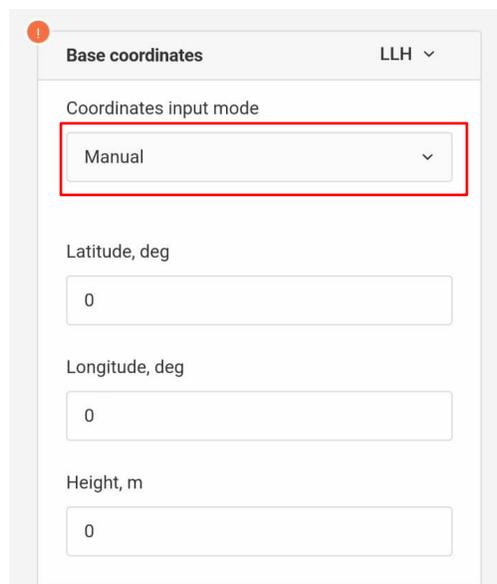


Figura 114. Configuración en "Base coordinates".

Para el Rover:

15. Colocar el receptor en el bastón.
16. Prender el receptor y esperar a que el equipo se conecte a una red Wi-Fi.
17. Una vez que el receptor se conecte a una red Wi-Fi enlazar el dispositivo móvil al receptor.
18. Abrir la aplicación de Emlid Flow para enlazar el receptor a una red Wi-Fi
19. En el apartado de “Wi-Fi”, se accederá a la configuración para conectarse a una red, por lo que seleccionará la red a conectar, insertar la contraseña y posteriormente salir y actualizar la página (figura 115).

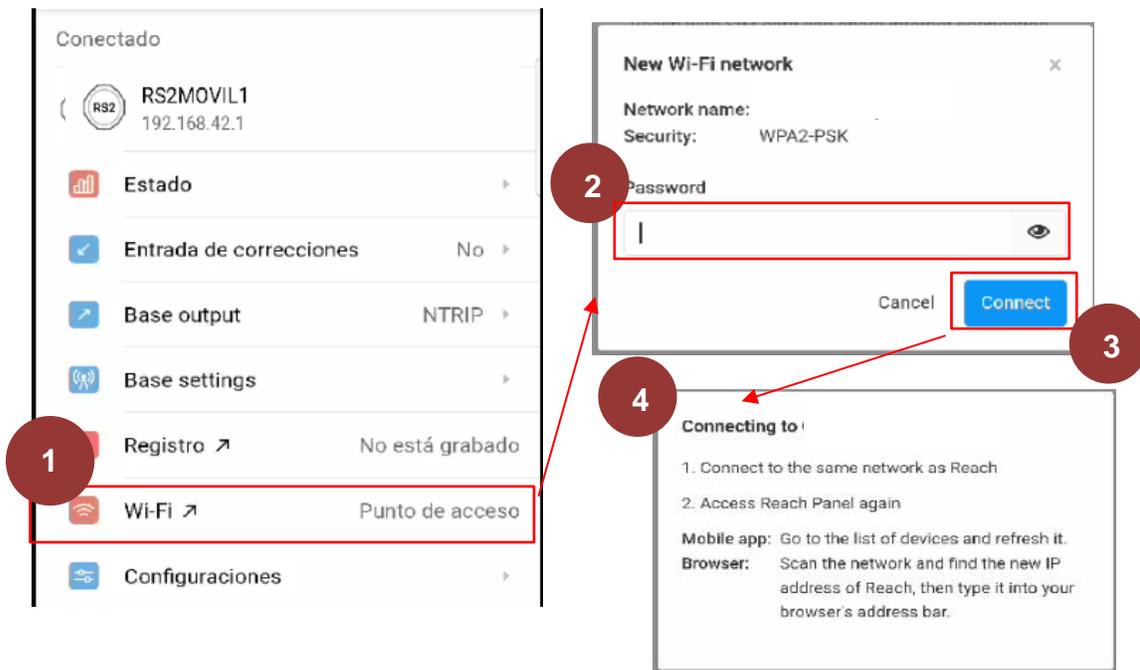


Figura 115. Conexión Wi-Fi de la base.

20. Recargar y volver a seleccionar al equipo.
21. En el apartado de “entrada de correcciones”, se selecciona la modalidad de “NTRIP” con la finalidad de que el equipo pueda recibir correcciones vía internet. Posteriormente se desplegará una pestaña donde se ingresarán las identificaciones para el rover proporcionadas por el Emlid Caster (figura 116 y 117).

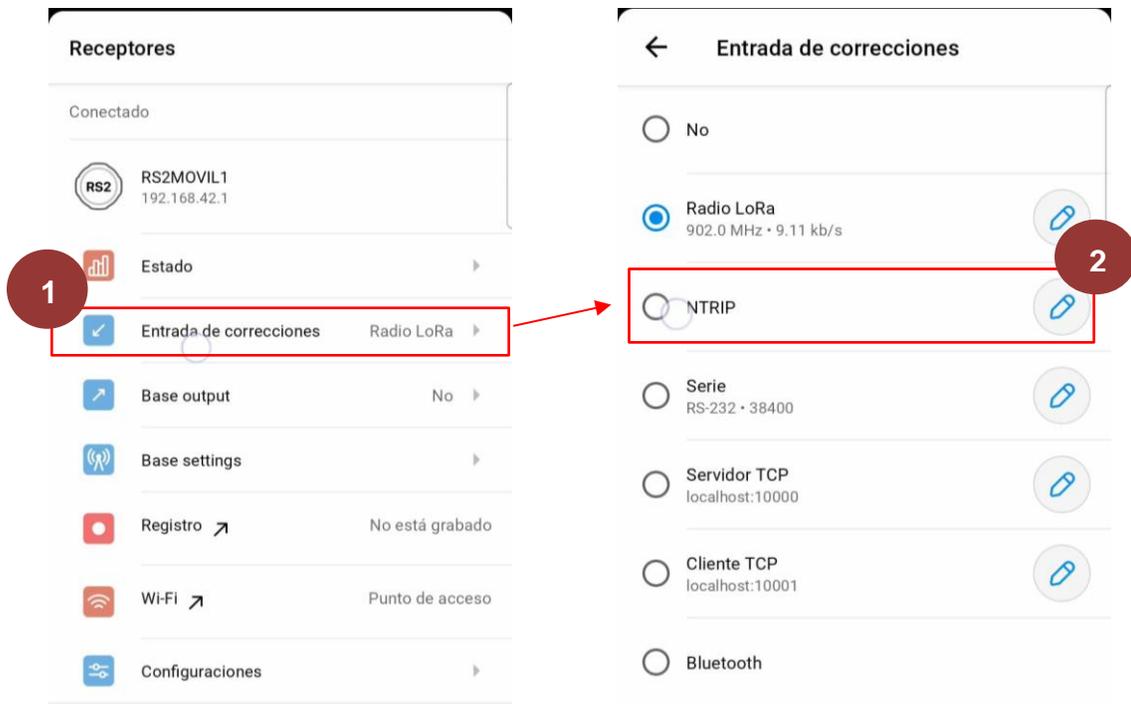


Figura 116. Configuración en "entrada de correcciones".

Figura 117. Datos del rover.

22. Si el equipo se conectó correctamente aparecerá un mensaje de color verde diciendo “recibiendo correcciones”, además el rover emitirá un sonido en señal de que recibe correctamente las correcciones.

Levantamiento:

23. En la barra que se puede encontrar en la parte inferior de la pantalla, se encuentra la opción de “Levantamiento”, se desplegará una pestaña nueva y dar clic en el botón de signo “más”, para crear un nuevo proyecto e ingresar los datos que pide el software. Por último, ingresar el sistema de coordenadas de la región en donde se va a trabajar (figura 118).

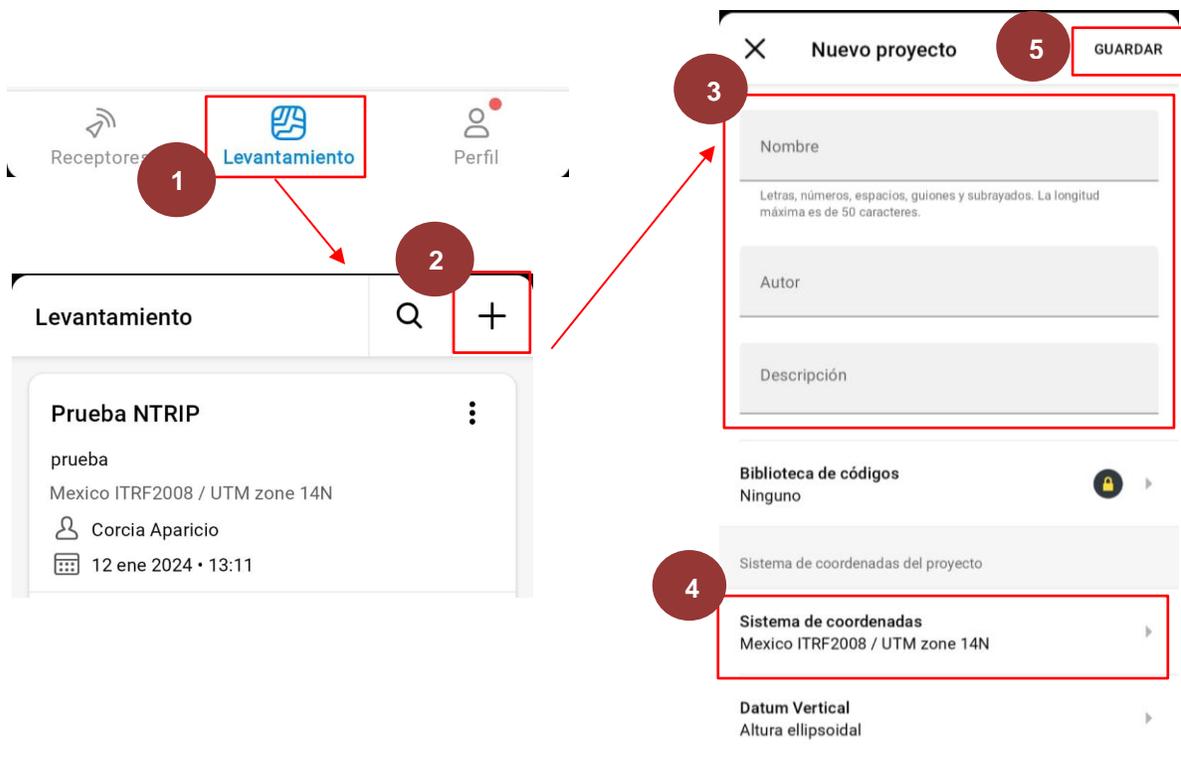


Figura 118. Creación de un nuevo proyecto.

24. Como las correcciones se envían por vía internet, el software cargará un mapa del sitio donde se realiza el levantamiento y en el signo de “más” que se encuentra en la parte inferior de la pantalla se puede empezar a agregar los puntos a tomar. Dar clic en el botón de “medir”, esperar a que termine del tiempo en la barra para avanzar al siguiente punto (figura 119).

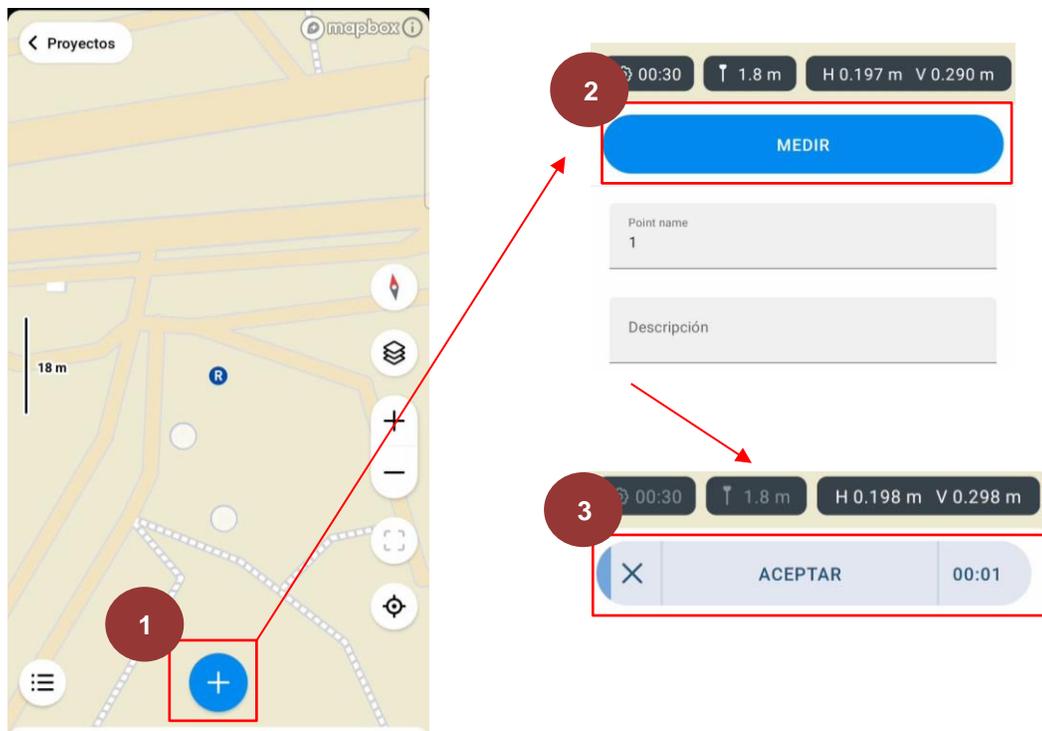


Figura 119. Toma de datos.

25. Si el enlace no se hizo correctamente no se podrá tomar ningún dato como se muestra en la figura 120.



Figura 120. Enlace incorrecto de NTRIP.

26. Repetir los pasos 24 alrededor del área deseada, cuantas veces sea necesario y posteriormente en puntos estratégicos dentro del área, donde se puedan visualizar cambios significativos en la elevación del terreno.
27. Una vez que se haya terminado la toma de todos los puntos necesarios para el levantamiento, en la parte superior de la pantalla se encuentra el icono que dice "proyectos", esta opción te dirigirá al menú de los proyectos y en el icono con tres puntos podrás descargar el archivo en "exportar" y "csv" para que se pueda descargar el archivo (figura 121).

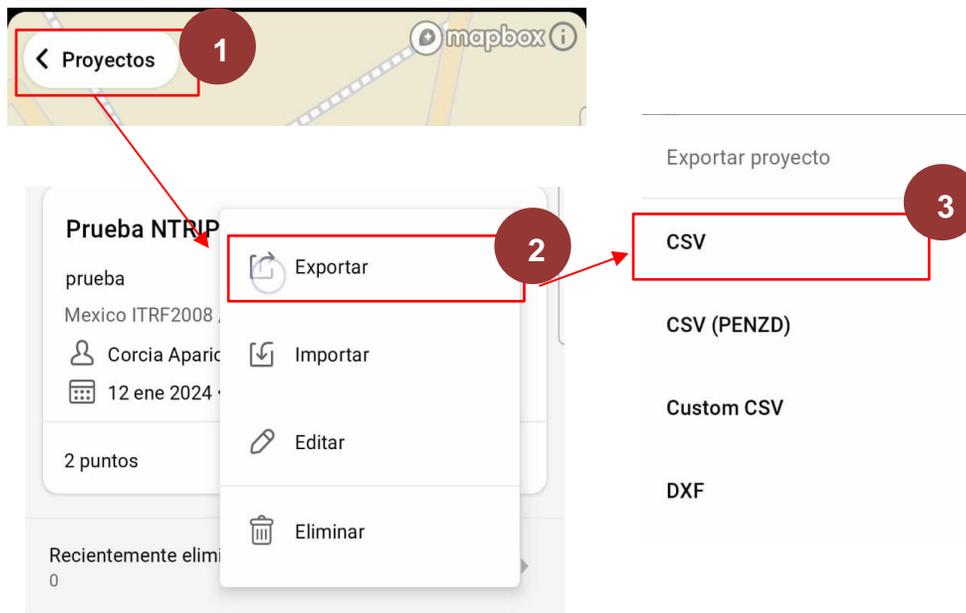


Figura 121. Exportación de datos.

Procesamiento

Para RecMin:

28. En un bloc de notas copiar y pegar solo los datos de nombre, longitud, latitud y elevación, posteriormente guardamos.
29. En el software de RecMin se creará un nuevo proyecto donde se trabajarán los datos obtenidos; para ello nos dirigiremos al icono de “editar yacimientos” y luego en “nuevo” después el software desplegará una ventana nueva y seguir los pasos que el mismo software indica (figura 122).

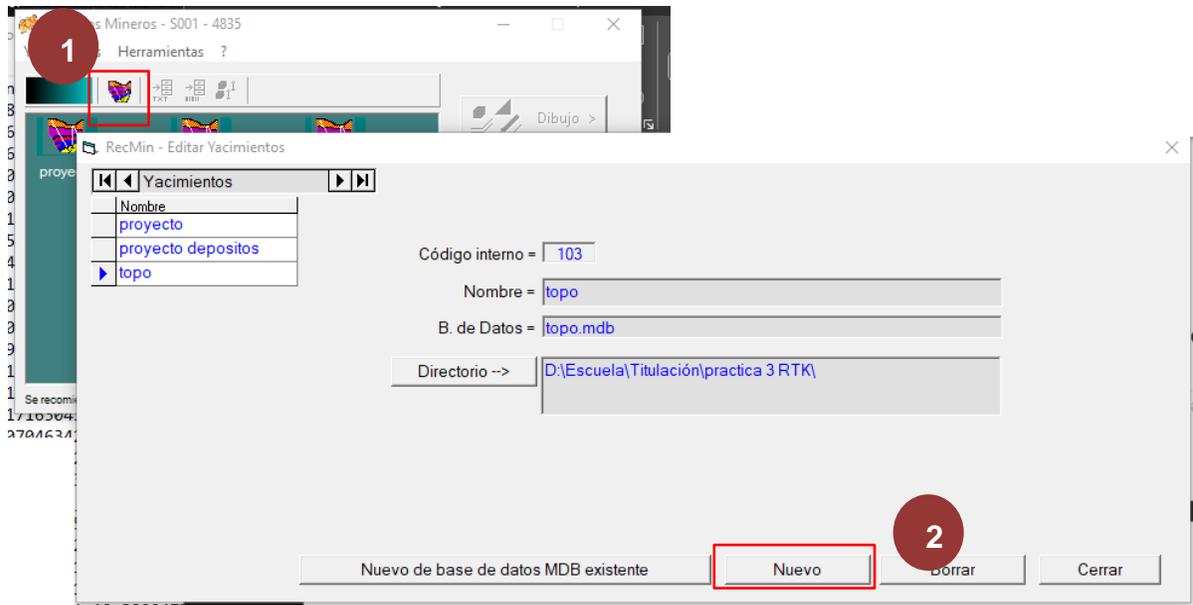


Figura 122. Creación de un nuevo proyecto en RecMin.

30. Una vez creado el nuevo proyecto seleccionarlo y dar clic en la barra superior de la ventana donde dice “importar” y posteriormente seleccionar la opción de “ficheros de líneas, superficies o puntos en formato TXT” (figura 123).

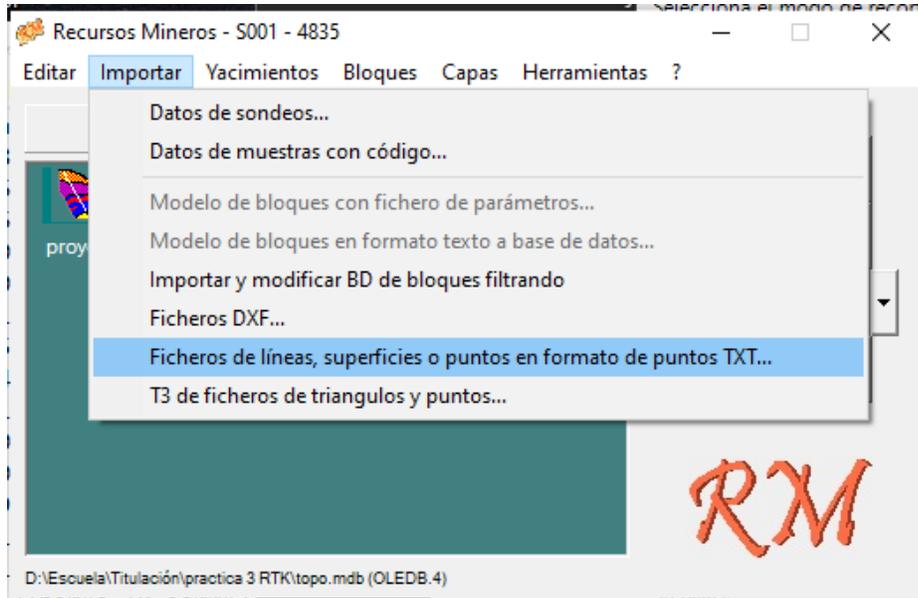


Figura 123. Importar fichero 1.

31. Seleccionar las coordenadas geográficas en el formato “WGS84” y “Hemis. N” (figura 124).

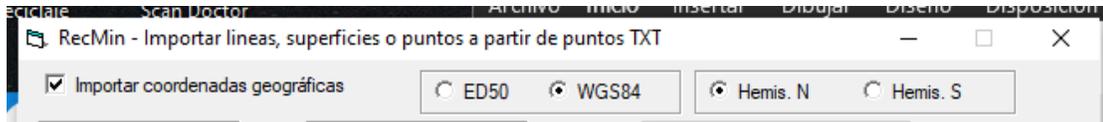


Figura 124. Importar fichero 2.

32. En el “fichero de lectura” seleccionar el archivo de blog de notas que se realizó previamente (figura 125). En “guardar fichero” seleccionar la ruta donde se guardará y asignarle un nombre y con la extensión de “*.pts” (figura 126).



Figura 125. Importar fichero 3.

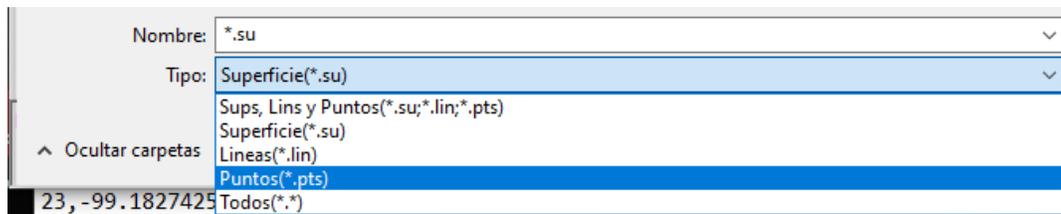


Figura 126. Formato del fichero.

33. Posteriormente, asignar el orden de lectura que dará el software al archivo, en este caso primero será el “ID línea”, segundo la longitud, tercero la latitud y por último la elevación. También si es el caso, asignar que no se lea la primera línea de los datos. En “separador”, en este caso, seleccionar “por comas”. Guardar como puntos. Importar y cerrar (figura 127).

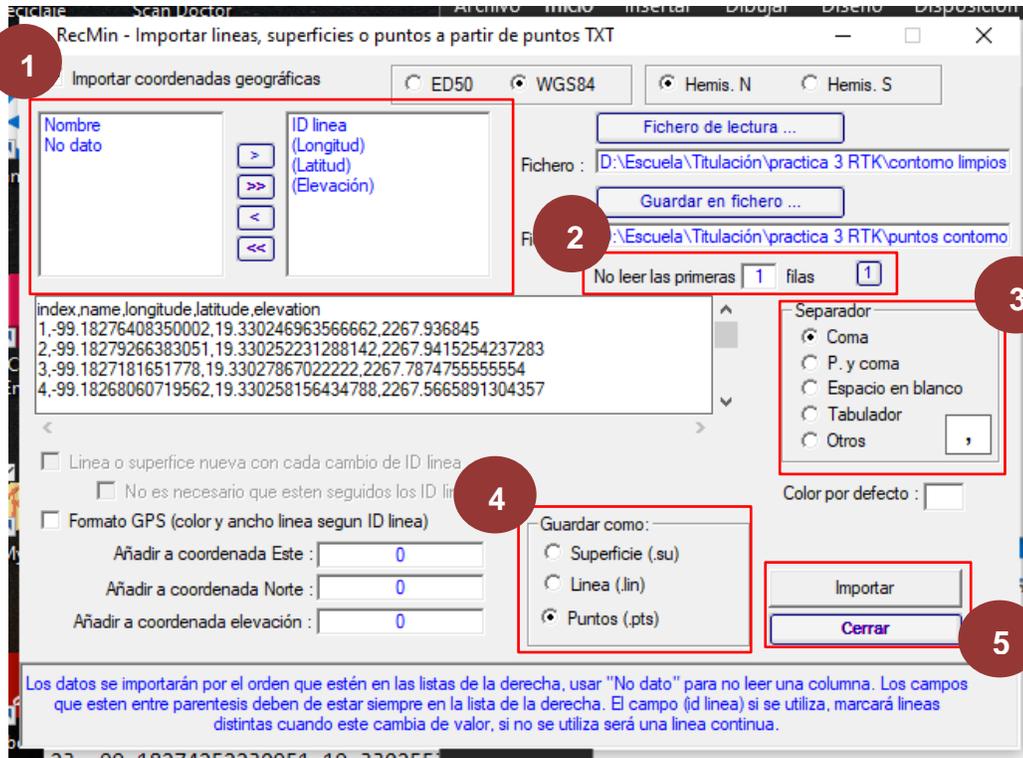


Figura 127. Importar fichero 4.

34. En la ventana de inicio, seleccionar la opción de “dibujo” (figura 128), se abrirá donde se trabajará el dibujo de los datos. En el icono de abrir fichero de puntos, seleccionar el archivo creado en el paso anterior (figura 129).

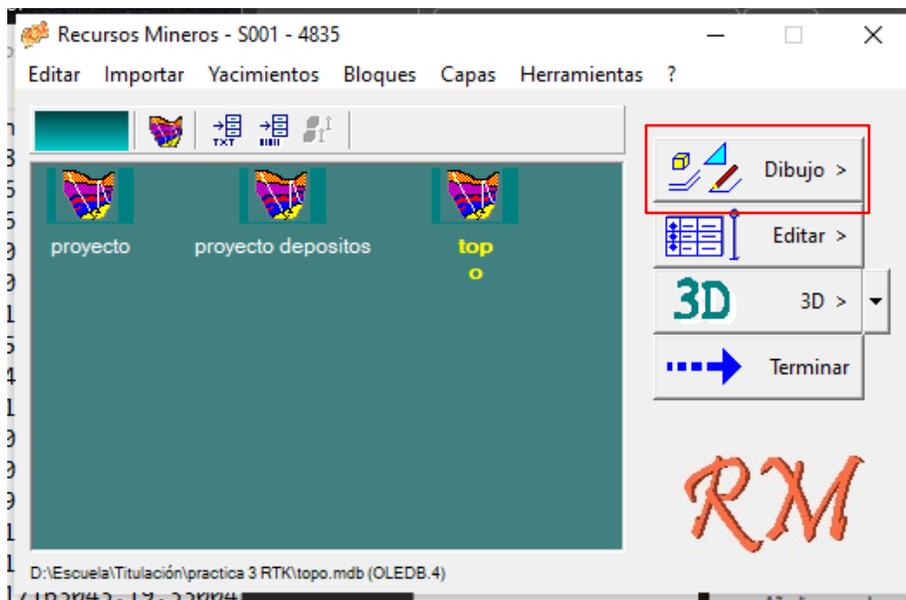


Figura 128. Dibujo.

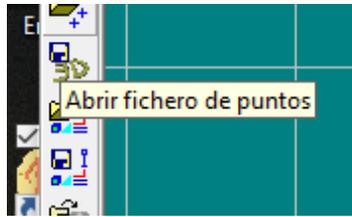


Figura 129. Fichero de puntos.

35. El software dibujará los puntos que se han importado, con el botón de lápiz y en el botón de “encajar en puntos”. Finalmente, unir con una línea todo el contorno del levantamiento (figura 130).

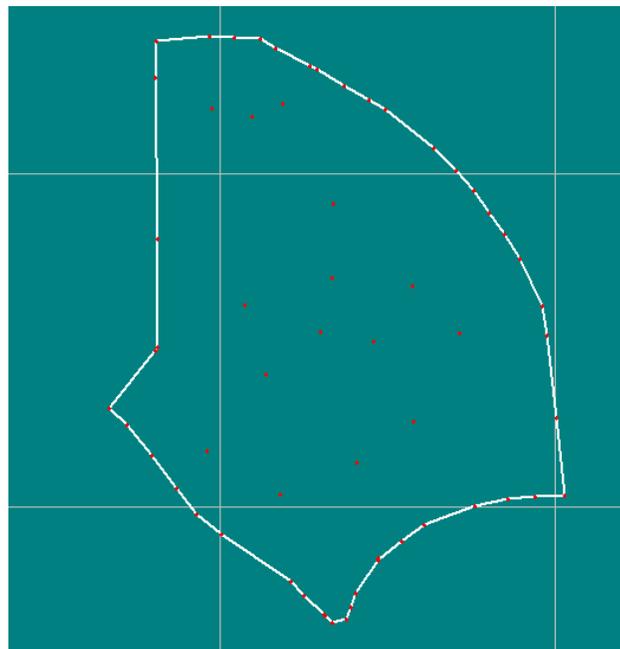


Figura 130. Dibujo del levantamiento.

36. A continuación, se seguirán los pasos correspondientes para la creación de las curvas de nivel. Para ello en la barra superior del software dirigirse al apartado de “Sup Lin-T3”, seleccionar la opción de “Triangular superficies/grupo de puntos...”. En la ventana emergente, seleccionar el grupo de puntos importados y activar la casilla de “Triangulación sencilla”. Dar clic en el botón de “Triangular” (figura 131).

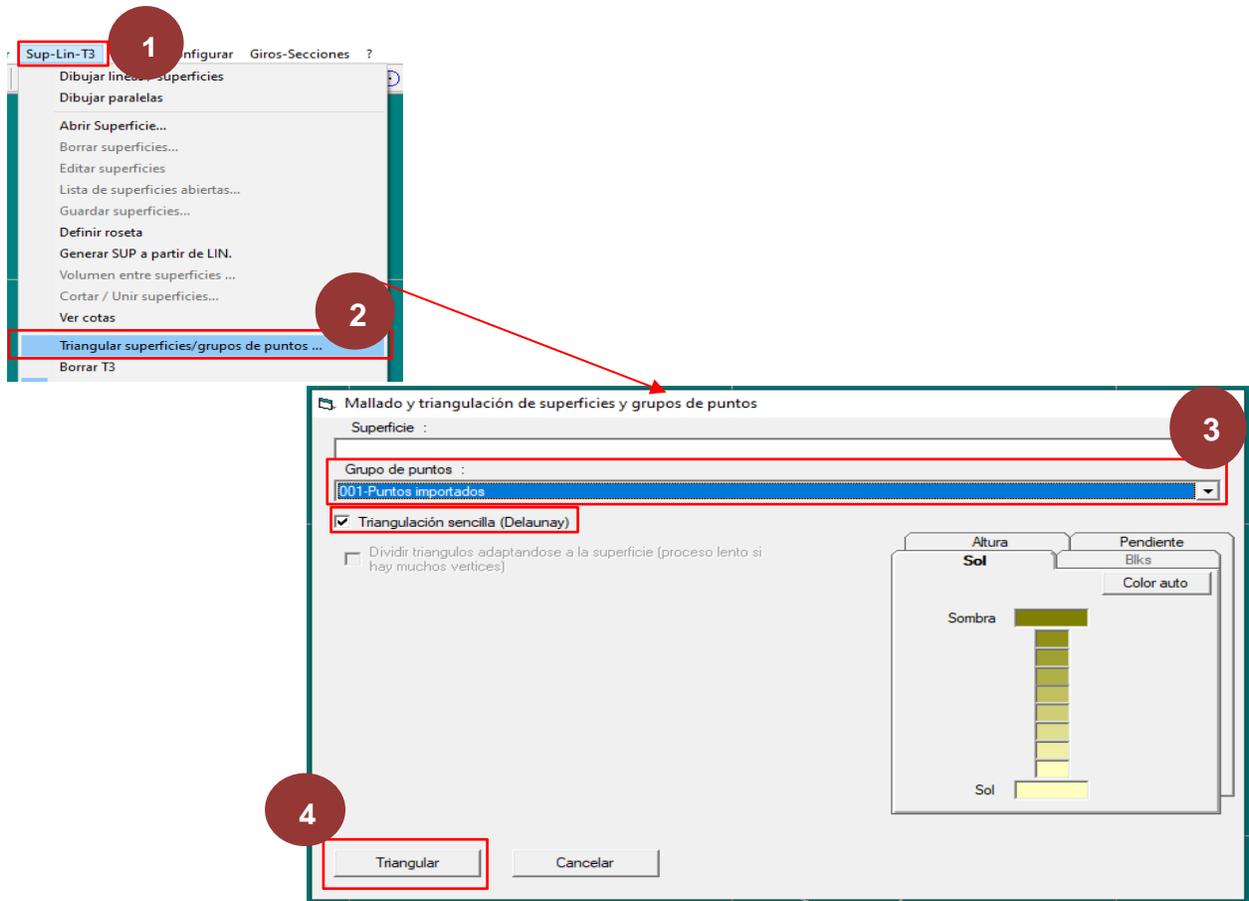


Figura 131. Triangulación en RecMin.

37. Una vez triangulado el área del levantamiento, en la parte superior del software en el módulo de “Sup-Lin-T3”, dar clic en la opción de “Generar líneas de contorno T3 activos”, con un plano de corte “NE”. Las isolneas que tendrá el área del levantamiento serán dependiendo de donde se realizó el levantamiento, por lo que se deja al criterio del alumno o los requerimientos del profesor. Para las cotas iniciales y finales, se aceptan a las predeterminadas. En la opción de “¿NO separar las superficies por niveles?” seleccionar la opción de “no”. RecMin empezará a generar las curvas de nivel (figura 132).

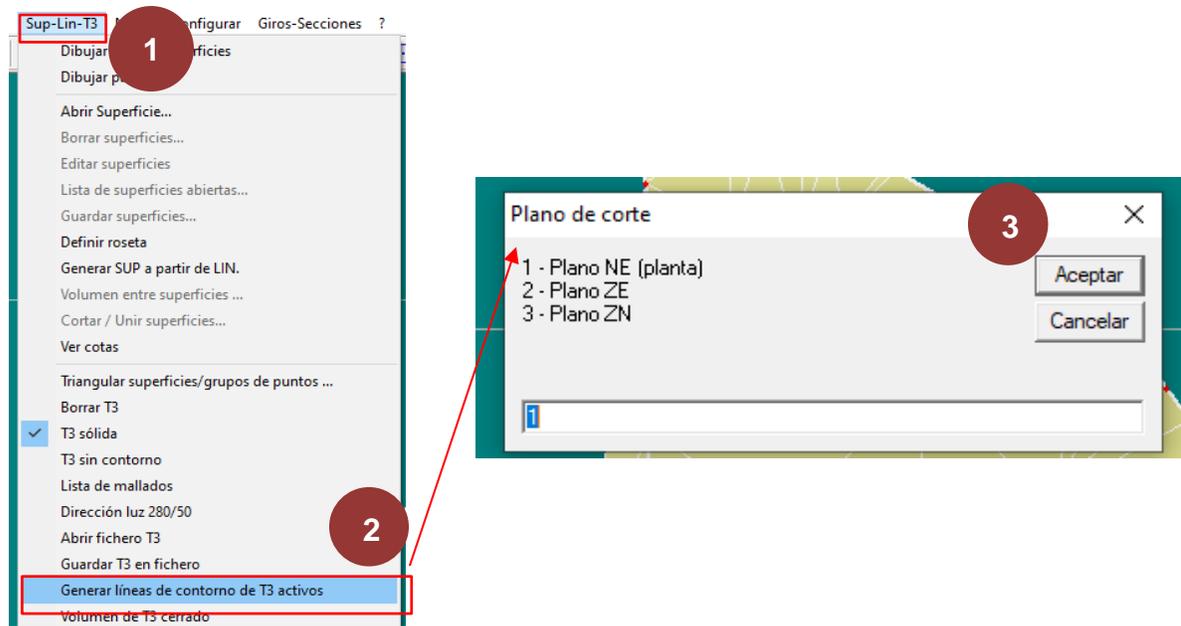


Figura 132. Generación de curvas de nivel en RecMin.

38. Dar el formato final dependiendo de los requerimientos del profesor.

Referencias

Topografía GNSS. (2022, 21 de diciembre). *Emilid RS”, RS2 + Configuración NTRIP Caster*. [Video]. Youtube. www.youtube.com/watch?v=vLYmibNaOQc

Esri. (s.f.). *Corrección diferencial*. Diccionario SIG de Esri. support.esri.com/es-es/gis-dictionary/differential-correction

Jiménez, N. M., Magaña, A. O., Soriano, E. (2019, marzo). *Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos*. [Tesis]. Universidad del Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. pp. 42 – 53. ri.ues.edu.sv/id/eprint/20697/1/An%C3%A1lisis%20comparativo%20entre%20levantamientos%20topogr%C3%A1ficos%20con%20estaci%C3%B3n%20total%20como%20m%C3%A9todo%20directo%20y%20el%20uso%20de%20Drones%20y%20GPS%20como%20m%C3%A9todos%20indirectos.pdf

SCS Equipos. (s.f.). *¿Qué es NTRIP? Conoce sus ventajas para la topografía GNSS RTK*. <https://www.scsequipos.com/que-es-ntrip-conoce-sus-ventajas-para-la-topografia-gnss-rtk/>

Geodesical. (s.f.). *¿Qué es el formato RTCM en la transmisión de datos de corrección RTK?* geodesical.com/es/novedades/articulos/articulos-de-topografia-que-es-el-formato-rtcm-en-la-transmision-de-datos-de-correccion-rtk

Suárez, N., Pérez, R., Yelicich, R. (2013). *Red de transporte de datos en formato RTCM, vía protocolo de internet (NTRIP). Implementación en la región y proyección futura a través de SIRGAS*. pp. 169 – 176. revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/495/510

Emlid. (s.f.). *Trabajo con el servidor NTRIP*. docs.emlid.com/reachrs2/es/rtk-quickstart/ntrip-workflow/

Práctica 6. Práctica introductoria al uso del dron

Marco teórico

Los drones, definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019 como Aeronaves Pilotadas a Distancia (Remotely Piloted Aircraft System [RAPAS]), son herramientas revolucionarias en el campo de la topografía. De este modo, los drones que se utilizan en esta disciplina generalmente están equipados con sensores que permiten una precisión milimétrica, como cámaras multispectrales, Light Detection and Ranging (LIDAR) y Global Navigation Satellite System (GNSS). Estos sensores posibilitan la captura de datos geoespaciales en tres dimensiones, lo que genera información detallada sobre la topografía del terreno. (Esri, s.f.).

En este sentido, una de las principales ventajas de los drones en topografía es su capacidad para realizar levantamientos topográficos eficientemente, por la movilidad aérea que permite cubrir grandes extensiones en un periodo corto en comparación con los métodos tradicionales.

Los drones son herramientas que ayudan a generar “Modelos Digitales del Terreno (MDT)” y “Modelos de Elevación (DEM)”. Así, la captura de datos con RPAS permite obtener representaciones tridimensionales de la topografía, lo que proporciona información clave para proyectos de múltiples industrias.

El uso de RPAS en topografía representa un avance para el análisis de datos geoespaciales, por lo tanto, la eficiencia, la precisión y la versatilidad de esta tecnología contribuyen a la mejora sustancial de los procesos topográficos.

La regulación de drones está a cargo de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la entidad encargada de regular la aviación civil en el país mediante de la NOM-107-SCT3-2019 aplicable a los RPAS.

Esta norma establece la obligatoriedad de registrar el RPAS, independientemente de su peso o propósito de uso. Asimismo, señala que, dependiendo de ciertas características, se deben cumplir ciertas limitaciones, indicaciones, responsabilidades y prohibiciones.

A continuación, se presenta un breve resumen de lo estipulado en la norma NOM-107-SCT3-2019:

Limitaciones:

- No exceder la velocidad de vuelo recomendada por el fabricante.

- No operar a una altura mayor de 122 m y a una distancia horizontal de 457 m respecto con su piloto.

Indicaciones:

- Hacer una inspección pre-vuelo y, una evaluación del entorno.
- Mantener el control de la trayectoria de la aeronave en todo momento.
- No operar la aeronave de forma negligente y poner en riesgo la vida de otras personas.

Prohibiciones:

- No operar la nave si no se hace de manera segura, por ende, se prohíbe dejar caer o arrojar objetos o materiales que causen daño a cualquier persona o propiedad.
- No operar en zonas prohibidas detalladas en el Manual de Publicación de Información Aeronáutica: aeropuertos, aeródromos, helipuerto, instalaciones militares, instalaciones de seguridad, centrales eléctricas, plantas de tratamiento de agua, instalaciones de petróleo o gas, fronteras, áreas naturales protegidas, etc.
- Está prohibido realizar vuelos nocturnos sin una autorización.
- No operar desde vehículos en movimiento.
- No operar más de un dron al mismo tiempo.
- No operar la aeronave en estado de ebriedad o bajo los efectos de estupefacientes o similares.
- La distancia que debe haber entre el centro de los aeropuertos y/o aeródromos entre los RPAS en vuelo es de 9,2 km, de lo contrario, se estaría infligiendo la ley y se puede tener una multa que va desde 50 a 400 veces el valor diario de la Unidad de Medida y Actualización (UMA), o penas que van de los 3 a 53 años de cárcel.

Responsabilidades:

- El piloto del RPAS es responsable de accidentes, daños o lesiones generados por la operación del dron.
- Es responsable por el uso de información obtenida en la operación de la aeronave.
- Si con el RPAS se captan fotografías aéreas con cámaras milimétricas o de reconocimiento y/o imágenes de percepción remota dentro del espacio aéreo nacional, es pertinente contar con una autorización por medio del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Clasificación de tipo de dron.

De conformidad con la NOM-107-SCT3-2019, los drones que vuelen dentro del territorio mexicano se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. *Micro (igual o menor a 2 kg)*: son de uso recreativo, privado no comercial o comercial, de esta forma este tipo de RPAS no requiere licencia del piloto o permiso especial para volar en las zonas autorizadas. Por otro lado, es preciso mantener una distancia horizontal de seguridad perimetral de, al menos, 10 m con las personas no relacionadas con la operación.
2. *Pequeño (mayor a 2 kg y menor o igual a 25 kg)*: para uso recreativo, privado no comercial o comercial. Este tipo de RPAS, conforme con el peso se debe mantener a una distancia horizontal de seguridad perimetral de 30 m (RPAS de entre 2.001 kg y 10.000 kg) o de 50 m (10.001 kg – 25.000b kg).
Para el vuelo de RPAS pequeños, es necesario contar con un seguro por daños a terceros y una licencia de piloto.
3. *Grande (mayor a 25 kg)*: para uso recreativo, privado comercial o no comercial. Este tipo de RPAS requiere una licencia para efectuar su vuelo, igualmente, se debe mantener una distancia de separación respecto a las nubes de 300 m verticales por debajo de la nube, así como una distancia horizontal de 1,500 metros. De igual forma, se debe, tener una distancia mínima de 50 m perimetrales de seguridad con personas no relacionadas a la operación. Cabe añadir que los RPAS grandes deben contar con un seguro por daños a terceros.

En síntesis, es necesario consultar la legislación vigente antes de operar un dron, debido a que esta puede tener modificaciones.

Objetivos

- La y el alumno comprenderá el funcionamiento básico de los drones, explicando los componentes esenciales y cómo funcionan durante el vuelo.
- La y el alumno comprenderá de una manera más detallada la importancia de cumplir con la normativa.
- La y el alumno aprenderá la forma básica para operar un RPAS incluyendo el manejo con controles remotos, el realizar despegues y aterrizajes seguros.
- Se le inculcará al alumno principios de seguridad y responsabilidad al operar drones.
- La y el alumno aprenderá a identificar y resolver de problemas técnicos básicos relacionados con los drones, como la calibración, la conexión del control remoto y la interpretación de alertas del sistema.

- La y el alumno comprenderá la importancia y utilidad de colaboración y el trabajo en equipo al realizar prácticas de vuelo en grupo, asignando roles específicos y la comunicación efectiva.

Material

- Dron.
- Juego de pilas.
- Control remoto.
- Permiso de vuelo.

Procedimiento

Planificación del vuelo:

1. Previamente a ejecutar un vuelo con un RPAS, se debe de identificar el área en donde se realizará el vuelo y los obstáculos a evitar y que podrían obstaculizar el vuelo como árboles, edificios, etc. Idealmente hay que buscar áreas abiertas y despejadas, lejos de zonas restringidas y multitudes.
2. Verificar las condiciones meteorológicas antes de volar. Se deben evitar condiciones de viento fuerte, lluvias o tormentas de cualquier tipo.

Inspección y componentes:

3. Antes de volar, realizar una inspección visual del dron para asegurarse de que no haya daños visibles.
4. Identificar los componentes y partes del dron como se muestra en las figuras 133 y 134 asegurándose que se encuentren en buen estado.



Figura 133. Componentes del Mavic 2 Pro.



Figura 134. Componentes del Mavic 3.

5. Desplegar las patas del RPAS y quitar el protector de la cámara.
6. Verificar que las hélices estén colocadas de manera correcta, para ello se debe de identificar el color de la hélice tiene que coincidir con el color que hay en el dron, como se muestra en la figura 135.



Figura 135. Hélices del RPAS.

Encendido e interfaz:

7. Desplegar el mando y colocar las antenas de manera vertical.
8. Colocar el RPAS en una superficie plana, sólida y limpia.
9. Encender el mando presionando dos veces consecutivas en botón de encendido.
10. Conectar el teléfono inteligente o tableta al cable del mando y abrir la aplicación correspondiente al modelo del RPAS.
11. Encender el RPAS presionando dos veces consecutivas el botón de encendido.
12. Una vez encendido el equipo y conectado al mando en la aplicación, aparecerá el modelo del dron que se ha conectado y se visualizará la opción de “vuela”, seleccionar dicha opción para poder efectuar el vuelo (figura 136).

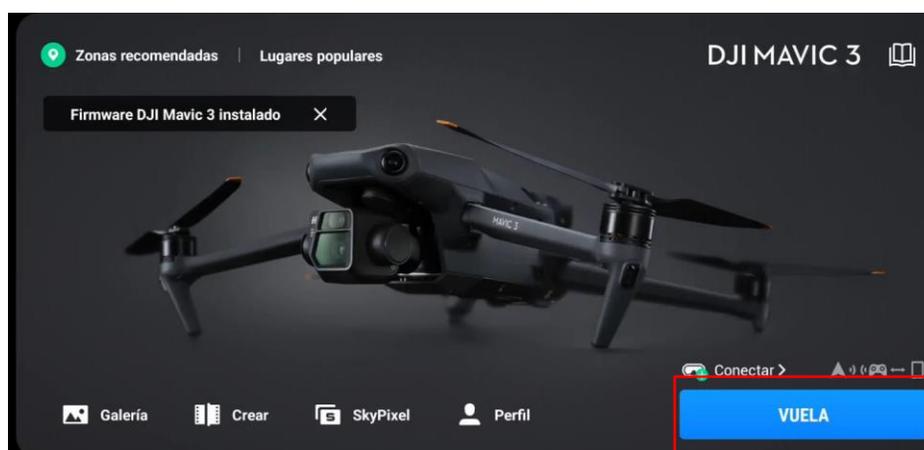


Figura 136. Conexión del RPAS en DJI.

13. En la parte superior de la pantalla se encontrará una opción “en vuelo” y en esta opción de menú permite hacer ajustes de máxima altura de vuelo, distancia del dron con el mando. Figura 137. Nota: Si se quieren cambiar la altura máxima a la permitida por las autoridades mexicanas el software del equipo no lo permitirá y arrojará un mensaje como en la figura 138.

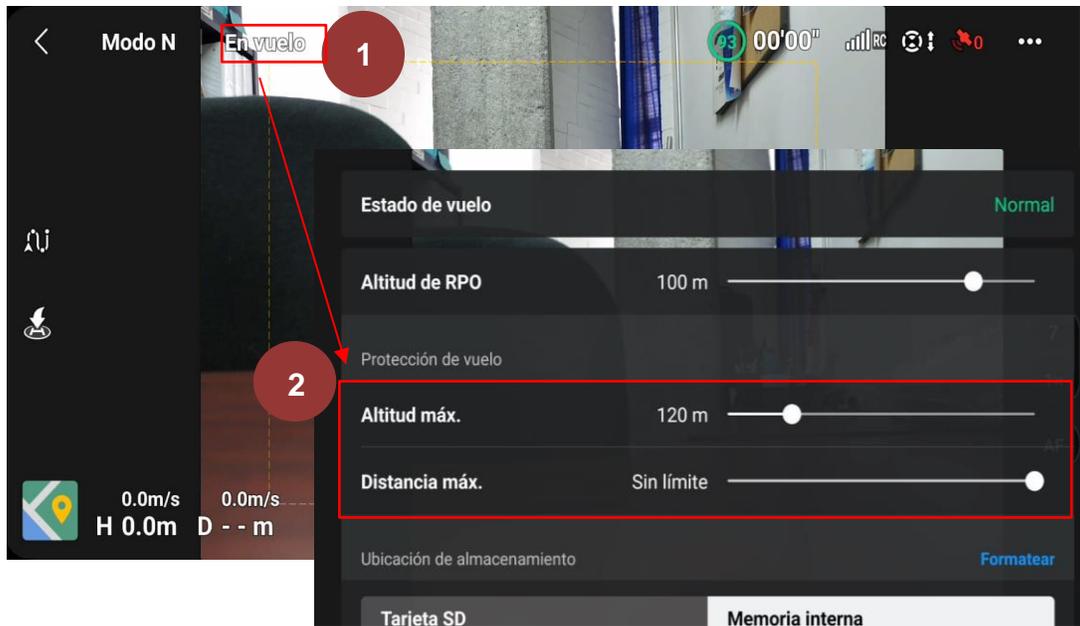


Figura 137. Ajuste de altura y distancia máxima para Mavic 3.

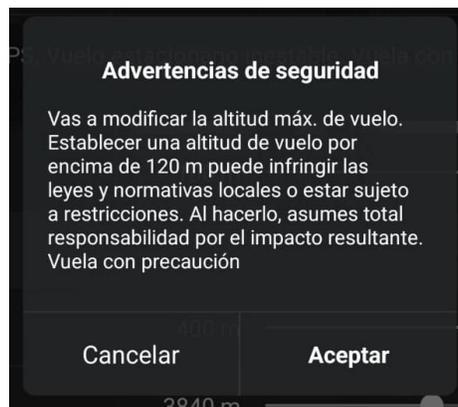


Figura 138. Advertencia de los límites permitidos de altura máxima.

14. En la parte superior derecha de la pantalla, se encuentra la batería del RPAS que en promedio dura entre 30 a 40 minutos de vuelo, también encontrarás la cantidad de GPS disponibles y de los cuales recibe señal el equipo (figura 139).

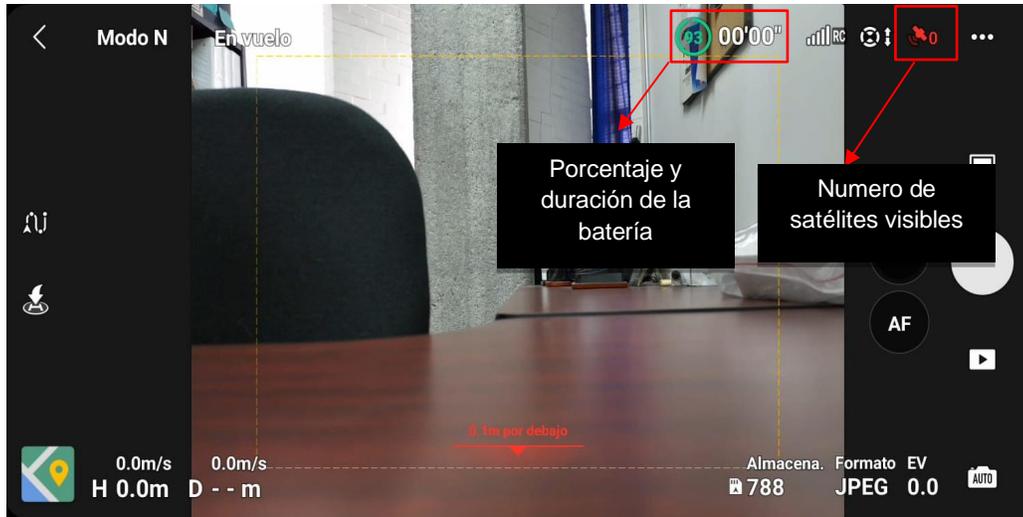


Figura 139. Batería y numero de satélites visibles en Mavic 3.

15. En el costado superior derecho de la pantalla, se encuentra un icono con 3 puntos y al seleccionarlo se podrá acceder a un menú. En dicho menú se pueden realizar diversas configuraciones sobre el control, cámara, almacenamiento, etc. (figura 140).

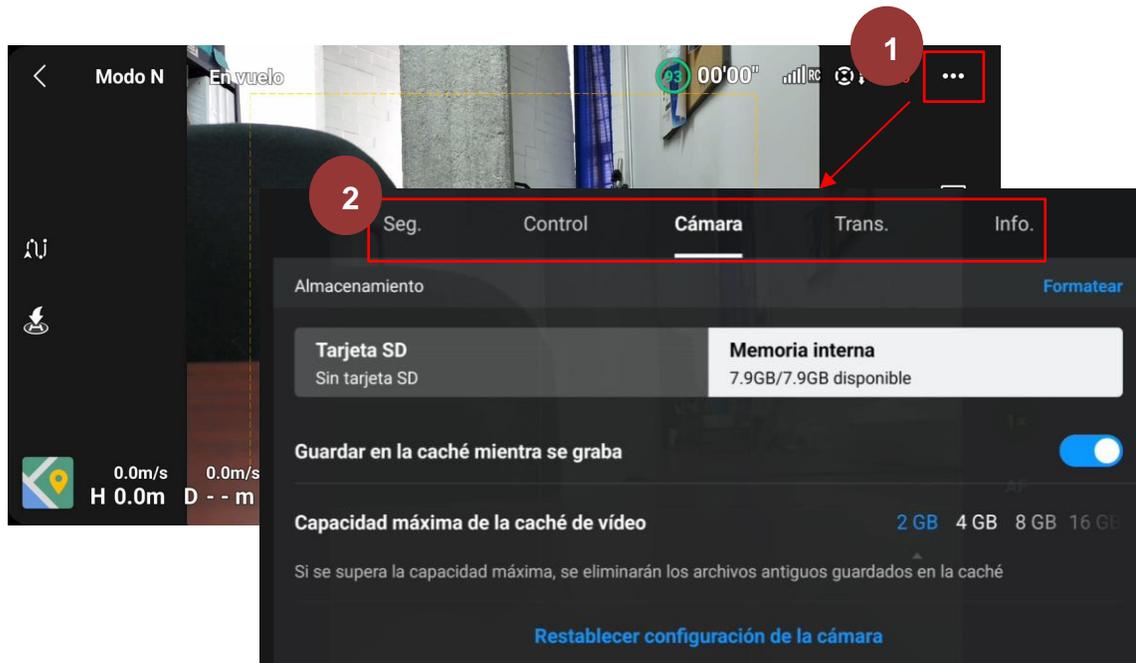


Figura 140. Configuración avanzada en Mavic 3

16. En la parte inferior derecha, se encuentra la cantidad de almacenamiento, y el formato de imagen (figura 141).

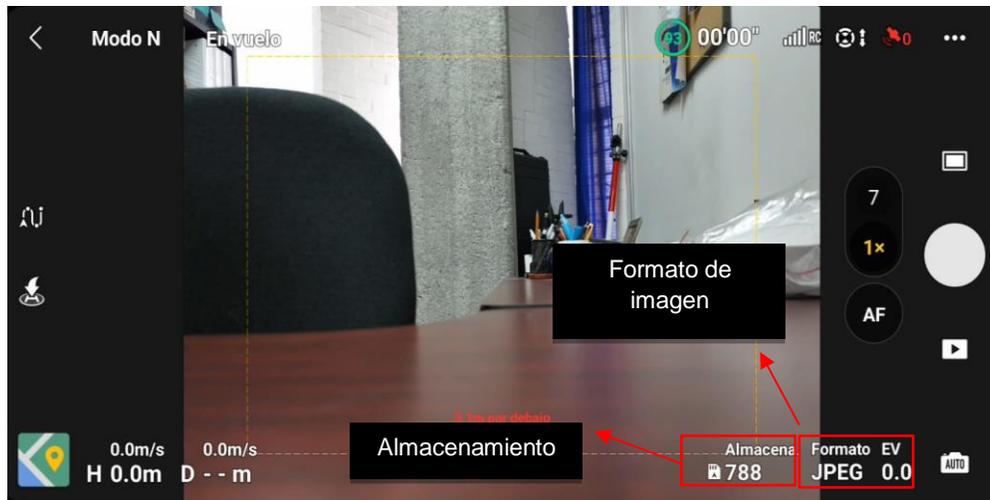


Figura 141. Almacenamiento y formato de imagen en Mavic 3.

17. En la esquina inferior izquierda de la pantalla, se encuentra un mapa y al seleccionarlo se puede acceder a el mapa de la zona (figura 142).



Figura 142. Visualización del mapa en Mavic 3.

18. En icono de "i", se puede acceder a información del tipo de zona en donde se quiere efectuar un vuelo (figura 143).



Figura 143. Información de zonas restringidas y permitidas para volar.

Despegue:

19. Dirigir ambas palancas del mando, dirigir las simultáneamente a la parte baja y central del mando y sostener hasta que el dron empiece a girar sus hélices (figura 144).



Figura 144. Mando del Mavic 2 Pro.

Nota: El “joystick” del lado derecho sirve para el movimiento horizontal del RPAS y el “joystick” del lado izquierdo sirva para el movimiento vertical y moverlo hacia los lados tienen la función de hacer girar al dron sobre su propio eje.

20. Con la palanca izquierda, elevar el equipo a una altura aproximada de los ojos del piloto para verificar si el RPAS se mantiene perpendicular al piso y no presenta ninguna inclinación. Si es este el caso, es seguro efectuar un vuelo, pero en caso contrario aterrizar el dron a como lo indique el profesor.

21. Ya que se comprobó que es seguro volar el equipo, elevarlo con la palanca izquierda a una altura aproximada de 20 m o a una altura donde no se encuentren obstáculos visibles para el equipo. La altura se puede visualizar en la pantalla del equipo como se muestra en la figura 145.



Figura 145. Distancia y altura del RPAS.

22. Para familiarizarse con el movimiento del equipo, el alumno efectuará una serie de ejercicios que indique el profesor para que el alumno pueda relacionar el movimiento del dron con el mando.

23. Una vez finalizado los ejercicios, el alumno procederá a efectuar un aterrizaje, el alumno retornará el equipo al punto de despegue y bajará el RPAS a una altura aproximada de 1 m sobre el suelo, pulsar el botón que se encuentra en un costado izquierdo en la pantalla de celular como se muestra en la figura 146 y el equipo aterrizará de forma automática.



Figura 146. Aterrizaje automático del Mavic 3.

24. Una vez finalizado el vuelo, hacer una inspección visual post-vuelo para asegurar que el dron no haya sufrido daños aparentes durante el vuelo y sea seguro volver a volar.
25. Cada alumno que conforme a la brigada, pasará a hacer el ejercicio del paso 19 a 25 con un tiempo aproximado de 10 minutos cada uno de los alumnos.

Nota: Todas las funciones explicadas para el dron, modelo Mavic 3, también aplican para el Mavic 2 Pro.

Referencias

DJI_Mavic_3. (2021). Manual de usuario. https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3/DJI_Mavic_3_User_Manual_v1.0_es.pdf

Mavic 2 Pro Zoom. (2018). Manual de usuario. https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/01911um/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_es.pdf

Droneando. (2021, 22 de noviembre). *DJI MAVIC 3. Guía completa en español (DJI Fly App y Color grading)*. [Video]. Youtube. www.youtube.com/watch?v=9YWu1Cu4oyo&list=TLPQMITYxMDIwMjOGJVR09b5-Tg&index=2

Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. (Octubre, 2019). *Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019. Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano*. www.dof.gob.mx/normasOficiales/8006/sct11_C/sct11_C.html

Rojas, E. (2021). *Legislación de uso de drones en México*. Cielito Drone. www.cielitodrone.mx/post/legislaci%C3%B3n-de-uso-de-drones-en-m%C3%A9xico

Article 19. (2020). *Drones en la Legislación Mexicana*. seguridadintegral.articulo19.org/wp-content/uploads/2020/10/art19_2020_infografia-Drones.pdf

Secretaria de Relaciones Exteriores. (s.f.). *Requisitos de ingreso de drones a México. Embajada de México en Polonia*. [embamex.sre.gob.mx/polonia/index.php/es/seccion-consular/20-seccion-consular/220-requisitos-para-el-ingreso-de-drones-a-mexico-warunki-wozu-dronow-do-meksyku#:~:text=Los%20micro%20drones%20\(con%20menos,de%20distancia%20horizontal%20del%20piloto](http://embamex.sre.gob.mx/polonia/index.php/es/seccion-consular/20-seccion-consular/220-requisitos-para-el-ingreso-de-drones-a-mexico-warunki-wozu-dronow-do-meksyku#:~:text=Los%20micro%20drones%20(con%20menos,de%20distancia%20horizontal%20del%20piloto)

Serrano J. (2023, 24 de noviembre). *Multas de drones en México: esto tendrías que pagar si usas un dron para espiar, usar armas y más*. Sdp noticias. [www.sdponoticias.com/tecnologia/multas-drones-en-mexico-esto-tendrias-que-pagar-si-usas-un-dron-para-espiar-usar-armas-y-mas/#:~:text=Tambi%C3%A9n%2C%20el%20individuo%20que%20emple%C3%A9,Medida%20y%20Actualizaci%C3%B3n%20\(UMA\)](http://www.sdponoticias.com/tecnologia/multas-drones-en-mexico-esto-tendrias-que-pagar-si-usas-un-dron-para-espiar-usar-armas-y-mas/#:~:text=Tambi%C3%A9n%2C%20el%20individuo%20que%20emple%C3%A9,Medida%20y%20Actualizaci%C3%B3n%20(UMA))

FotoDroneRS. (2023, 30 de marzo). *Fotogrametría con drones para principiantes. Introducción a mapas 3D con drones*. [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=OJ2x5NqxQjQ

International Business Machines Corporation. (s.f). *¿Qué es LiDAR?* www.ibm.com/mx-es/topics/lidar

UAV Latam. (Abril, 2022). ¿Qué es un sensor LiDAR y cómo funciona? uavlatam.com/que-es-un-sensor-lidar-como-funciona/

Esri. (s.f.) ¿Qué son los datos LIDAR? desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm

Práctica 7. Levantamiento con Dron (Fotogrametría) y Referencia GPS

Marco teórico

La fotogrametría es una disciplina que se ocupa de obtener mediciones a partir de fotografías individuales superpuestas y unidas en una vista panorámica (mosaico de imágenes). Esta utiliza principios matemáticos y geométricos para medir objetos y espacios tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales.

Los equipos diseñados para fotogrametría, además de tomar imágenes, capturan una nube de puntos, y a cada uno de estos se le asignan coordenadas XYZ que indican su posición en el mundo real, pues cuentan con puntos de control para ser georreferenciados. Cuando se tiene esta representación digital de las elevaciones de un terreno a partir de una nube de puntos, se puede decir que hay un MDT; pero, si a este modelo se le agregan elementos adicionales del entorno, como árboles y edificios, se obtiene un modelo digital de superficie (MDS). Adicionalmente, si se puede obtener una representación tridimensional que represente la geometría completa del terreno, se habla de un modelo 3D. (FotoDrone RS, 2023).

Por otra parte, a estos modelos y fotografías se les deben aplicar ciertas correcciones geométricas para eliminar distorsiones y crear una vista ortogonal, de manera que esta última pueda utilizarse como un mapa preciso con información visual de la superficie. A estas correcciones se les conoce como ortofotografía, la cual también incluye información adicional asociada a la imagen, como las coordenadas geográficas, la fecha y la hora de captura, y la configuración de la cámara. Esta información se conoce como “metadatos”, y a partir de estos se obtienen las coordenadas de cualquier punto del modelo o las curvas de nivel. (FotoDrone RS, 2023).

Para terminar, otro concepto clave en la fotogrametría es el efecto *rolling shutter*, que es un fenómeno que ocurre en la captura de imágenes. Esto se refiere a la captura de imágenes en forma lineal en lugar de instantánea, cuando se toman fotografías en movimiento. De esa manera, el *rolling shutter* puede distorsionar las imágenes durante su captura. (FotoDrone RS, Condés).

Aplicaciones

El uso de la fotogrametría en la minería y la metalurgia tiene posibles aplicaciones en dichas industrias gracias a su capacidad para capturar datos espaciales altamente detallados y generar modelos tridimensionales precisos. Algunas de sus posibles aplicaciones en la exploración y en la minería son:

- a. Mapeo y Exploración Geológica:
 - Generación de mapas tridimensionales detallados para identificar y delimitar depósitos minerales.
 - Evaluación de la topografía para planificar accesos y perforaciones exploratorias.
- b. Monitoreo de Taludes y Estabilidad del Terreno:
 - Captura de imágenes periódicas para analizar movimientos del terreno y prevenir deslizamientos o colapsos.
 - Identificación de zonas de riesgo en minas a cielo abierto.
- c. Cálculo de Volúmenes de Material:
 - Estimación precisa del volumen de mineral extraído, acumulado en pilas o presente en depósitos.
 - Planificación eficiente de extracción y transporte.
- d. Gestión Ambiental:
 - Monitoreo del impacto ambiental mediante ortofotos y modelos digitales del terreno.
 - Supervisión de áreas rehabilitadas y restauración de zonas afectadas por la minería.
- e. Supervisión de Operaciones:
 - Inspección de aérea en la mina para identificar posibles mejoras en las operaciones.

Algunas de sus posibles aplicaciones en la metalurgia son:

- a. Optimización de Rutas de Transporte:
 - Generación de mapas detallados para planificar rutas óptimas desde la mina hasta la planta de procesamiento.
 - Reducción de costos logísticos, tiempos de transporte y riesgos en transporte de materiales.
- b. Gestión de Infraestructura Metalúrgica:
 - Inspección de áreas críticas como chimeneas, hornos y sistemas de almacenamiento mediante modelos tridimensionales.
 - Identificación temprana de problemas estructurales en plantas de procesamiento.
- c. Monitoreo de Residuos y Escorias:
 - Análisis volumétrico de depósitos de escoria y residuos, asegurando su manejo adecuado y cumpliendo normativas ambientales.

- Evaluación de terrenos para diseñar depósitos de desechos.

d. Diseño y Expansión de Plantas Metalúrgicas:

- Uso de modelos digitales para planificar la construcción o expansión de plantas de procesamiento de minerales.
- Optimización del diseño en relación con el terreno disponible.

Objetivos

- La y el alumno comprenderá las diversas aplicaciones prácticas de los drones, la fotografía aérea, el mapeo, para que comprendan las posibilidades de esta tecnología.
- La y el alumno aprenderá a planificar una misión de vuelo con dron considerando la altitud, la superposición de imágenes, velocidad, y la ubicación de puntos de control.
- La y el alumno operará un RPAS para la adquisición eficiente de imágenes aéreas tomando en cuenta la importancia de la calidad de captura de las imágenes para la precisión fotogramétrica.
- La y el alumno comprenderá la importancia de la colocación estratégica de puntos de control en el terreno para la captura estratégica de imágenes.
- La y el alumno aprenderá sobre el procesamiento fotogramétrico con software y comprenderá la importancia de la correlación de puntos y la creación de modelos tridimensionales.
- La y el alumno evaluará la precisión obtenida analizando las discrepancias que se pudiesen obtener en el modelado.

Material

- Un teléfono inteligente o tableta.
- Dron.
- Juego de pilas.
- Repuesto de hélices.
- Control remoto.
- Permiso de vuelo.

Procedimiento

Planificación de vuelo:

Para la planificación de este vuelo puede ser de dos formas con un software o con “way point” que es una función integrada en el RPAS.

a. Drone Harmony

1. Ir al sitio web del software “Drone Harmony” (<https://app.droneharmony.com>) esto, porque este software libre tiene cobertura para el RPAS a utilizar, existen diferentes software de licencia libre, pero se tiene que revisar la cobertura de cada uno de ellos.
2. Crear una cuenta en dicha plataforma.
3. Una vez creada la cuenta aparecerá un mapa global y con el cursor del ratón acercar manualmente al área donde se realizará el levantamiento.
4. En la barra de menú que se encuentra del lado izquierdo de la pantalla, seleccionar la opción de “Crear área poligonal/ edificio” y con el ratón empezar a trazar el contorno del lugar del levantamiento (figura 147).

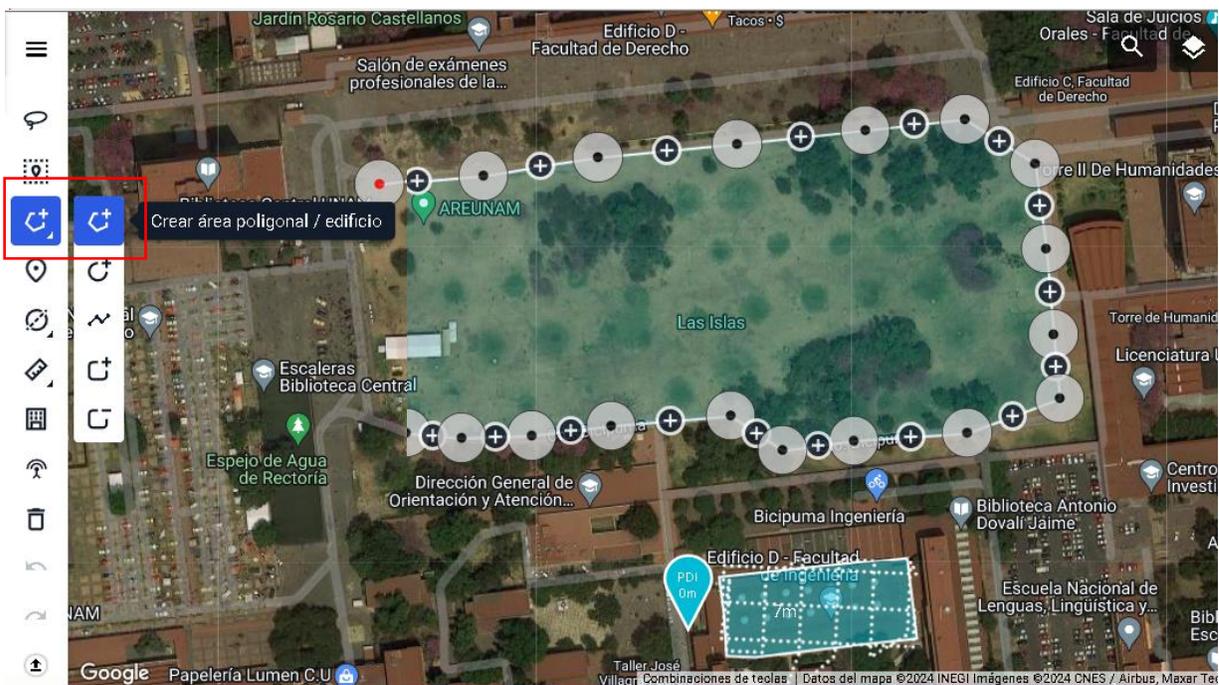


Figura 147. Crear área.

- En el área recién creada, dar clic izquierdo y modificar el nombre del área.
5. En el área inferior derecha de la pantalla se encuentra un botón con el signo de “más”, dar clic; se desplegará una ventana nueva y seleccionar el área recién creada (figura 148).

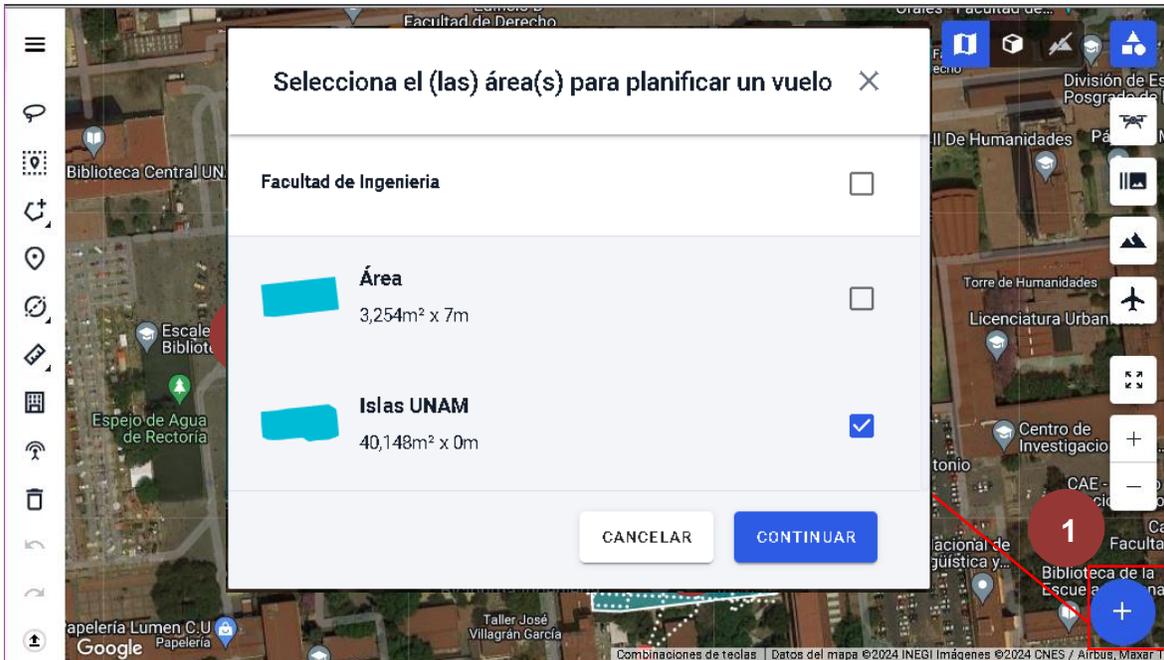


Figura 148. Configuración de la cuadrícula 1.

- Posteriormente, seleccionar en el catálogo de planes la doble cuadrícula para que el software trace el plan de vuelo sobre el área recién creada (figura 149).



Figura 149. Doble cuadrícula.

7. A continuación, seleccionar el lugar sobre el mapa donde se realizará el despegue y el aterrizaje.
8. En una nueva ventana, se realizarán configuraciones adicionales. Primero, modificar la altura del vuelo considerando la altura del objeto más alto que hay en el área donde se realizará el levantamiento agregando 5 metros más a dicha altura. El ángulo de la cámara se quedará en 90° y dejar encendida la opción de simplificar el vuelo; por último, modificar velocidad del vuelo a 5 m/s (figura 150).

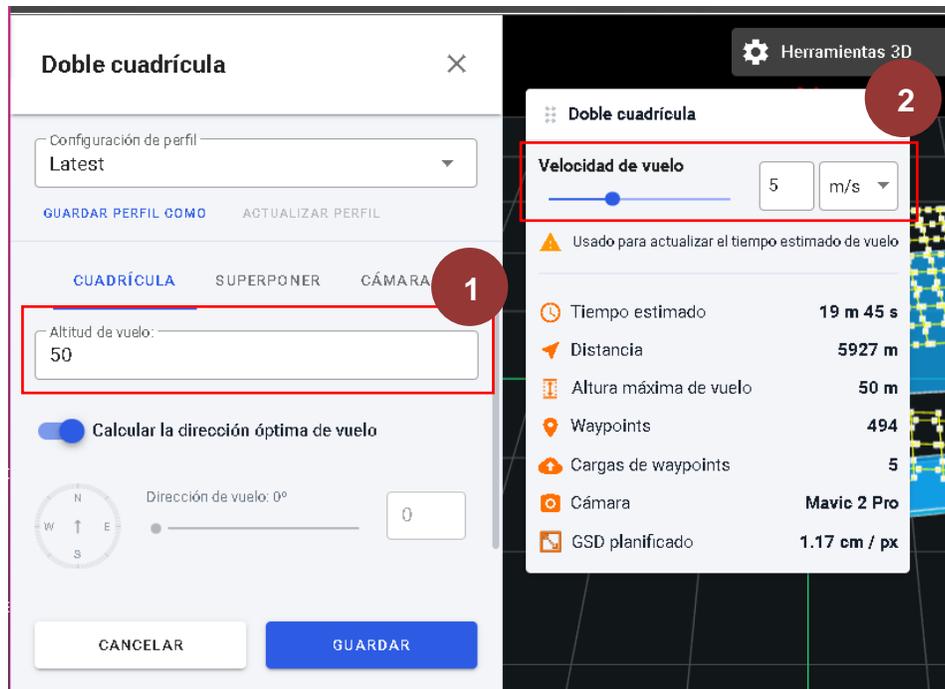


Figura 150. Configuración de la cuadrícula 2.

9. En el módulo de superponer, se configurarán las dos opciones en 75° (figura 151).



Figura 151. Configuración de la superposición de las fotografías.

10. En el módulo de cámara, seleccionar las opciones que contengan el modelo del RPAS a utilizar (figura 152).

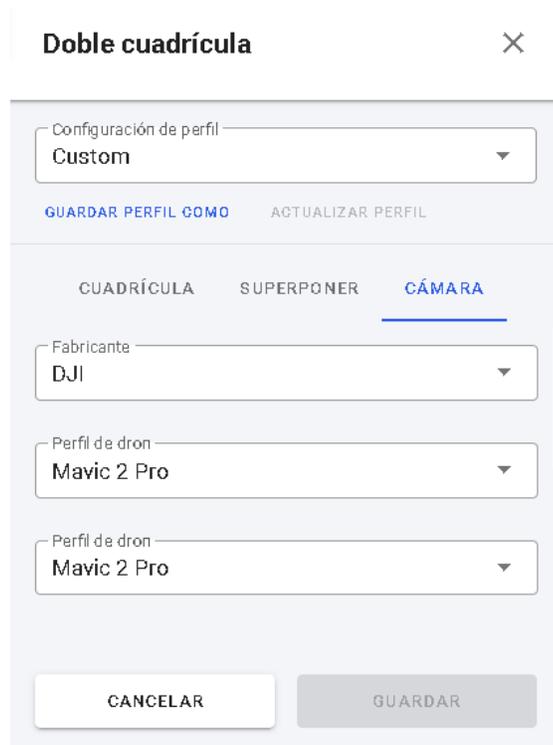


Figura 152. Configuración de la cámara.

11. Finalmente, guardamos, le asignamos un nombre al proyecto (figura 153) y automáticamente el software mostrará un esquema de la cuadrícula (figura 154).

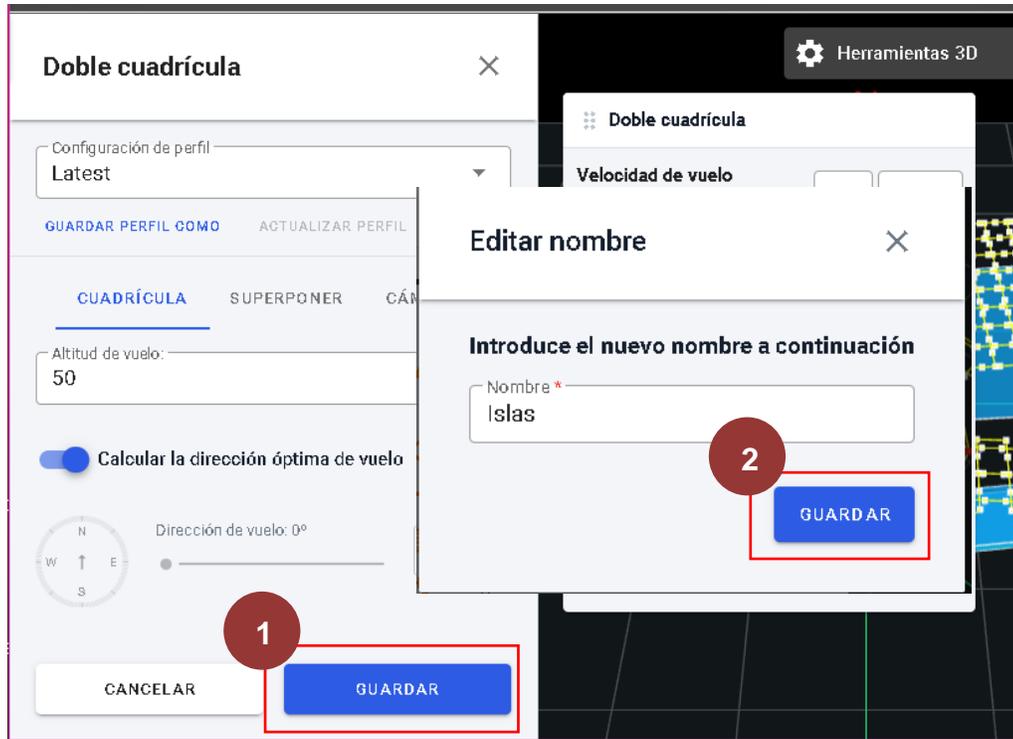


Figura 153. Guardar proyecto.



Figura 154. Configuración de la cuadrícula 3.

12. Una vez que ha terminado la planificación, hay que guardarlo en la nube, para ello dar clic en el botón con tres rayas que está ubicado en la barra del lado izquierdo de la pantalla. Seleccionar la opción de cargar sitio, se desplegará una ventana emergente

y en esta aparecerán las opciones de proyectos a cargar en la nube, seleccionar el archivo que hemos creado. Finalmente, dar clic en el botón cargar más reciente (figura 155).

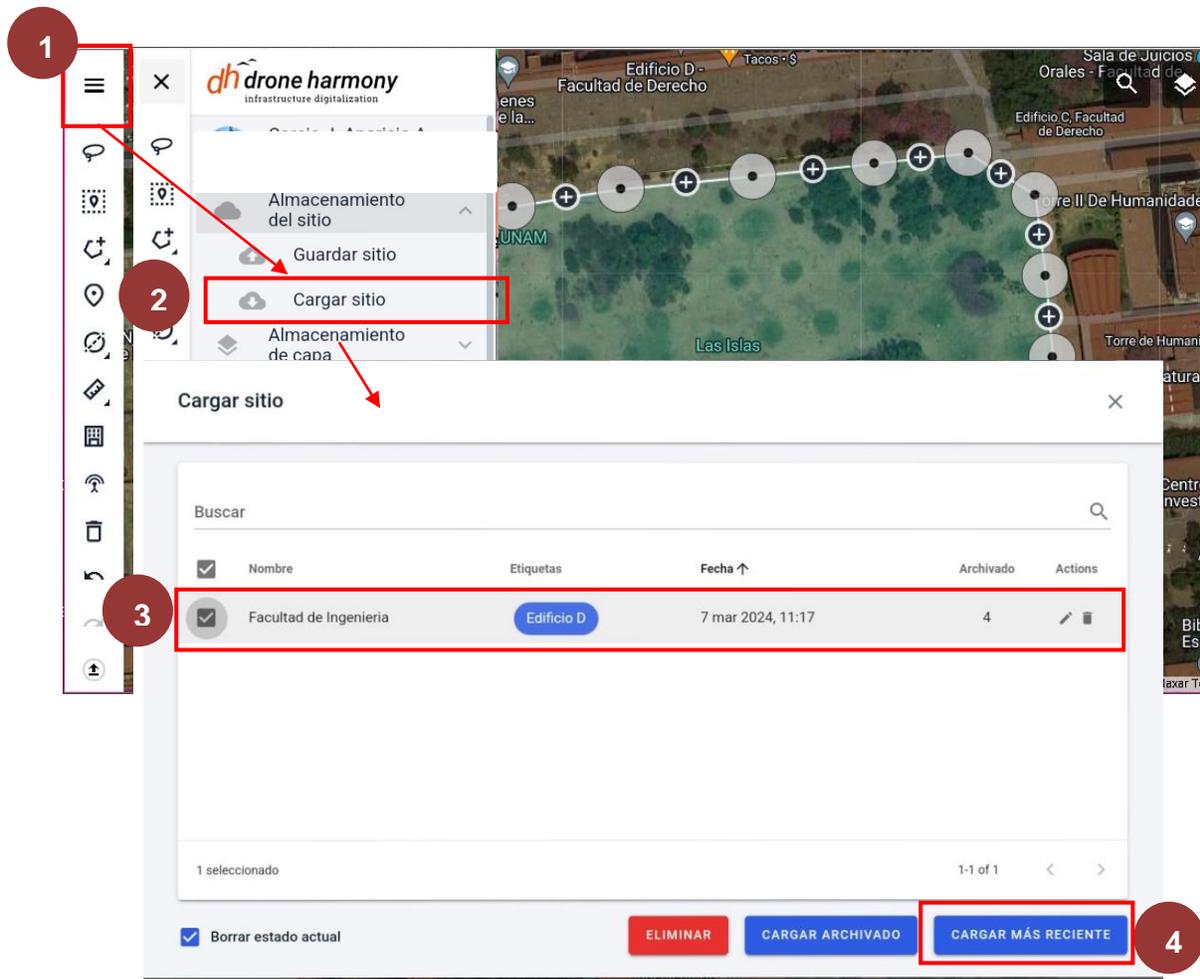


Figura 155. Guardado en la nube.

13. Al terminar la carga del archivo en la nube, descargar la aplicación móvil para poder efectuar el vuelo.
14. Abrir la aplicación móvil e iniciar sesión con la cuenta en el que este cargado el vuelo.
15. En la barra inferior derecha, seleccionar la opción de “more” luego en la opción “site storage” y posteriormente seleccionar la opción “load site”. Seleccionar el sitio que se quiera cargar (figura 156).

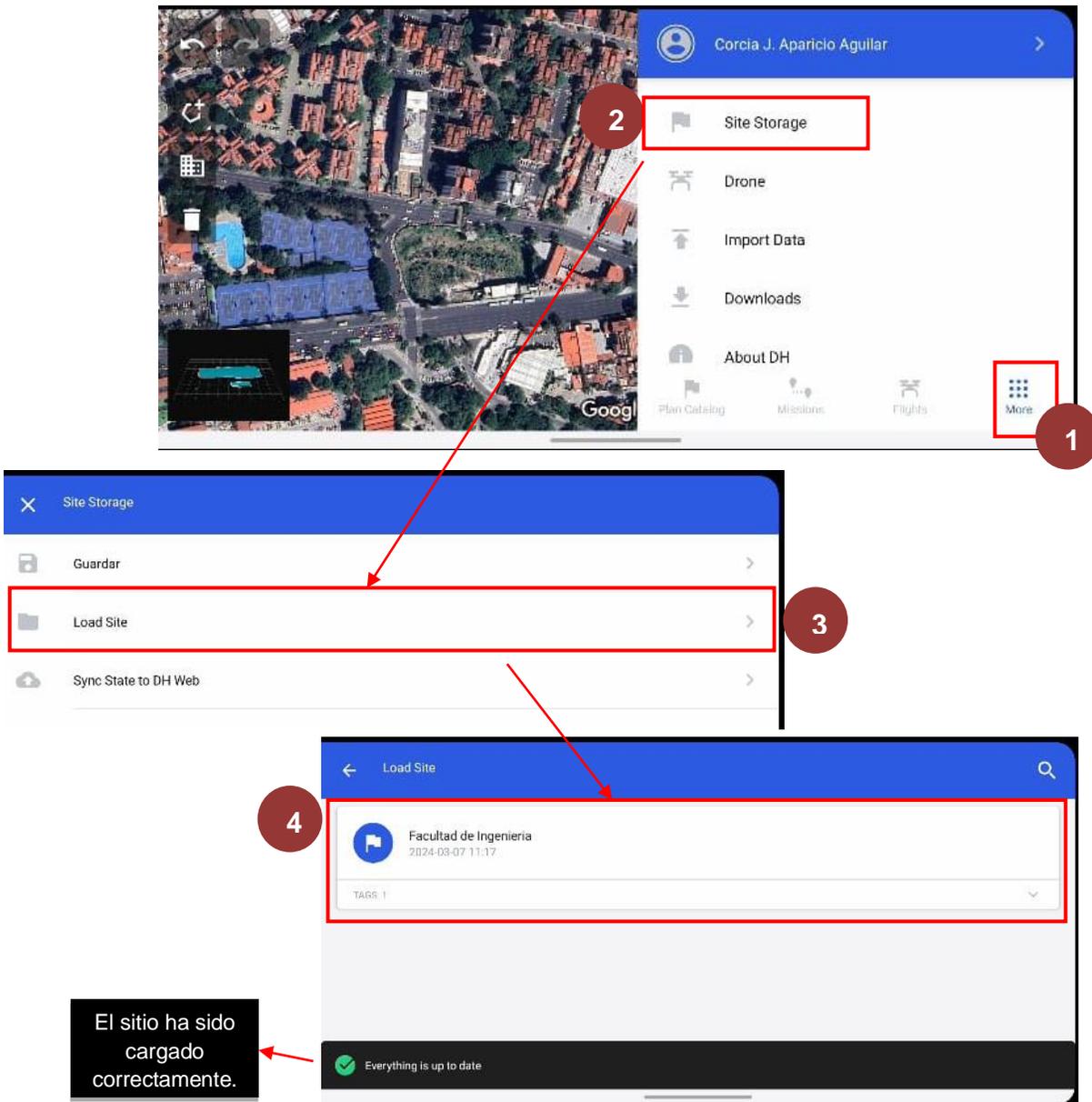


Figura 156. Cargado del sitio en el dispositivo móvil.

16. Una vez que ha sido cargado el plan de vuelo en el dispositivo móvil. Desplegar el mando y colocar las antenas de manera vertical.
17. Colocar el RPAS en una superficie plana, sólida y limpia.
18. Encender el mando presionando dos veces consecutivas en botón de encendido.
19. Conectar el teléfono inteligente o tableta al cable del mando y abrir la aplicación correspondiente al modelo del RPAS.
20. Encender el RPAS presionando dos veces consecutivas el botón de encendido.
21. Una vez encendido el equipo y conectado al mando al dispositivo móvil, abrir la aplicación que soporta al RPAS.

22. Verificar que el equipo ha sido conectado correctamente, y verificar en la aplicación cuando el modelo del equipo aparece en pantalla de la aplicación, como se muestra en la figura 157.

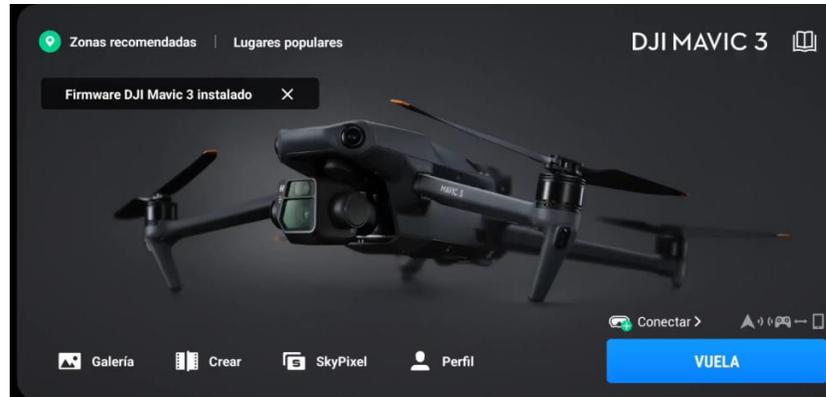


Figura 157. Conexión del RPAS en DJI.

23. Una vez conectado correctamente el equipo, cerrar la aplicación desde la barra de tareas y abrir la aplicación de “Drone Harmony”

24. En la aplicación de “Drone Harmony”, en la parte inferior izquierda de la pantalla se encuentra una barra de opciones, seleccionar la opción de “missions”, seleccionar el plan de vuelo previamente cargado, finalmente dar clic en la opción de lanzamiento (figura 158).

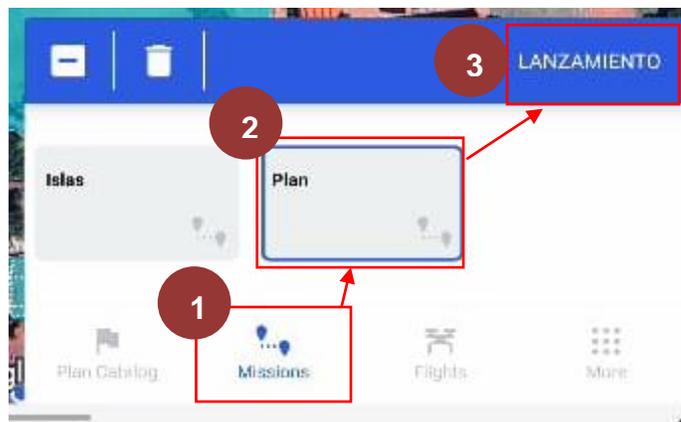


Figura 158. Ejecución de la misión.

25. El software pedirá algunas confirmaciones antes del lanzamiento y seleccionar la opción de continuar en cada una de ellas.

26. Una vez que el equipo ha verificado que todo está en orden empezará a ejecutar la misión programada.

27. Una vez terminada la misión, el dron retornará al lugar del aterrizaje, para aterrizar el dron, abrir nuevamente la aplicación móvil.

28. El alumno retornará el equipo al punto de despegue y bajará el RPAS a una altura aproximada de 1 m sobre el suelo, pulsar el botón que se encuentra en un costado izquierdo en la pantalla de celular, como se muestra en la figura 159 y el equipo aterrizará de forma automática.

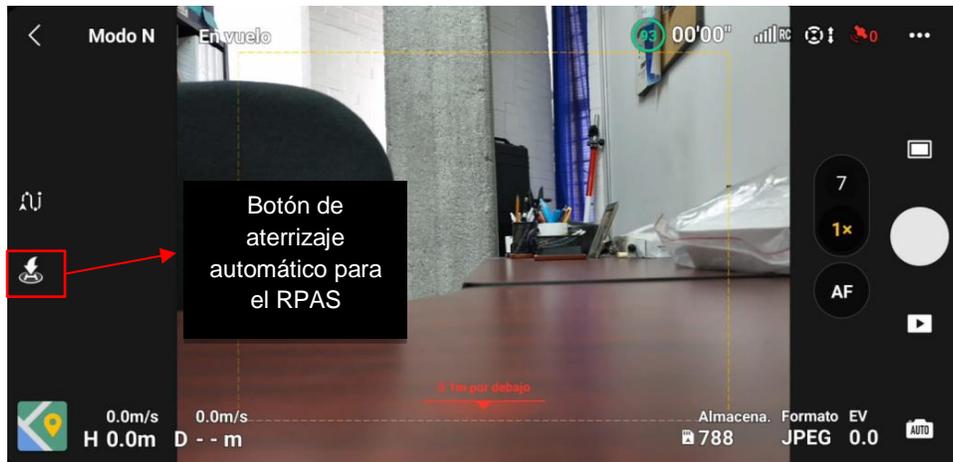


Figura 159. Aterrizaje automático del Mavic 3.

29. Una vez finalizado el vuelo, hacer una inspección visual post-vuelo para asegurar que el dron no haya sufrido daños aparentes durante el vuelo y sea seguro volver a volar.

b. Way point

26. Desplegar el mando y colocar las antenas de manera vertical.

27. Colocar el RPAS en una superficie plana, sólida y limpia.

28. Encender el mando presionando dos veces consecutivas en botón de encendido.

29. Conectar el teléfono inteligente o tableta al cable del mando y abrir la aplicación correspondiente al modelo del RPAS.

30. Encender el RPAS presionando dos veces consecutivas el botón de encendido.

31. Una vez encendido el equipo y conectado al mando en la aplicación aparecerá el modelo del dron que se ha conectado y se visualizará la opción de "vuela", seleccionar dicha opción para poder efectuar el vuelo (figura 160).

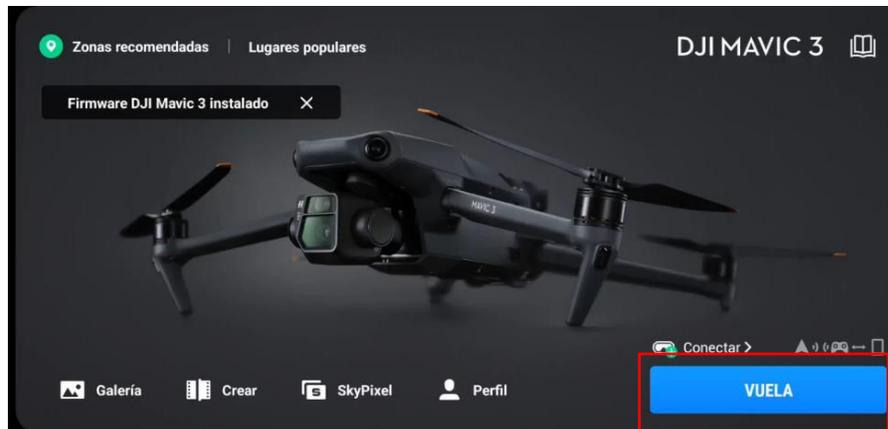


Figura 160. Conexión del RPAS en DJI.

30. Dirigir ambas palancas del mando dirigiéndolas simultáneamente a la parte baja y central del mando, y sostener hasta que el dron empiece a girar sus hélices (figura 161).



Figura 161. Mando del Mavic 2 Pro.

31. Con la palanca izquierda, elevar el equipo a una altura aproximada de los ojos del piloto para verificar si el RPAS se mantiene perpendicular al piso y no presenta ninguna inclinación. Si es este el caso, es seguro efectuar un vuelo. En caso contrario aterrizar el dron a como lo indique el profesor.
32. Ya que se comprobó que es seguro volar el equipo, elevarlo con la palanca izquierda a una altura aproximada de 50 m o a una altura donde no se encuentren obstáculos visibles para el equipo.
33. Volar el dron a un punto de inicio designado del área que será mapeada.
34. Con el dial del estabilizador de la cámara, que se encuentra en la parte frontal derecha, girar hacia la derecha para bajar la cámara y colocarla en 90° (figura 162)



Figura 162. Dial de inclinación de la cámara.

35. En el lado izquierdo de la pantalla, seleccionar la opción de “plan del vuelo de trayectoria”, posteriormente aparecerá una barra de opciones en la parte inferior de la pantalla y al pulsarlas se podrán agregar los puntos de la trayectoria que debe de seguir el RPAS para ejecutar el mapeo (figura 163).



Figura 163. Plan del vuelo de trayectoria.

36. Dar clic en el signo más para colorar un “pin” en ese sitio, posteriormente volar el dron hacia la izquierda aproximadamente 10 metros, y una vez ubicado en ese sitio de nuevo seleccionar el signo de “más” para poder colocar otro “pin” (figura 164).



Figura 164. Agregar "pines".

37. Ir avanzando en orden en forma de "zig-zag" y colocar un "pin" aproximadamente cada 10 m (figura 165).

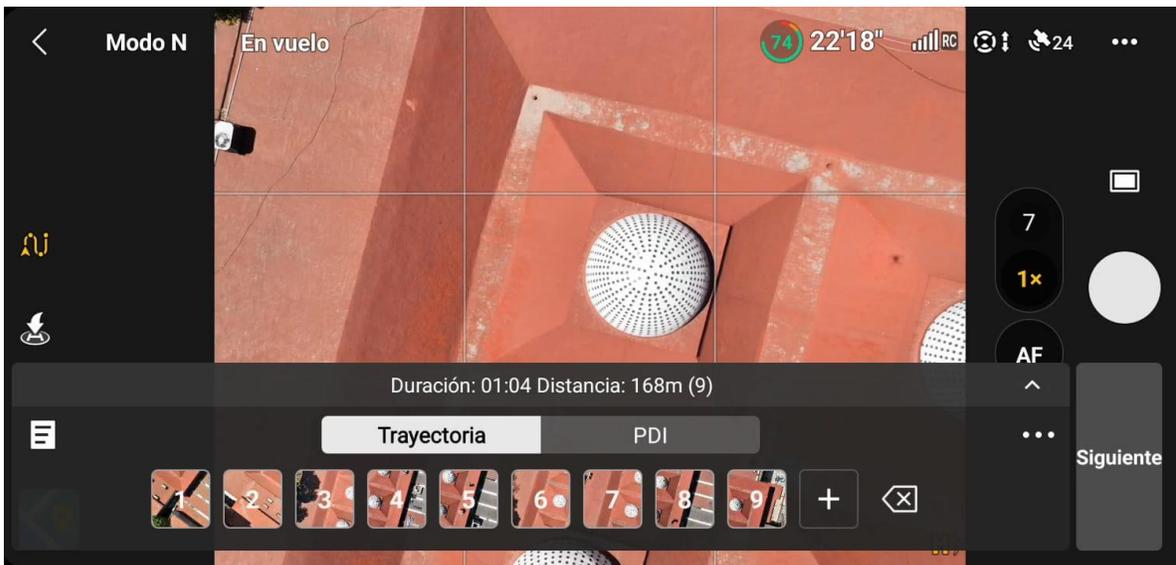


Figura 165. Colocación de los "pines".

38. Debe de quedar una cuadrícula muy parecida a la que se muestra en la figura 166.

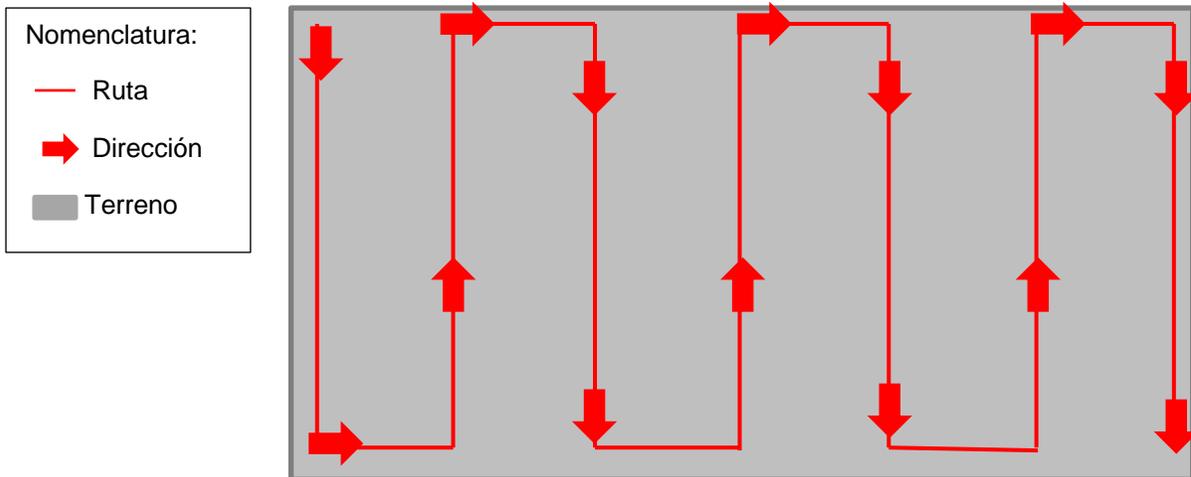


Figura 166. Sugerencia de cuadrícula.

39. Una vez que se ha terminado de colocar los “pines”, en la misma barra donde se ha estado trabajando a la derecha, seleccionar el botón con los tres puntos para poder modificar la velocidad en la que se ejecutara el vuelo con ayuda de la barra (figura 167).



Figura 167. Ajuste de la velocidad del vuelo.

Nota: Se recomienda que la velocidad del vuelo sea menor o igual a 2.5 m/s.

40. Para guardar el plan de vuelo que se realizó, en la misma barra en la que se ha trabajado, pero en el lado izquierdo superior se encontrará un recuadro y al seleccionarlo se desplegará una nueva ventana donde se podrá modificar el nombre del plan del vuelo y una vez modificada, seleccionar la opción de guardar (figura 168).

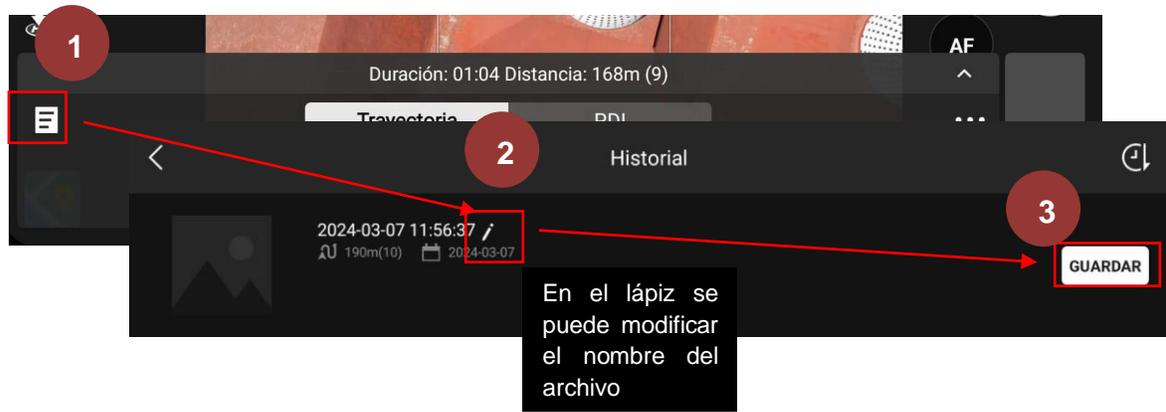


Figura 168. Guardado del plan de vuelo.

41. Una vez guardado, regresar el dron al punto de despegue, para aterrizar el dron, abrir nuevamente la aplicación que soporta al equipo.
42. Bajar el RPAS a una altura aproximada de 1 m sobre el suelo, pulsar el botón que se encuentra en un costado izquierdo en la pantalla de celular como se muestra en la figura 169 y el equipo aterrizará de forma automática.

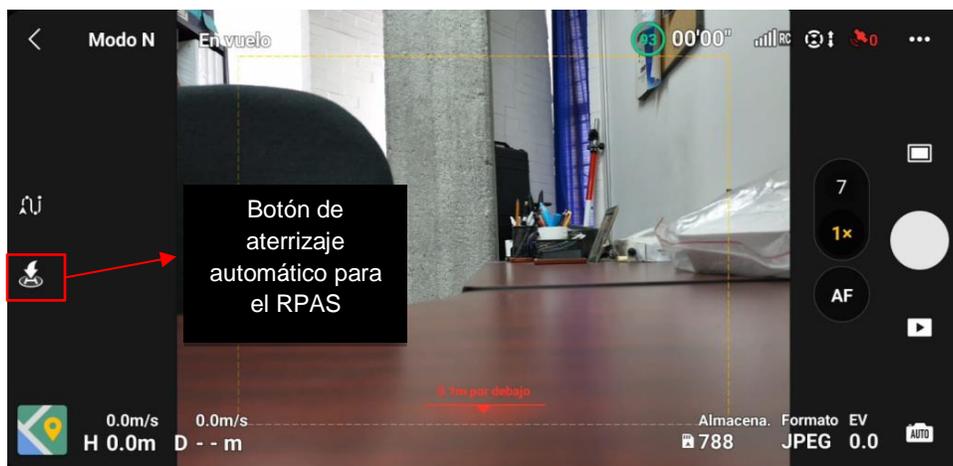


Figura 169. Aterrizaje automático del Mavic 3.

43. Una vez finalizado el vuelo, hacer una inspección visual post-vuelo para asegurar que el dron no haya sufrido daños aparentes durante el vuelo y sea seguro volver a volar.

Ejecución del plan:

44. Volar de nuevo el dron al punto de inicio el plan de vuelo.
45. Asegurarse que la cámara este colocada a 90° de inclinación.
46. En el lado izquierdo de la pantalla, seleccionar la opción de “plan del vuelo de trayectoria”, posteriormente aparecerá nuevamente la barra de opciones en la parte inferior de la pantalla, seleccionarla para poder ejecutar el plan de vuelo (figura 170).



Figura 170. Plan del vuelo de trayectoria.

47. Seleccionar el botón con los tres puntos que se encuentra en la parte derecha de la barra de trabajo, después seleccionar el botón de “go” (figura 171).



Figura 171. Ejecución del plan de vuelo.

48. El dron empezará a ejecutar el vuelo con las características que se le asignaron, como altura, velocidad y ruta.

Nota: La desventaja de este método es que mientras se ejecuta el vuelo el dron grabará un video, pero no fotografías, por lo que existen dos opciones extraer cuadro por cuadro imágenes a partir del video del vuelo o ir tomando fotos a lo largo del vuelo con el obturador. Para obtener un mayor detalle de imágenes se recomienda hacer los dos métodos, es decir, extraer imágenes del video y tomar fotografías a lo largo de la trayectoria.

49. En el mapa que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla, se puede visualizar la ruta que sigue el RPAS y al dar “clic” se extenderá para su mejor visualización (figura 172).



Figura 172. Visualización de la ruta.

50. Una vez finalizado el vuelo planificado, regresará el equipo de manera automática primer punto (figura 173).



Figura 173. Retorno del RPAS.

51. Una vez retornado el equipo, hacer un aterrizaje manual, para ello bajar el RPAS a una altura aproximada de 1 m sobre el suelo, pulsar el botón que se encuentra en un costado izquierdo en la pantalla de celular como se muestra en la figura 174 y el equipo aterrizará de forma automática.



Figura 174. Aterrizaje automático del Mavic 3.

Procesamiento

52. Para el procesamiento de las fotografías tomadas en campo, existen un sinnúmero de softwares que pueden ser utilizados, algunos son de licencia libre, pero la mayoría son de pago. Para el procesamiento de las fotografías generadas en dicha práctica se utilizará un software de pago, pero con una licencia libre por 30 días. Dicho software se llama "Metashape".
53. Descarga el software de "Metashape" de Agisoft en el enlace oficial: www.agisoft.com/downloads/installer/, y seguir las instrucciones de descarga e instalación que marca el fabricante.
54. Una vez descargado e instalado el software, empezar a agregar las fotografías para ello en la parte superior de la pantalla se encuentran diferentes opciones, seleccionar el módulo de "workflow" y posteriormente la opción de "addphotos". A continuación se desplegará una ventana y seleccionar la carpeta en donde se encuentran las ortofotos y seleccionarlas todas. Finalmente, dar clic en abrir y el software empezará a cargar las imágenes para trabajar (figura 175).

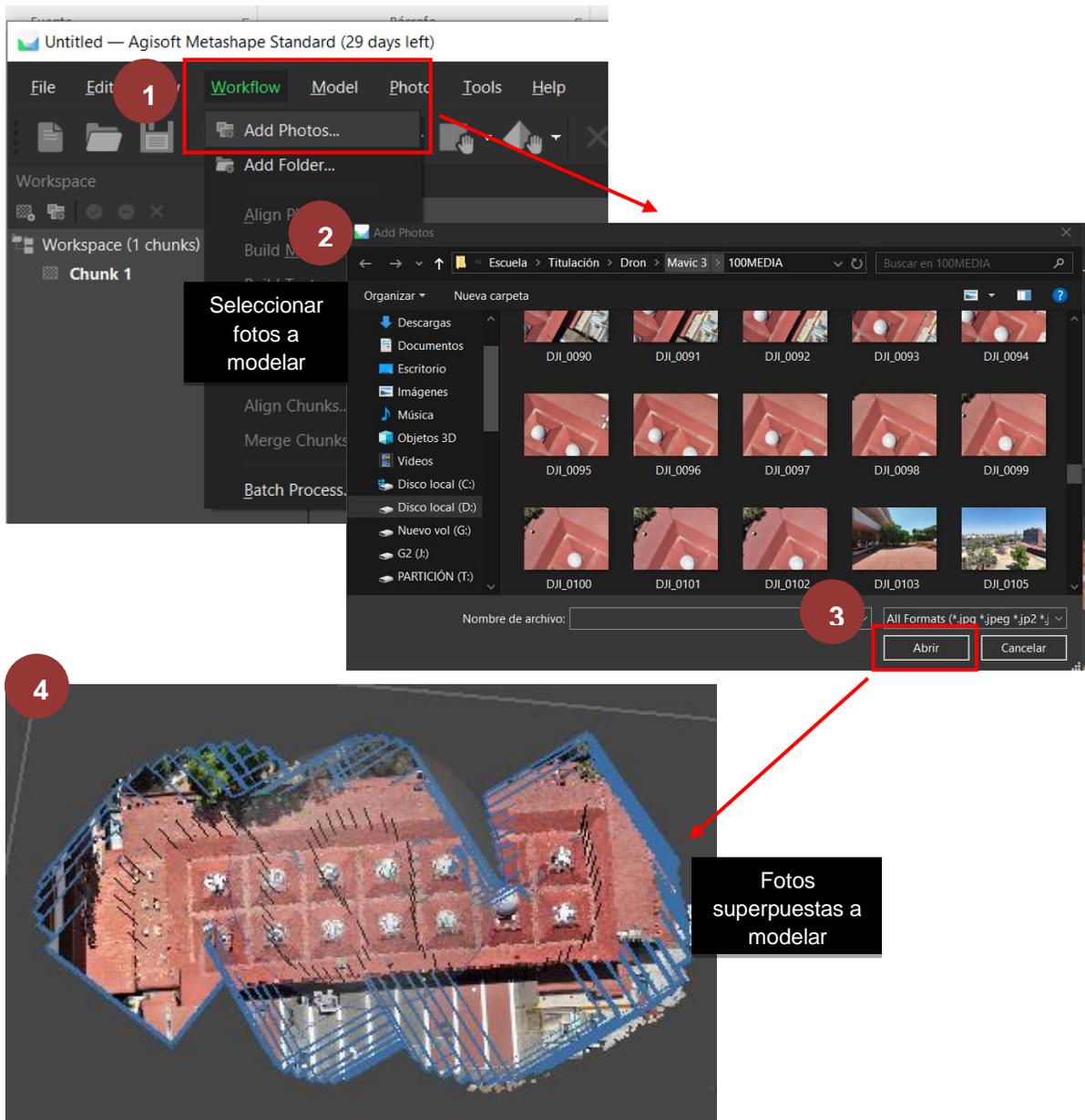


Figura 175. Cargado de imágenes.

55. En el módulo de “tools”, seleccionar la opción de “camara calibration...”, posteriormente, se desplegará una pantalla donde se pueden hacer modificaciones a la calibración de las imágenes, pero para este caso se dejarán las configuraciones por default a excepción del apartado de “Rolling Shutter compensation” seleccionar la opción de “full”. Finalmente dar clic en “ok” (figura 176).

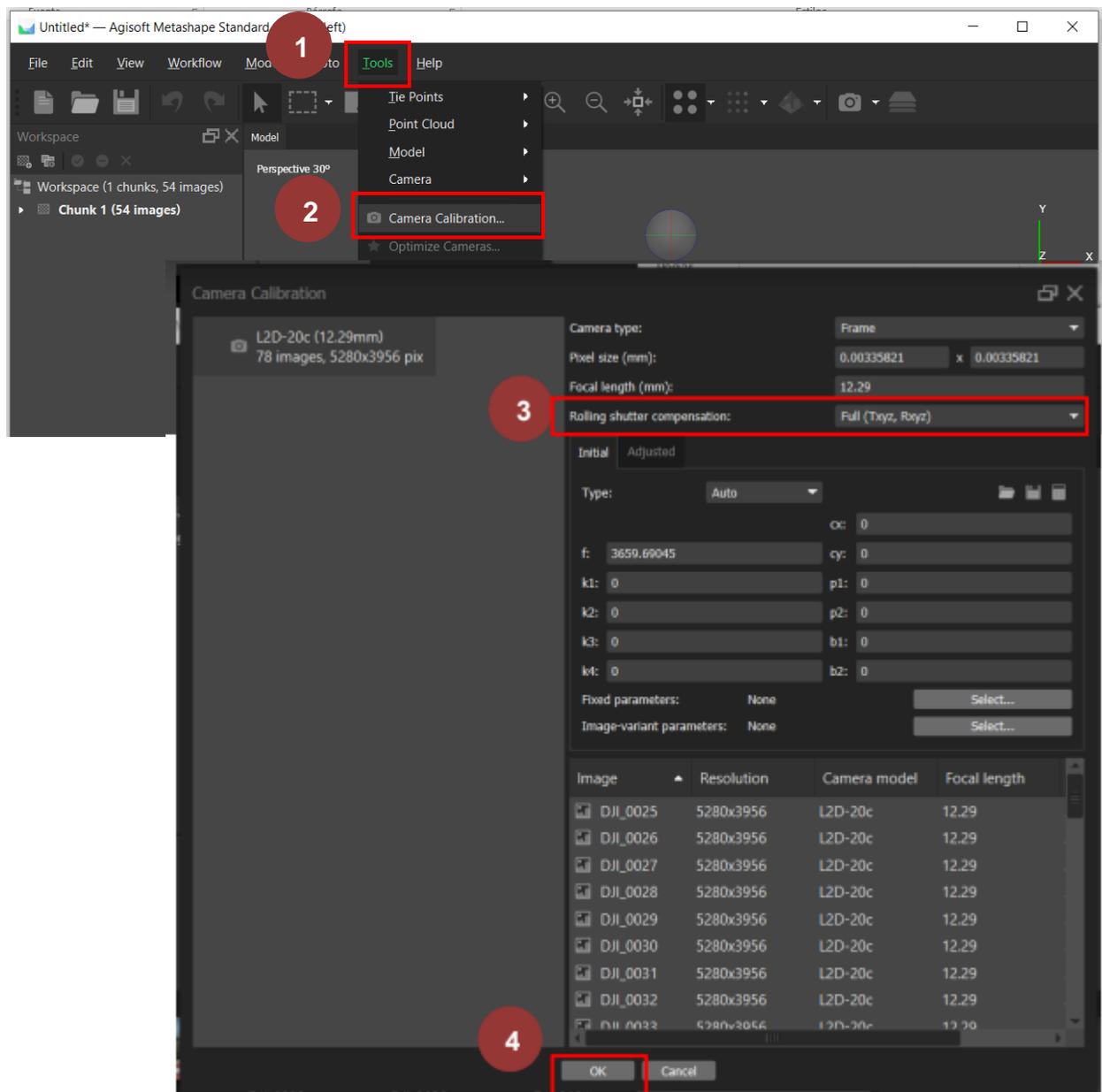


Figura 176. Calibración de la cámara.

56. Ahora se reorientarán las fotografías, para ello dirigirse al módulo de “workflow” y seleccionar la opción de “Align photos”. Se desplegará una nueva ventana.
57. En las configuraciones generales, verificar que estén seleccionadas las opciones “high” y en “estimated”. En “accuracy” seleccionar la opción de “generic preselection”.
58. En configuraciones avanzadas, dejar la configuración por default a excepción del segmento de “apply masks to”, seleccionar la opción de “adaptive camera model fitting”. Finalmente, dar clic en la opción “ok” y el software empezará a procesar las imágenes (figura 177).

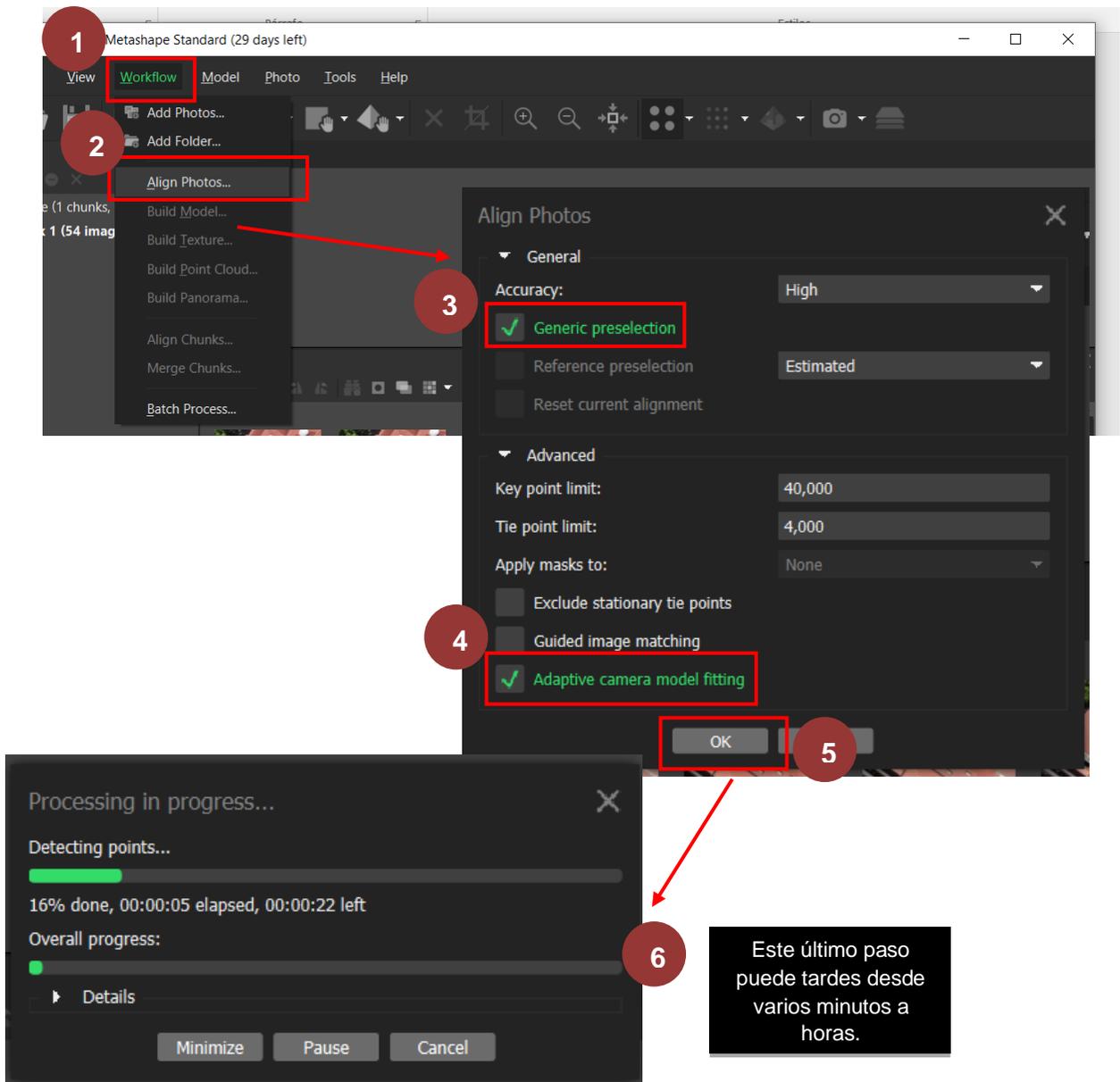


Figura 177. Alinear fotos.

59. Una vez finalizado el proceso de la alineación de las fotos, en el icono de la “cámara”, seleccionar las opciones de “show thumbnails” y “show local axes” para que en la pantalla aparezca la nube de puntos dispersa (figura 178).

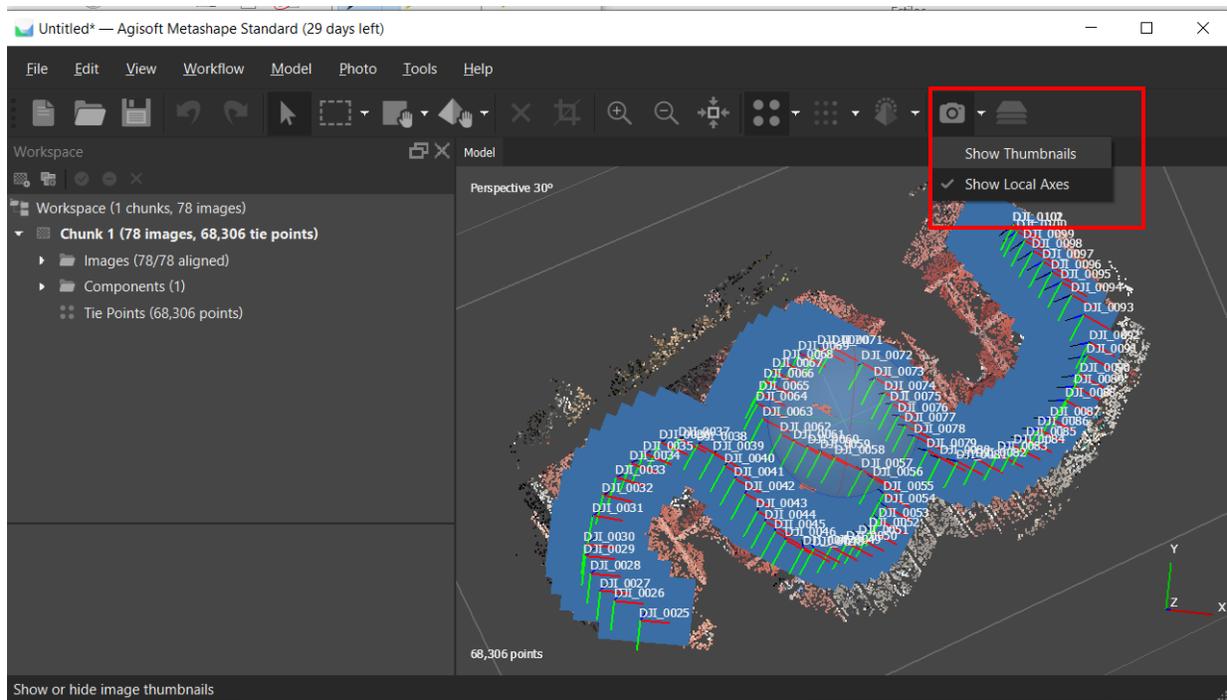


Figura 178. Vista de las cámaras sobre el modelo.

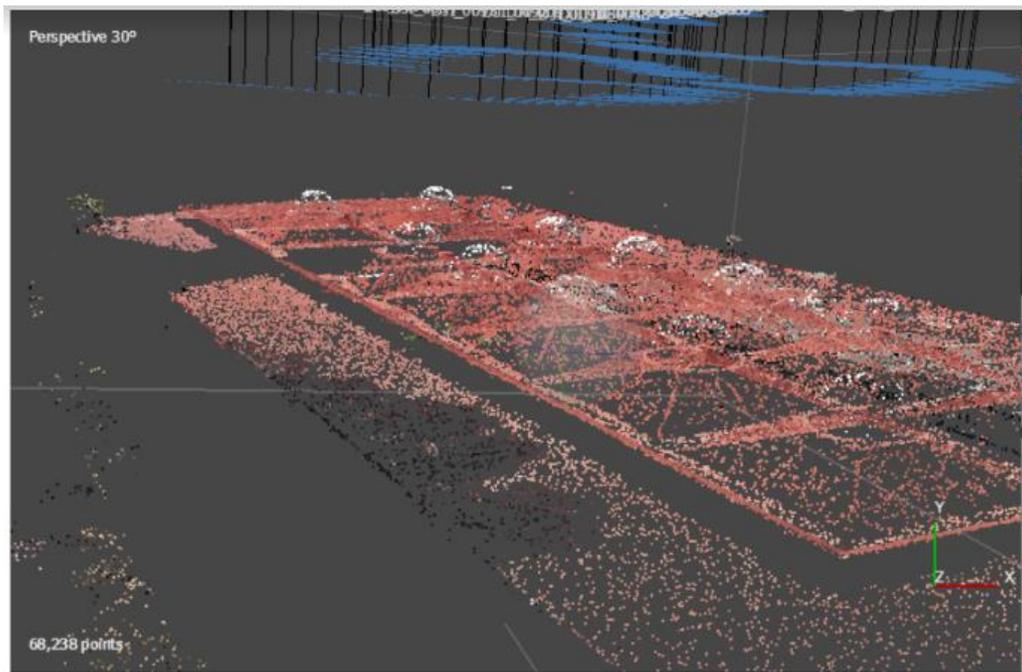


Figura 179. Vista isométrica de la nube de puntos.

60. Dirigirse al módulo de “tools”, seleccionar la opción de “optimize camaras”, se desplegara una nueva ventana y en las configuraciones generales, dejarlas por default. En configuraciones avanzadas solo seleccionar la opción de “adaptive camera model fitting” (figura 180).

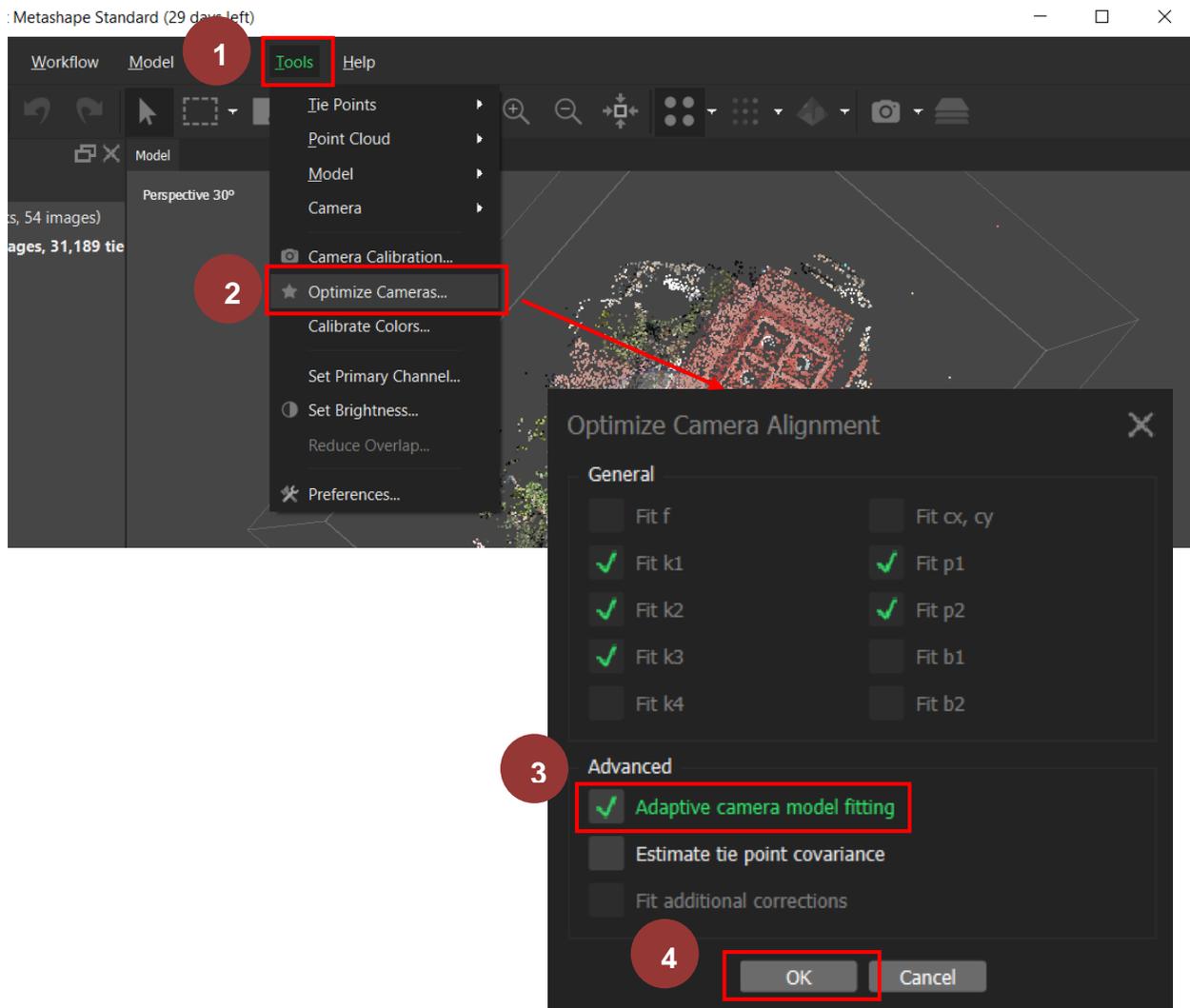


Figura 180. Optimización de cámaras.

61. Para generar la nube de puntos densa, dirigirse al módulo de “workflow”, seleccionar la opción de “build point cloud...”. Se desplegará una ventana emergente, y configurar la calidad (quality) en alta (high), en la opción de “depth filtering” una calidad media (mild) como mínimo, seleccionar el recuadro de “calculate point color”, y finalmente seleccionar la opción de “ok”. El software empezará a procesar las instrucciones dadas (figura 181).

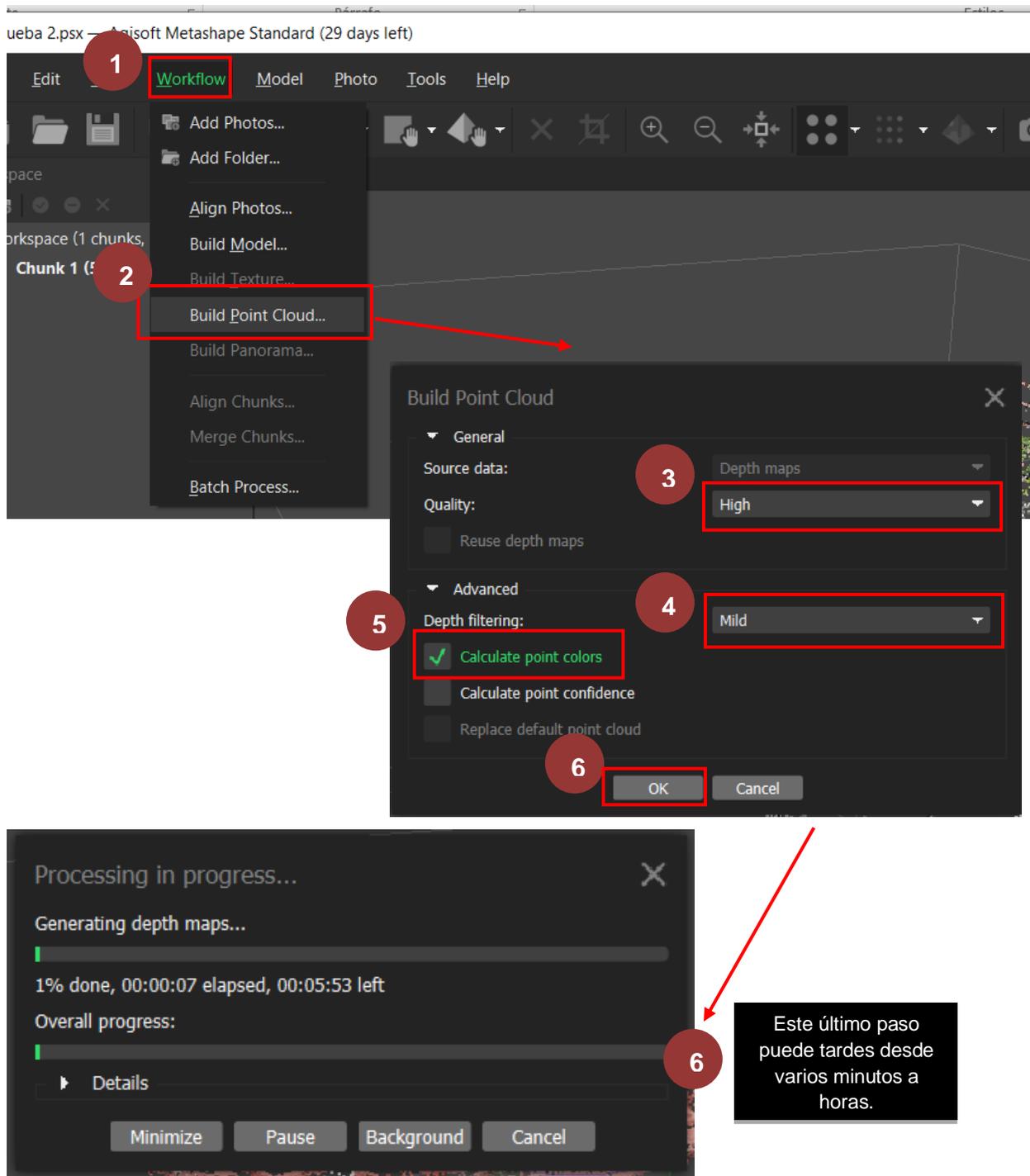


Figura 181. Generación de puntos densa.

62. Como resultado, tenemos un modelo sólido en color, pero sin mucho detalle aún (figura 182 y 183).

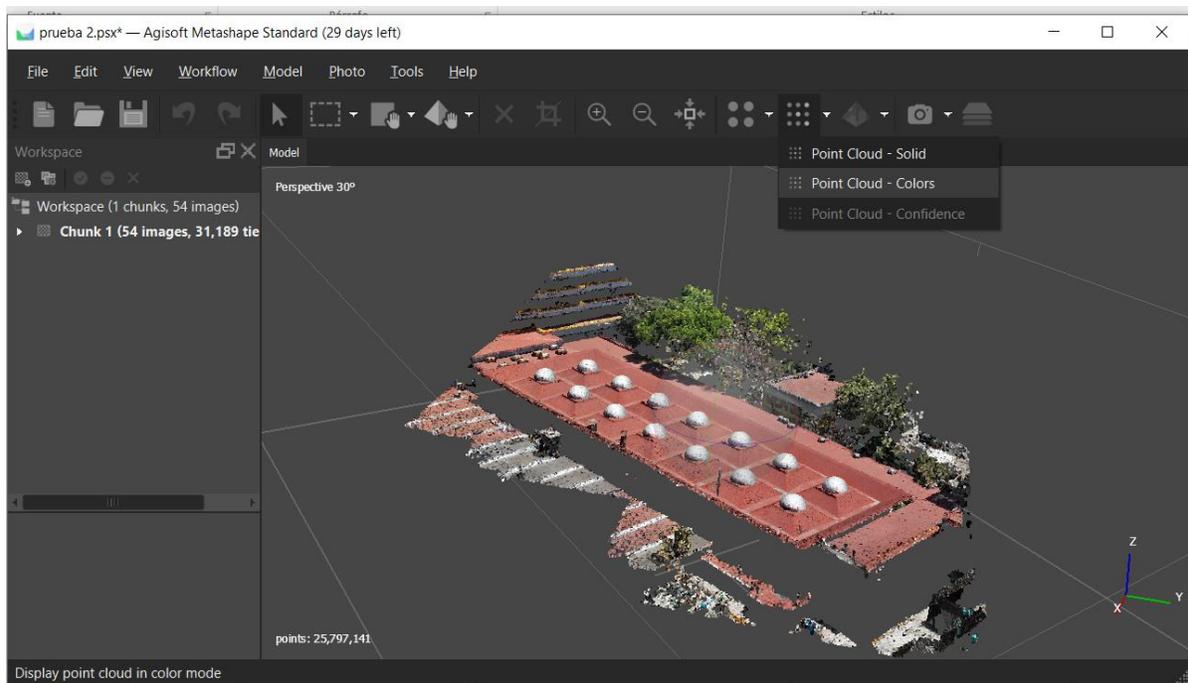


Figura 182. Modelo de nube de puntos densa.

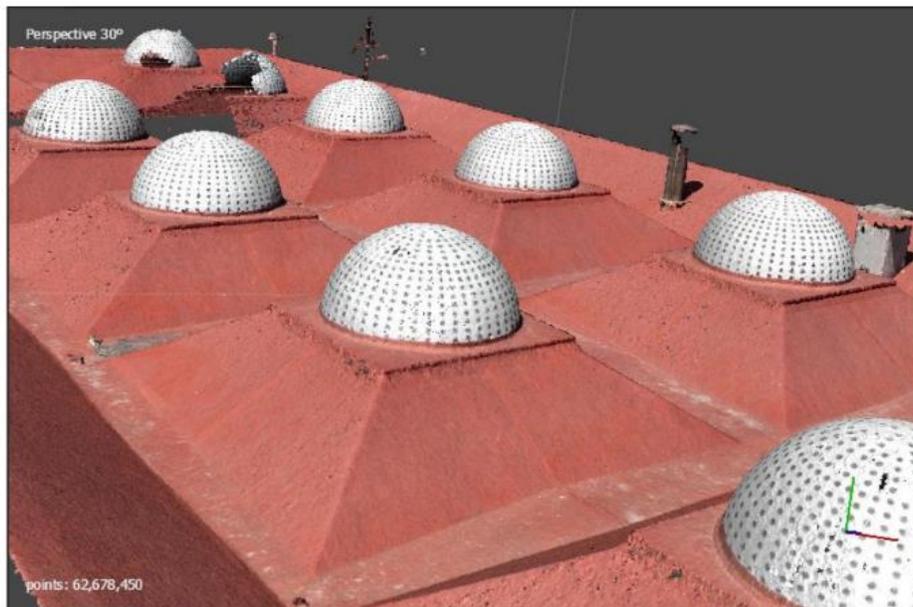


Figura 183. Vista isométrica de la nube de puntos densa 2.

63. Para obtener un mejor resultado, se construirá otro modelo, para ello en el módulo “workflow” y seleccionar la opción de “build point cloud...”. Posteriormente, se desplegará una ventana emergente y en configuración general seleccionar una calidad alta (high), cantidad de caras alta (face count high), en las configuraciones avanzadas seleccionar las opciones “calculate vertex colors” y “reuse depth maps”. Finalmente, seleccionar la opción de “ok” (figura 184 y 185).

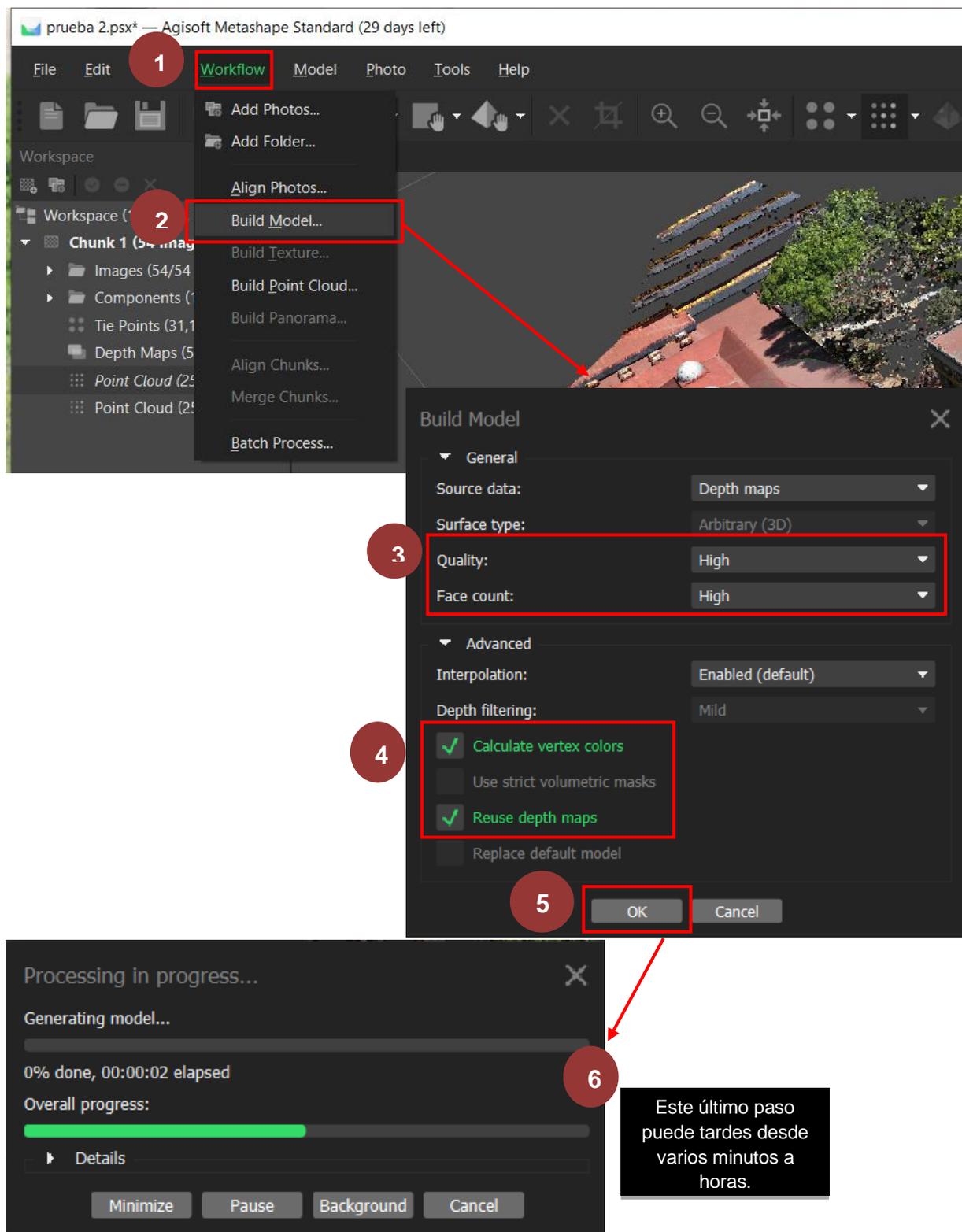


Figura 184. Configuración para construir un modelo sólido.

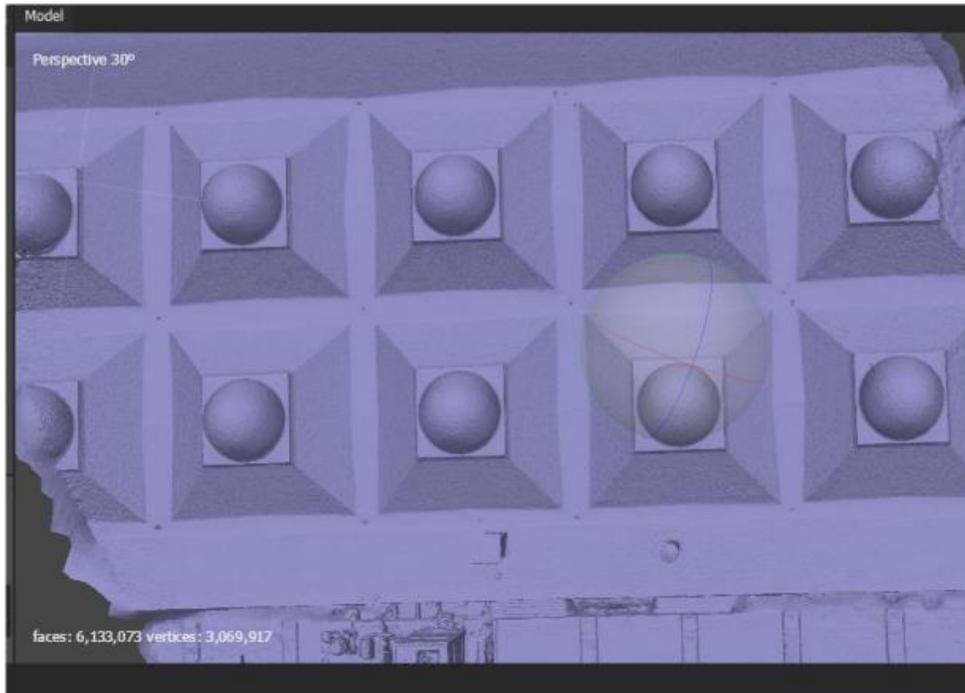


Figura 185. Vista de planta del modelo 3D sólido.

Resultados:

64. A continuación, se creará un modelo 3D texturizado, para ello dirigirse al módulo “Workflow” y seleccionar la opción “Build texture...”. Se desplegará una ventana emergente y dejar la configuración que está por default y por último dar clic en “ok” (figuras 186, 187 y 188).

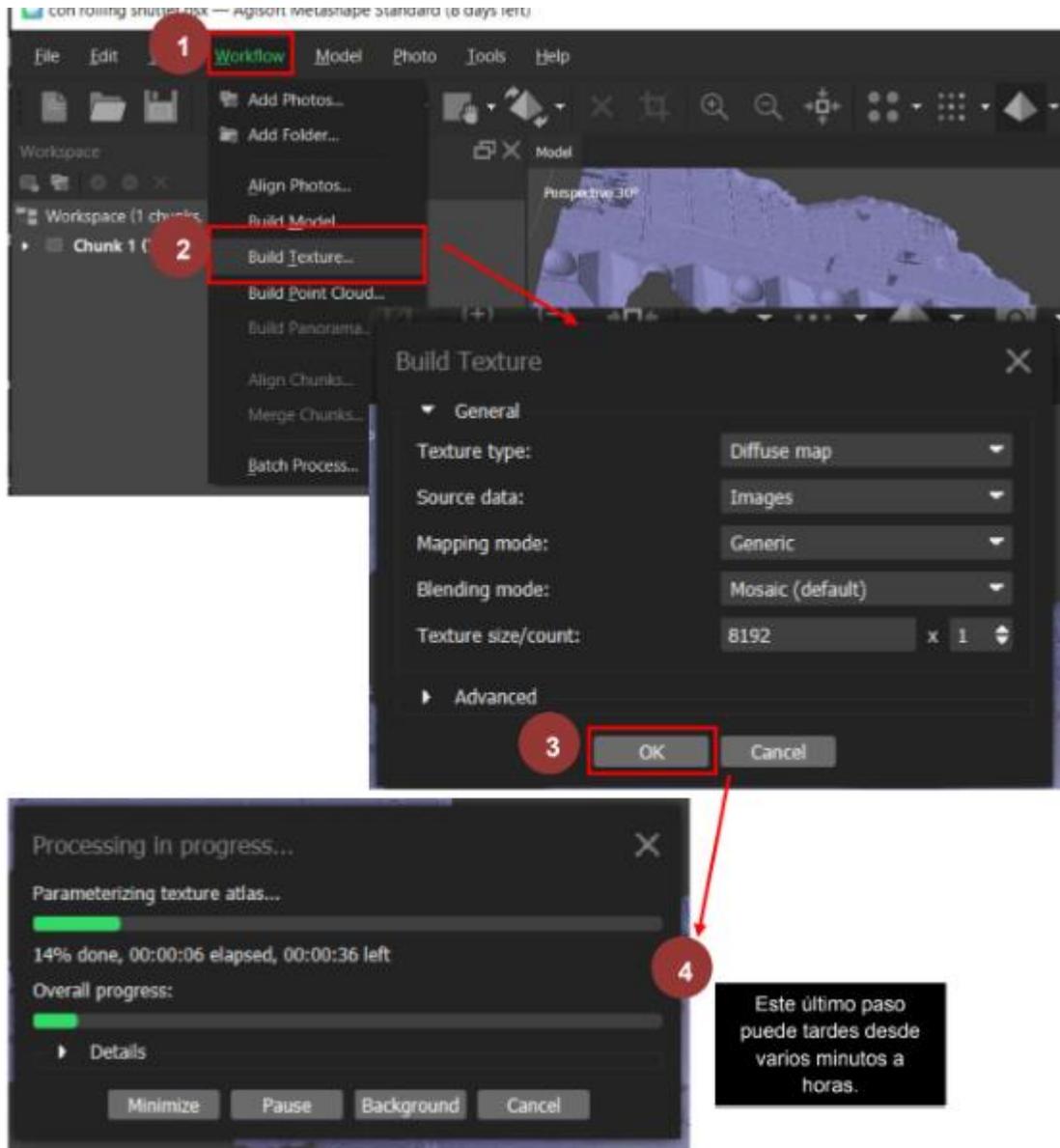


Figura 186. Configuración para obtener el modelo texturizado.



Figura 187. Vista de planta del modelo texturizado.

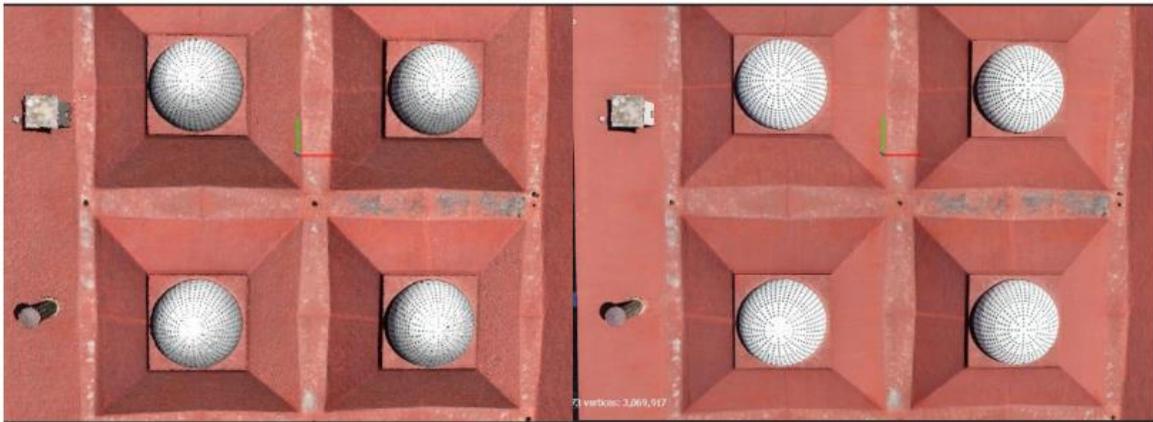


Figura 188. Comparación entre el modelo sin texturizar (izq.) y el modelo texturizado (der.).

Referencias

DJI_Mavic_3. (2021). Manual de usuario. https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3/DJI_Mavic_3_User_Manual_v1.0_es.pdf

Mavic 2 Pro Zoom. (2018). Manual de usuario. https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/01911um/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_es.pdf

FotoDroneRS. (2023, 30 de marzo). *Fotogrametría con drones para principiantes. Introducción a mapas 3D con drones*. [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=OJ2x5NqxQjQ

FotoDroneRS. (2022, 30 de diciembre). *Fotogrametría con drones guía completa para principiantes - mapas 3d desde cero en español*. [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=1HPyd5S_BRY

Condés, O. (Octubre, 2019). *Qué es el efecto “Rolling Shutter” y cómo evitarlo*. www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/que-es-el-efecto-rolling-shuter-y-como-evitarlo

Conclusión

Este documento tiene como objetivo servir de guía práctica y técnica para el uso de tecnologías GNSS y drones en la minería y metalurgia. A lo largo de las prácticas desarrolladas, se han integrado conceptos teóricos y actividades prácticas que permiten comprender los fundamentos y aplicaciones de estas tecnologías, destacando su relevancia en la ingeniería moderna.

La implementación de estas prácticas en las aulas es de vital importancia, ya que proporciona a los estudiantes no solo conocimientos teóricos, sino también habilidades técnicas que son cada vez más demandadas en el ámbito profesional. Al familiarizarse con herramientas como GNSS, drones, y software especializado, los futuros ingenieros podrán desarrollar competencias clave como la resolución de problemas técnicos, la interpretación de datos geoespaciales y la toma de decisiones fundamentadas en análisis precisos.

Además, en la minería permiten mejorar la precisión en la planificación y ejecución de operaciones, el monitoreo ambiental, y la gestión de recursos. En metalurgia, contribuyen a la optimización de la logística, el control de residuos y la supervisión de infraestructuras. Estas herramientas no solo permitirán aumentar la eficiencia y la seguridad de los procesos, sino que también promueven el cumplimiento de normativas y estándares ambientales.

Finalmente, este trabajo subraya la importancia de incorporar tecnologías emergentes en la formación académica con el fin de mejorar el ejercicio profesional de los futuros ingenieros e ingenieras. Estas prácticas no solo fomentan el aprendizaje técnico, sino que también preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro con confianza y habilidades adaptadas a las necesidades actuales del sector minero y metalúrgico.