



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Innovación y
aprovechamiento de
tecnologías aplicadas a
topografía**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de
Ingeniero de Minas y Metalurgia

P R E S E N T A

Diego Cristóbal Martínez Hernández

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M. en I. Roberto Ascencio Villagómez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

DEDICATORIA

Dedico este material didáctico a todas las personas que me han apoyado y motivado a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis padres, les agradezco por su sacrificio, dedicación y amor incondicional. Gracias por apoyarme en cada paso de mi camino, por creer en mí incluso en los momentos de duda y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis objetivos.

A mi hermana y hermano, gracias por ser mi fuente de inspiración y por ser mi apoyo incondicional. Ustedes han sido mi equipo de apoyo, me han alentado y me han dado las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mi tía, gracias por su cariño y sabiduría, por brindarme consejos y por ser una fuente de apoyo constante a lo largo de mi vida.

A mis primos, gracias por ser mi familia y por mantenernos unidos en todo momento. Su amor y amistad significan mucho para mí.

Este logro no solo es mío, sino de toda mi familia. Gracias por ser mis rocas en los momentos de tormenta y por celebrar junto a mí en los momentos de triunfo. Les agradezco de todo corazón por todo lo que han hecho por mí.

Con amor y gratitud,

Diego Cristóbal

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que han contribuido al éxito de mi material didáctico.

A mi asesor, gracias por su orientación experta, su apoyo y su dedicación en ayudarme a llevar a cabo mi material didáctico. Sus comentarios constructivos y sugerencias me guiaron en todo momento, lo que me permitió profundizar en mi tema de investigación.

A Promine, la empresa que facilitó la licencia de su software, mi más sincero agradecimiento por su generosa colaboración. Su software de minería fue fundamental para desarrollar este trabajo. Gracias por brindarme acceso a mí y a la carrera, esta poderosa herramienta.

A todos los que han contribuido en mi formación académica y personal, gracias por su apoyo y motivación en todo momento. Este logro no habría sido posible sin su ayuda.

RESUMEN

El avance de las nuevas tecnologías en la actualidad es impresionante, en el caso del sector minero metalurgista los levantamientos topográficos son vitales para obtener los datos base, es por eso que se creó este material didáctico, para aprovechar los recursos disponibles en la materia de “Métodos de Medición Minero Cartográficos”.

Dentro de la carrera de minas y metalurgia se tiene el acceso a equipos como el Dron Mavic 2 Pro, el cual a través de fotogrametría proporciona bastantes aplicaciones y una de las más usadas en la actualidad es en topografía, en donde los levantamientos se mejoran exponencialmente en comparación a otros equipos.

Por otro lado, además de los equipos para realizar un buen trabajo se necesita software para aprovechar todos los datos tomados, por parte de la carrera se tiene acceso a un software especializado en minería, Promine sin duda agiliza y facilita el tratamiento de datos en el campo de la minería, por lo cual es crucial estar actualizado en uso de software.

El contenido de este escrito en el capítulo 1 consta de marco contextual, abordando temas del equipo y software disponible además del alcance de este escrito.

El capítulo dos presenta el modo de trabajo, donde se muestra todos los recursos didácticos creados y la forma planeada, de tal manera que se aproveche en su totalidad el material.

Los siguientes cinco capítulos son plenamente el material para cada práctica: “configuración de terreno con dron”, “cálculo de volumen con dron”, “túnel con Promine”, “cuartos y pilares con Promine” y “simulación de escáner.”

Por último se presenta la conclusión y recomendaciones.

ABSTRACT

The development of new technologies today is amazing, in the case of the mining and metallurgy sector, topographic surveys are vital for the principal data, that is why this teaching material was created to exploit the resources available in the asignment of “Métodos de Medición Minero Cartográficos”.

Inside the career we have access to equipment such as the Mavic 2 Pro Dron, which through photogrammetry provides many applications and one of the most used at present is in topography, where the surveys are exponentially improved compared to other equipment.

On the other part, in addition to the equipment to make a good job, software is needed to take advantage of all the data collected, by the career we have access to specialized software in mining, Promine undoubtedly streamlines and facilitates the processing of data in our area, so it is crucial to be updated in the use of software.

The content of this paper in the chapter one consists of a contextual background, describing the equipment and software available as well as the extent of this paper.

Chapter two presents the mode of work, where all the didactic resources created and the planned form are shown, in such a way that the material is taken to maximum use.

The subsequent five chapters are completely the material for each practice: “configuración de terreno con dron”, “cálculo de volumen con dron”, “túnel con Promine”, “cuartos y pilares con Promine” y “simulación de escáner.”

Finally, conclusion and recommendations are presented.

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Tabla de Contenido	6
Capítulo I: Marco Contextual	8
1.1. Objetivo del material didáctico	8
1.2. Descripción de la Materia	8
1.3. Equipo Disponible en el departamento de minas y metalurgia	9
1.4. Software Disponible por UNAM	9
1.4.1. AutoCAD	10
1.4.2. Civil 3D	11
1.4.3. CloudCompare	11
1.4.4. Qgis	12
1.4.5. Metashape	12
1.4.6. Promine	13
1.4.7. Recmin	13
1.4.8. Scanect	14
1.5. Alcance	14
Capítulo II: Modo de Trabajo	15
2.1. Parte Teórica por medio de Presentación	15
2.2. Parte Práctica por medio de Video	15
2.3. Parte Práctica por medio de celular	16
2.4. Parte de Manejo de Datos por medio de Video	17
2.5. Parte de Manejo de Datos por medio de Escrito	18
2.6. Apoyo con SOFTWARE MINERO	18
2.7. Propuesta Docente para planeación.	19
Capítulo III: Configuración de Terreno con Dron	20
3.1. Parte teórica por medio de Presentación	20
3.1.1. Descripción	20
3.1.2. Aplicaciones	24
3.2. Parte Práctica	29
3.3. Parte Manejo de Datos	34
3.3.1. Metashape	34
3.3.2. Ortofoto	37
3.3.3. CloudCompare	37
3.3.4. Recmin	38
3.3.5. Promine	40
3.3.6. Civil 3D	41
3.3.7. Qgis	42
Capítulo IV: Cálculo de Volumen con Dron	44
4.1. Parte Teórica	44
4.2. Parte Práctica	44
4.3. Parte Manejo de Datos	44
Capítulo V: Túnel con Promine	45

5.1. Parte Teórica	45
5.2. Parte Práctica	45
5.3. Parte Manejo de Datos	45
Capítulo VI: Cuartos y Pilares con Promine	46
6.1. Parte Teórica	46
6.2. Parte Práctica	46
6.3. Parte Manejo de Datos	46
Capítulo VII: Simulación de Escáner	47
7.1. Parte Teórica	47
7.2. Práctica	47
Capítulo VIII: Conclusión y Recomendaciones	48
8.1. Conclusión	48
8.2. Crecimiento de este trabajo	48
8.3. Nuevo equipo	49
8.4. Modificación a la asignatura	49
Bibliografía	51

Capítulo 1

MARCO CONTEXTUAL

Se planteará el objetivo a perseguir, el cual en grandes rasgos es elaborar un material de calidad que ayude a realizar las prácticas propuestas, se dará una breve descripción de la materia y como se relaciona con dicho material, además se describirá el equipo y el software que se tiene disponible, el cual fue el motivo para crear las nuevas prácticas, por último se abordara el alcance que tiene este trabajo únicamente con la asignatura, sin embargo, dejando la puerta abierta nuevos estudios.

1.1. Objetivo del material didáctico

El objetivo principal de este trabajo es dar las facilidades para que cualquier persona pueda realizar levantamientos topográficos con Promine o a partir de fotogrametría. Un objetivo secundario serían siempre dar la prioridad didáctica, es decir, hacer las indicaciones lo más fácil y entendibles, creando una guía sumamente intuitiva, otro objetivo sería observar las ventajas de siempre estar actualizado en las novedades que se van creando.

1.2. Descripción de la Materia

La clase Métodos de Medición Minero Cartográficos, de acuerdo al [plan de estudios 2016](#) de la carrera de ingeniería de minas y metalurgia, se cursa en quinto semestre con un total de 11 créditos, teniendo 4 horas teóricas y 3 prácticas en la semana, no cuenta con materia obligatoria antecedente, pero sí con seriación consecuente con la clase “Fundamentos para la Explotación de Minas”. El objetivo del curso es: “El alumno conocerá los aspectos teóricos de la topografía general y los equipos y métodos de medición actuales para aplicarlos en el levantamiento de las obras mineras y en la elaboración de planos.”

De acuerdo al temario, este material puede usarse para la enseñanza y/o ejemplificación de diversos temas como lo son: 3.3 Medición de ángulos, rumbos y azimutes, 4.4 Definición y aplicación de una triangulación, 5.4 Cálculo de volúmenes por secciones transversales (cubicaciones), 6.3 Características de las curvas de nivel, 7.2 Representación de terreno por modelos digitales de elevación, 7.3 Cálculo de área y volúmenes por medio de los modelos digitales de elevación, 8.6 Levantamiento de rebajes, 11.4 Coordenadas UTM y 11.5 Coordenadas geográficas y topográficas.

1.3. Equipo Disponible en el departamento de minas y metalurgia

Desde el año 2022 se cuenta con un dron, de la marca DJI, el modelo es Mavic 2 Pro (Figura 1.1), que cuenta con los recursos para realizar fotogrametría.

Algunas características son:

Peso 907 g.

Velocidad máxima 65 km/h aprox.

Dimensiones 322x242x84 mm.

Tamaño de fotografía 5472x3648.

Tiempo de vuelo 25 minutos aprox.

Resolución de vídeo 4K.

GNSS: GPS+GLONASS.

Batería con capacidad 3850 mAh.

El equipo consta del dron, 5 baterías, 3 conjuntos de aspas, control remoto, cargador y aditamentos. Adicionalmente, al realizar este trabajo se donó alargadores para mayor durabilidad y protección del dron, además de una memoria SD para el almacenamiento de las imágenes.

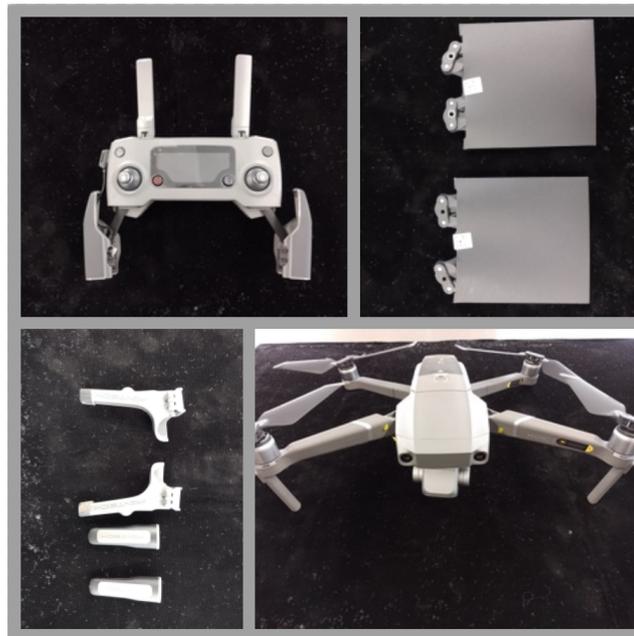


Figura 1.1: Equipo Disponible

Algunos aspectos a resaltar es que la carga de una pila dura aproximadamente 3 horas y el control 2, se debe cuidar los ciclos de las baterías con la finalidad de mantener su vida útil y siempre que el terreno lo permita usar los alargadores. Es de suma importancia pedir permiso o avisar para realizar el vuelo, por las características del equipo no se requiere tramitar un permiso en la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

1.4. Software Disponible por UNAM

Gracias al desarrollo de equipos de cómputo más potentes y al avance de la programación, actualmente hay una gran variedad de software que se puede usar en la topografía. En este trabajo se

decidió utilizar los programas que se tienen disponible a lo largo de la carrera, o en su defecto son de uso libre y de fácil comprensión.

La mayoría del software empleado es de uso libre como Qgis, Recmin, CloudCompare, o que tienen versiones de prueba totalmente gratis como Metashape o versiones para estudiantes por parte de la UNAM como AutoCAD y Civil 3D, en el caso de Promine por un convenio directo con la empresa se tiene el acceso con un previo registro.

En las siguientes secciones se muestra la guía de instalaciones proporcionada a los alumnos que se usan en este material, la cual también se encuentra en una [Carpeta de Drive](#)

1.4.1. AutoCAD

Es un software desarrollado por Autodesk, de acuerdo su página de internet “AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentación, etc.”

Al ser estudiantes de la UNAM se puede obtener el programa sin un pago adicional.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://www.software.unam.mx/) a <https://www.software.unam.mx/>
- ➔ Ir a la página de Autodesk.



Figura 1.2: Pagina Autodesk.

- ➔ Crear una cuenta de estudiante de preferencia con un correo institucional.

- ➔ Acceder a la cuenta.
- ➔ Seleccionar la versión completa no LT.
- ➔ Instalar la versión más reciente de AutoCAD, de acuerdo al sistema operativo.

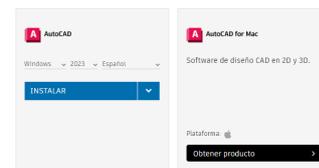


Figura 1.3: AutoCAD.

- ➔ Abrir el ejecutable descargado.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.

1.4.2. Civil 3D

Es un software desarrollado por Autodesk, de acuerdo su página de internet “Civil 3D se utiliza para planificar, diseñar y entregar proyectos de desarrollo de terrenos, agua y transporte.”

Al ser estudiantes de la UNAM se puede obtener el programa sin un pago adicional.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://www.software.unam.mx/) a <https://www.software.unam.mx/>
- ➔ Ir a la página de Autodesk.
- ➔ Acceder a la cuenta.
- ➔ Instalar la versión más reciente de Civil 3D.



Autodesk Autocad

[Ir a la página](#)

Figura 1.4: Pagina Autodesk.



Figura 1.5: Civil 3D.

- ➔ Abrir el ejecutable descargado.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.

1.4.3. CloudCompare

Es un software de código abierto, de acuerdo a su página de internet “CloudCompare es un software de procesamiento de nube de puntos 3D (y malla triangular). Ha sido diseñado originalmente para realizar la comparación entre dos nubes de puntos 3D densas (como las que se obtienen con un escáner láser) o entre una nube de puntos y una malla triangular.”

Al ser de código abierto se puede descargar de forma libre.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://www.danielgm.net/cc/) a <https://www.danielgm.net/cc/>
- ➔ Descargas.
- ➔ Buscar el sistema operativo.
- ➔ Seleccionar la última versión estable de CloudCompare Stereo.
- ➔ Clic en la versión de instalador.
- ➔ Abrir el ejecutable descargado.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.

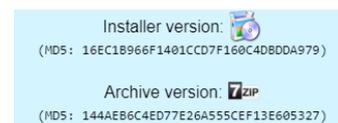


Figura 1.6: Versiones CloudCompare.

1.4.4. Qgis

De acuerdo a su página, “QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.”

Al ser de código abierto se puede descargar de forma libre.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://www.qgis.org/es/site/index.html) a <https://www.qgis.org/es/site/index.html>
- ➔ Descargar ahora.
- ➔ Seleccionar la última versión o cualquier anterior. En este trabajo se usó la 3.10.10
- ➔ Para versiones anteriores ir al [Enlace](https://download.osgeo.org/qgis/) <https://download.osgeo.org/qgis/>
- ➔ Descargar el instalador.
- ➔ Abrir el ejecutable descargado.
- ➔ Buscar el sistema operativo.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.

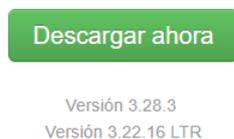


Figura 1.7: Simbolo Descargar.

1.4.5. Metashape

Es un software desarrollado por Agisoft, “es un producto de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones SIG.”

Es un software de paga, sin embargo, tienen una prueba gratuita de 30 días y después se tiene la versión demo, donde no se puede guardar los archivos y se restringen algunas herramientas.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://www.agisoft.com/) a <https://www.agisoft.com/>
- ➔ Descargas.
- ➔ Buscar la versión estable.
- ➔ Descargar la versión profesional de acuerdo al sistema operativo.

This is a previous released version.

Professional Edition

[Windows](#)

[macOS](#)

[Linux](#)

Figura 1.8: Version estable.

- ➔ Abrir el ejecutable.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.
- ➔ Abrir el programa.

- ➔ La primera vez al usar el programa, seleccionar la opción de prueba de 30 días.

Descargar el programa hasta utilizarlo, para evitar días perdidos. También la versión estándar tiene 30 días gratis, la cual funciona en todas las practicas a excepción de Cuartos y Pilares.

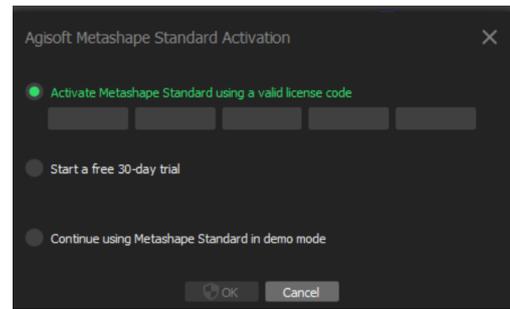


Figura 1.9: Prueba de 30 días.

1.4.6. Promine

Es una extensión de AutoCAD y BricsCAD, de acuerdo a su página de internet, “Promine es un software de minería y topografía desarrollado por Promine inc. Desde el año 1993, Promine proporciona a las empresas mineras herramientas CAD personalizadas centradas en planificación, topografía y geología de la mina.”

Es una aplicación de paga, sin embargo, se puede obtener con un previo registro.

Instalación

La extensión es gratuita y se puede descargar de inter, pero se necesita una licencia, en cada inicio de semestre, por parte del programa SOFTWARE MINERO se hace una relación de los estudiantes que pueden sacar la licencia.

1.4.7. Recmin

Es un software de código libre diseñado y programado por César Castañón Fernández, de acuerdo a su página de internet “RecMin (Recursos Mineros) es un paquete completo de programas, la mayoría freeware, diseñados para gestionar proyectos de Investigación y Explotación de recursos minerales.”

Al ser de código abierto se puede descargar de forma libre.

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://recmin.com/WP/) a <https://recmin.com/WP/>

DESCARGAR

- ➔ Descargas Free.

- ➔ Descarga Recmin.

- ➔ Descargar.

Figura 1.10: Simbolo Descargar.

- ➔ Descomprimir el archivo.

- ➔ Abrir el ejecutable.

- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.

Recmin tiene varios visores, en este trabajo se usó [RM visor 3D](#) y [RecMin Pro Viewer](#), para una descarga más completa se puede seguir el siguiente [Video](#) de Yhonny Ruiz.

1.4.8. Scanect

Es un software de código libre desarrollado por ManCTL, de acuerdo con su página “Con Skanect, capturar un modelo 3D a todo color, de un objeto, persona o habitación nunca ha sido tan fácil y asequible. Skanect transforma su sensor de estructura o sensor de profundidad en un escáner 3D de bajo costo capaz de crear mallas 3D a partir de escenas reales en unos pocos minutos.”

Instalación

- ➔ Seguir el [Enlace](https://skanect.structure.io/) a <https://skanect.structure.io/>
- ➔ Abrir el ejecutable.
- ➔ Empezar.
- ➔ Seguir los pasos hasta finalizar.
- ➔ Elegir versión gratuita.
- ➔ Descargar Kinect SDK.
- ➔ Seleccionar el sistema operativo.
- ➔ Descomprimir el archivo.
- ➔ Ejecutar el archivo descargado.

En la carpeta de [Drive](#) se encuentra archivos relacionados con la instalación, como la versión 1.8 del Kinect SDK por si no funciona la última versión.

1.5. Alcance

Este material didáctico fue creado para establecer nuevas prácticas para la asignatura, debido a que no es un análisis académico profundo, se deja abierta la posibilidad de futuros trabajos de investigación.

Aunque la fotogrametría tiene muchos campos de aplicación y sigue en desarrollo, este escrito se centrará en la parte de topografía relacionada con el sector extractivo, dentro de la facultad ya se tiene material e investigaciones para el campo de geología, el cual se encuentra en la página [Drones.UNAM](#)

También se explicará de forma muy superficial, dentro de las clases teóricas, otros usos de nubes de puntos o modelados en el sector minero-metalúrgico, con la finalidad de entender y observar los alcances que tiene las nuevas tecnologías.

Capítulo 2

MODO DE TRABAJO

Se mostrarán los 3 ejes creados para implementar el material, la sección teórica para conocer los conceptos básicos, la sección práctica para aplicarlo en campo, en donde se diseñaron dos opciones en video o en celular, la última sección es el manejo de los datos previamente adquiridos donde de igual forma se tienen dos opciones en video o en escrito. En este capítulo también se implementó un apartado donde se explica la distribución y/o enseñanza de este material por medio de un programa creado llamado SOFTWARE MINERO, por último se hace una propuesta docente con la finalidad de concordar los tiempos con la asignatura de MMMC.

2.1. Parte Teórica por medio de Presentación

Para dar una perspectiva general de la práctica que se llevará a cabo y mostrar la parte teórica, se creó la presentación “Obras Subterráneas en Minería” para las prácticas de túnel y simulación de escáner, “Fotogrametría en Minería” para Configuración de Terreno y Cálculo de Volumen, por último se elaboró Cuartos y Pilares para la práctica del mismo nombre.

Todas las presentaciones se encuentran en la carpeta de cada tema, la carpeta general se encuentra en el siguiente [Enlace](https://drive.google.com/drive/folders/13b52Eqx8zw9Z38GjbUWJoNQ5YBvHq3Vh?usp=sharing) o copiando el vínculo *https://drive.google.com/drive/folders/13b52Eqx8zw9Z38GjbUWJoNQ5YBvHq3Vh?usp=sharing*



Figura 2.1: Carpeta General (Creación propia Drive, 2023)

Se tienen el PDF de la presentación en cada carpeta de las prácticas, además se tienen el link de Canva de dichas presentaciones, con la finalidad de que la presentación sea didáctica y visual, en la Figura 2.2 se muestra el estilo que se usó.

Todos los documentos presentan el mismo formato: introducción del tema, aplicaciones y práctica preparada. En las referencias se encuentran los artículos en donde los alumnos pueden investigar de manera más profunda alguna aplicación de su interés.

2.2. Parte Práctica por medio de Video

Se diseñó un canal en la plataforma YouTube, donde se encuentran disponibles los videos que muestran el procedimiento de la práctica, en el mencionado canal se tiene una [Lista de Reproducción](#) de las prácticas.

A continuación se muestra el nombre y enlace de cada video de prácticas.

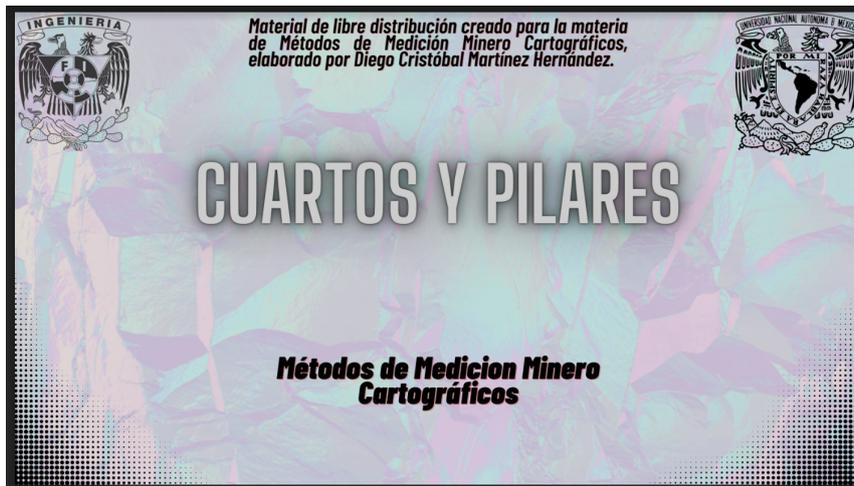


Figura 2.2: Estilo de Presentación (Creación propia Canva, 2023)

1. Práctica Túnel con Promine, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/5QhrQEfAYQ>
2. Práctica Cuartos y Pilares con Promine, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/GyrGY4-FHSc>
3. Práctica Configuración de Terreno con Dron, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/gffVcDiAa8>
4. Práctica Cálculo de Volumen con Dron, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/UYPCCC1JsvU>
5. Práctica Simulación de Escáner, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/vmjUOGpHOxo>

La descripción de los videos sigue el siguiente formato:

Lugar donde se realizó la actividad, en las prácticas con dron se pone un aviso de pedir permiso para el vuelo.

Link de la carpeta general de prácticas.

El video del tratamiento de los datos de la práctica mostrada.

Contenido del video, para facilitar la parte de interés.

2.3. Parte Práctica por medio de celular

Debido a que las prácticas se realizan afuera de las instalaciones y a veces el consumo de datos de YouTube es grande, se decidió crear un escrito paso a paso, que no necesita internet y de pequeño tamaño, que se pueda leer en celular.

Toda la información que se muestra en el video está descrita en el documento, aparte se pensó en celular, por lo que la letra es más grande y se incorporó botones de navegación, los únicos requisitos son abrirlo en Adobe con el modo de vista de página a página.

La función principal de los botones es moverte a la parte que se tiene duda o no se recuerda el siguiente paso, funcionan como un índice, se da clic y te manda a esa parte, por ejemplo si se da clic en 2.1 te dirige a esa sección.

En las carpetas individuales de las prácticas se tiene los archivos de la introducción y la guía escrita. La única carpeta diferente es la de simulación de escáner, la cual tiene archivos extras que pueden ser de utilidad para los alumnos.



Figura 2.3: Carpeta individual (Creación propia Drive, 2023)

2.4. Parte de Manejo de Datos por medio de Video

En el mismo canal se tiene una [Lista de Reproducción](#) donde se muestra el uso de software para procesar los datos adquiridos en las prácticas.

A continuación se muestra el nombre y enlace de cada video de software.

1. Práctica Túnel con Promine-Software, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/vien5NanQxk>
2. Práctica Cuartos y Pilares con Promine-Software, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/EjYmnfNIIxw>
3. Práctica Configuración de Terreno con Dron-Software I, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/r0fb4Z-JoJI>
4. Práctica Configuración de Terreno con Dron-Software II, MMMC [Video.](#)
<https://youtu.be/u1DUXeLseqc>
5. Práctica Cálculo de Volumen con Dron-Software, MMMC. [Video.](#)
<https://youtu.be/PIfcGlkB1l0>

La descripción de los videos sigue el siguiente formato:

Link de la carpeta general de prácticas.

En las prácticas que usan fotogrametría, se añade la carpeta donde se tiene fotografías para practicar.

El video de la parte practica

Contenido del video, para facilitar la parte de interés.

2.5. Parte de Manejo de Datos por medio de Escrito

En caso de que el alumno se acomode mejor siguiendo un escrito que un video, se diseñó un PDF con instrucciones para realizar el software de todas las practicas, se realizó en columnas para poder seguir las instrucciones sin ocupar toda la pantalla.

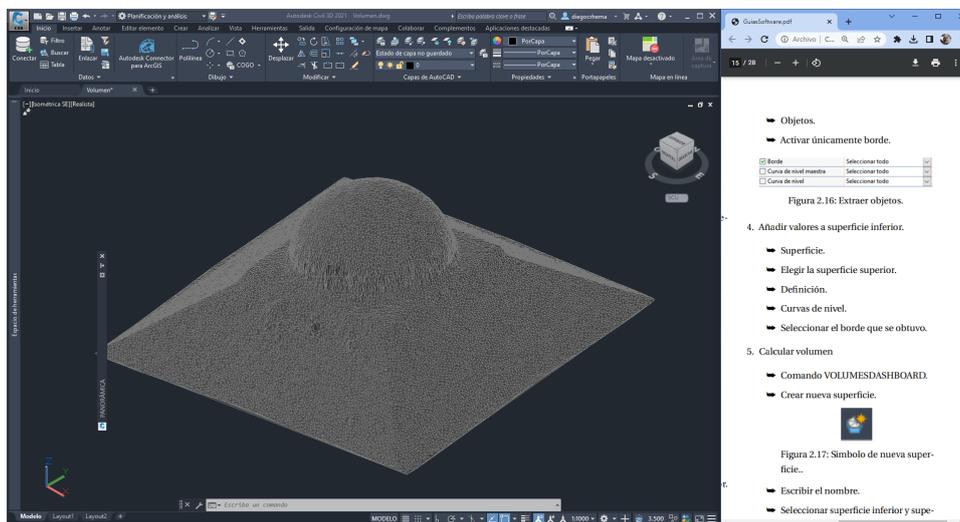


Figura 2.4: Estilo de guía (Creación propia Civil 3D, 2023)

El archivo se encuentra en la [Carpeta General](#), donde también se añade la información para las descargas de todos los programas usados.

2.6. Apoyo con SOFTWARE MINERO

El programa de SOFTWARE MINERO se encarga dentro de la carrera de dar talleres de diferentes software de nuestra carrera y gestiona las licencias de Promine. En el caso de la materia de Métodos de Medición, hasta este momento no se hace uso de Promine, por lo que dentro del taller se difundirá la mayoría del contenido de este trabajo.

La idea principal es enseñar a usar el software dentro del taller, para cuando se tenga la oportunidad de tomar los datos en campo, el procesamiento ya sea realizado por el propio alumno, siempre teniendo disponible los materiales creados en este trabajo.

2.7. Propuesta Docente para planeación.

En total son cinco prácticas, dos de fotogrametría, dos de Promine y una simulación, debido a la falta de tiempo durante el semestre, se propone que la parte de fotogrametría sean dentro de las clases teóricas.

Los levantamientos no sobrepasan los 15 minutos además como son locaciones en Ciudad Universitaria el tiempo de trayecto no es muy alto, por lo que con media clase (1 hora) bastaría para realizar la práctica y regresar a tomar clase.

Estas prácticas deberían ser después de la mitad del semestre, para dar tiempo a que Software Minero realice las actividades previas de la explicación y uso del software.

Para la práctica de túnel se ocuparía el mismo día de la práctica ya programada, es decir sería un complemento para observar la diferencia entre levantamientos, aparte que en Promine se requieren menos puntos y, por lo tanto, menos tiempo de elaboración, por lo que en el tiempo de la clase práctica es suficiente.

La práctica de Cuartos y pilares por el tiempo y complejidad, necesita una clase completa (3 horas) la cual quedaría establecida como la doceava práctica en el semestre o en dado caso que no alcance el tiempo podría tratarse del proyecto final, en caso de que se tenga contemplado como parte de la calificación.

La simulación de escáner, por su naturaleza necesita ser elaborada en un salón de clase, aparte de que el tiempo de levantamiento es menor a 10 minutos, de esta forma es ideal darla en clases teóricas.

Capítulo 3

CONFIGURACIÓN DE TERRENO CON DRON

En esta práctica se creará, a partir de fotografías tomadas por dron, la configuración del terreno digital. Por única ocasión de manera demostrativa se mostrará la presentación teórica, una ejemplificación de la parte práctica en celular y la guía escrita para el tratamiento de los datos.

Los objetivos de la práctica son:

1. Armar y usar de manera correcta el equipo (Dron).
2. Crear un plan de vuelo para la toma de fotografías con dron.
3. Generar una nube de puntos y su tratamiento.
4. Generar las curvas de nivel en diferentes software.

3.1. Parte teórica por medio de Presentación

En el siguiente [Enlace](#) se encuentra la parte teórica en versión presentación de la práctica “Configuración de Terreno con Dron”.

Para fines demostrativos, todo el contenido de la presentación se mostrará a continuación, haciendo ligeros cambios para concordar a la estructura de este escrito formal.

Fotogrametría en minería

3.1.1. Descripción

Introducción:

La fotogrametría es una técnica de medición de coordenadas en 3D, a partir de fotografías u otro sistema de percepción remota. Figura 3.1

Las aeronaves piloteadas a distancias (RPAS), comúnmente conocidas como Dron por sus características como: calidad de la cámara, el GNSS (sistema global de posicionamiento) y la forma de vuelo, los hacen ideales para la fotogrametría.

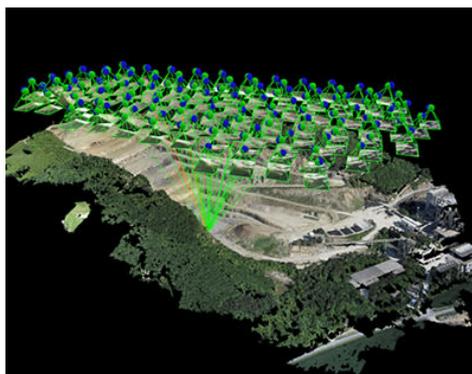


Figura 3.1: fotogrametría en minería (Pix4D, 2023)

Funcionamiento:

El dron cuenta con coordenadas planas en cada fotografía. A su vez, la fotografía están conformadas de píxeles, los cuales tiene información de color RGB, fáciles de identificar.

Cuando una zona coincide en dos o más fotos (Figura 3.2), a través de modelos matemáticos se puede obtener las 3 coordenadas.

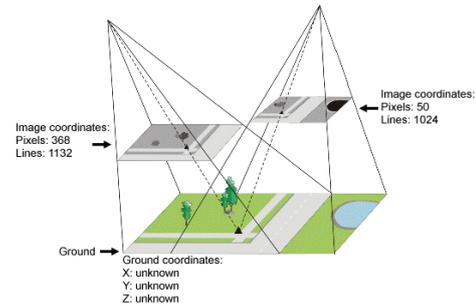


Figura 3.2: Puntos de amarre (Geomatics Enterprises, 2022)

Para lograr puntos de amarre, se debe tener un empalme entre cada fotografía (Figura 3.3) de 70% mínimo.

Otro factor que influye es la altura, a mayor altura se pierde definición (Figura 3.3), el GSD nos ayuda a calcular nuestra calidad. Figura 3.4

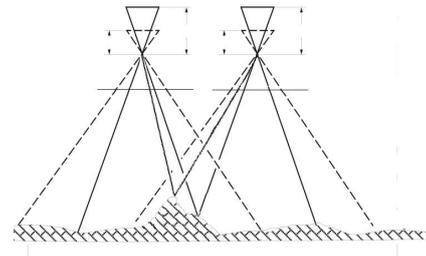


Figura 3.3: Emplame (Geo Innova, 2016)



Figura 3.4: GSD (Pix4D, 2023)

El Ground Sample Distance, nos indica el área real que abarca un píxel en el levantamiento. Figura 3.5

Una forma de calcularlo es con la distancia focal [F], el tamaño de píxel [P] y la altura de vuelo.

Algunas aplicaciones ya lo calcula al momento de realizar el plan de vuelo.

$$GSD \left[\frac{cm}{px} \right] = H [cm] \cdot \frac{P [cm]}{F [cm]}$$

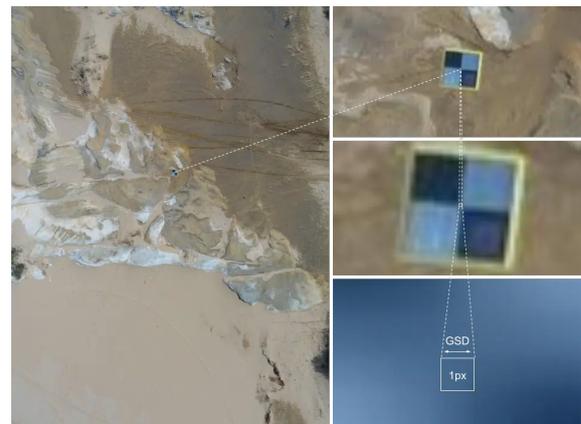


Figura 3.5: Descripción de GSD (Propeller, 2023)

Puntos de Control:

Los drones cuentan con GNSS, pero no son tan exactos, por lo que se usan puntos de control (Figura 3.6) con GNSS topográficos o estación total, los cuales alcanzan precisión de milímetros.

Se tienen que tomar la medición en puntos que estén identificados visualmente, ya sea con un sistema local o uno geográfico, generalmente como los drones trabajan con geográfico se usan GPS.



Figura 3.6: Punto de control (Mapa Media, 2023)

Tipos de Dron:

Los drones se pueden clasificar por:

Estructura: ala fija o rotatoria.

Número de motores: Tricópteros, Cuadricópteros etc.

Uso: Militar, servicios o civil.

Peso: Micro <2 kg, pequeño 2-25 kg, Grande >25.

Entre otros.

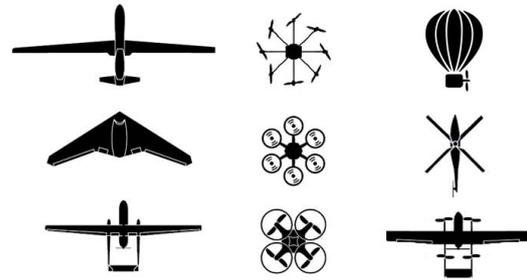


Figura 3.7: Variedad de drones (HispaDrones, 2019)

México tiene la NOM-107-SCT3-2019, Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano.

Equipo:

El equipo que se tiene es el dron Mavic 2 Pro, de la empresa DJI.

Características:

Peso 907 g

Dimensiones 322x242x84 mm

Tiempo de vuelo de 25 min aprox.

GNSS: GPS+GLONASS

Velocidad max 65 km/h aprox.



Figura 3.8: Mavic 2 Pro (Creación propia, 2023)

Fotogrametría en Minería Subterránea:

Se puede realizar fotogrametría dentro de obras subterráneas (Figura 3.9), sin embargo, se debe tener una luz constante.

Las sombras o variaciones en la luz podría ocasionar que no se reconozca el mismo punto en diferentes fotografías.



Figure 1. Typical field setup of the photogrammetry system for underground surveys.

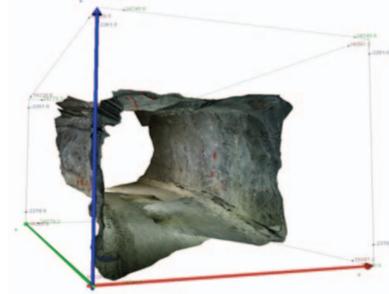


Figure 2. Photogrammetric reconstruction of underground mine workings.

Figura 3.9: Fotogrametría en minería subterránea (Benton et al, 2014)

Fotogrametría y Lidar:

Los equipos Lidar (Light Detection and Ranging) utilizan láseres ópticos para obtener mediciones, similar a una estación total, pero con muchas más mediciones.

Ambos dan resultados muy similares (Figura 3.10), la diferencia radica en sus limitaciones.



Figure 9. Merged laser scan (L) + photogrammetry (R).

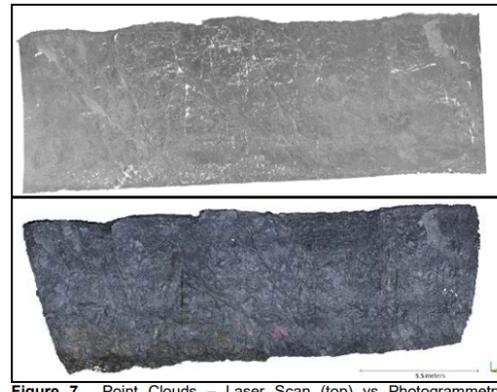


Figure 7. Point Clouds – Laser Scan (top) vs Photogrammetry (bottom) from CloudCompare.

Figura 3.10: Comparación entre Lidar y Fotogrametría (Bishop et al, 2019)

La fotogrametría es más barata, pero mide solo objetos visibles en primer plano.

El Lidar puede llegar a tomar puntos detrás de vegetación u orificios pequeños, pero es más caro.

Ambas técnicas se pueden usar a la misma vez para mejores resultados. Figura 3.11



Figura 3.11: Dron Lidar y Camara (Flyability, 2023)

3.1.2. Aplicaciones

Levantamiento de caminos

La gran cantidad de datos, además de la precisión, ayuda a medir las pendientes de manera milimétrica. Figura 3.12

Los vuelos abarcan toda el área donde se encuentran los caminos.

Ayudan a la planeación y mantenimiento.

Levantamiento en minutos, evitando detener el acarreo.

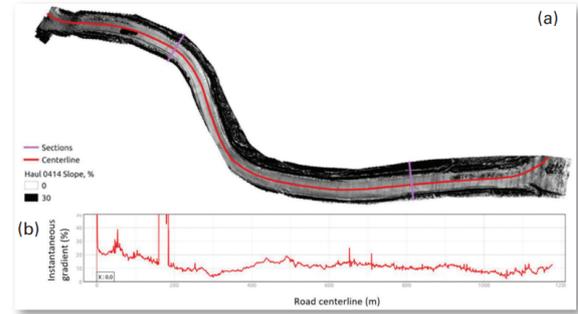


Fig. 1 (a) A slope model of the road and (b) the instantaneous gradient graph along the centerline.

Figura 3.12: Camino de Acarrero (Medinac et al, 2021)

Medición de hundimiento

En los métodos de explotación subterráneos por hundimiento, se puede medir la subsidencia en la superficie (Figura 3.13), de esta manera se verifica que este dentro de los parámetros o en el caso contrario, se pueden tomar diferentes medidas preventivas.

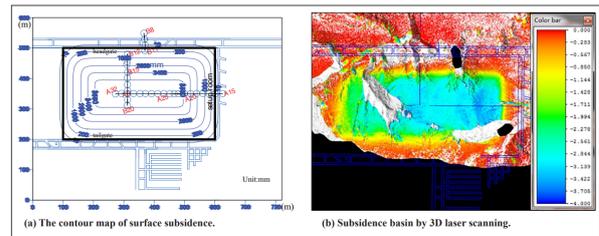


Figure 5. Comparison of subsidence basin by prediction and 3D laser scanning.

Figura 3.13: Medición de subsidencia (Pen & Xu, 2018)

Levantamiento de minas cielo abierto

Se pueden levantar tajos enteros (Figura 3.14) para corroborar la planeación de la operación. Al no haber árboles y estar totalmente despejado, los resultados son efectivos.



Figura 3.14: Mina Cielo Abierto, (Pix4D, 2023)

Levantamiento de bancos en minas cielo abierto

Se puede levantar bancos de producción (Figura 3.15), para calcular el volumen después de la voladura.

Se puede medir factores geométricos de los taludes como: altura, ancho, echado y posibles inestabilidades.

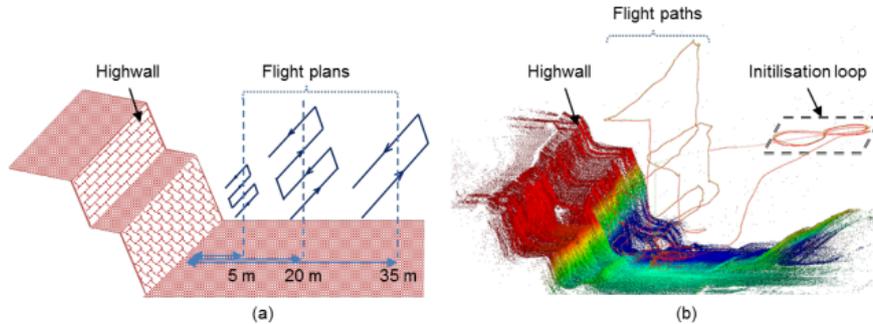


FIG 2 – (a) Schematic diagram showing the UAV-LiDAR flight plans at variable distances from the highwall and (b) actual flight lines followed by the UAV-LiDAR with the point coloured highwall in background.

Figura 3.15: Fotogrametría en banco (Raval et al, 2018)

Levantamiento de taludes

Al digitalizar los taludes (Figura 3.16) se pueden realizar estudios de desprendimientos de rocas. Se puede hacer una predicción de material que se desbordará, después de una voladura en bancos superiores.

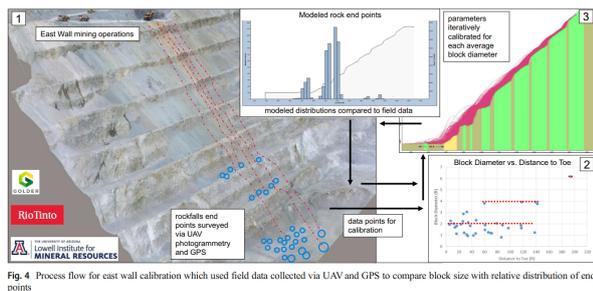


Fig. 4 Process flow for east wall calibration which used field data collected via UAV and GPS to compare block size with relative distribution of end points

Figura 3.16: Caídos en Talud 3D (Williams et al, 2019)

Figure 10
Rockfall simulation trajectories of LiDAR-based cross section (Kemeny et al., 2015).

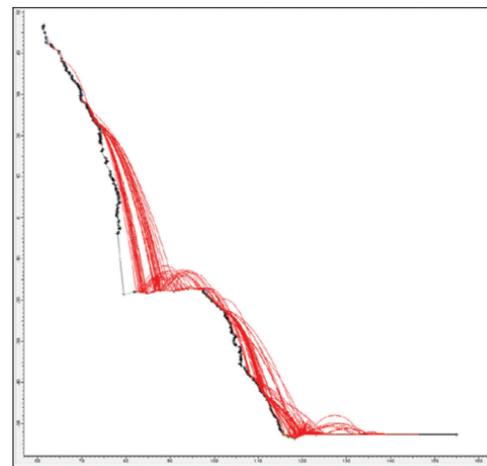


Figura 3.17: Caídos en Talud 3D (Williams et al, 2019)

Detección de elementos estructurales.

A partir de las nubes de puntos o de mallas se pueden calcular elementos estructurales (Figura 3.18), como fracturas, desplazamientos, echados, rumbos.

Por la cantidad de datos y algoritmos modernos, arroja resultados comparables a los realizados en campo.

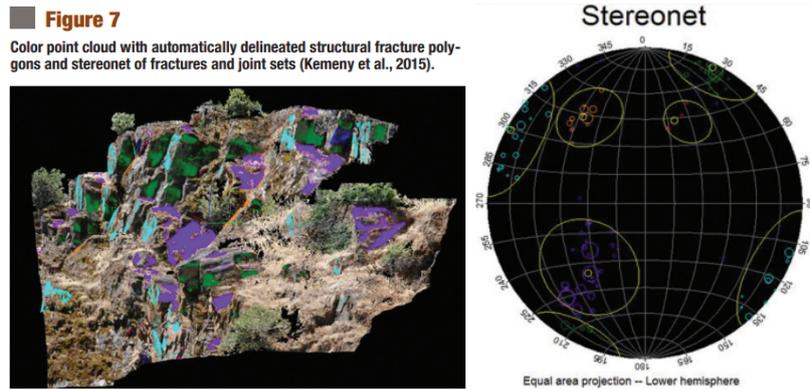


Figura 3.18: Análisis estructural (Lyons & Kemeny, 2016)

Voladura a cielo abierto

Al tener secciones y modelos más realistas, facilita el uso de software especializado en voladura. Mejora los cálculos para bordo, espaciamento y explosivos. Figura 3.19 y 3.20

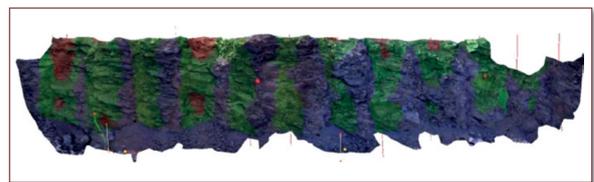


Figura 2. Visualización de la codificación por colores del burden sobre toda la superficie

Figura 3.19: Calculo de bordo (Munaretti et al, 2013)



Figure No. 3 – Top profile generated from UAV/SUAS data. Bottom profile from Laser data

Figura 3.20: Sección y cálculo de bordo (Wiegand & Valentim, 2016)

Levantamiento de zonas inaccesibles

En espacios abiertos y de difícil acceso, las cámaras en drones pueden hacer levantamientos fotogramétricos (Figura 3.21), sin importar la altura o dificultad.

Se pueden abarcar grandes zonas en un solo vuelo y a gran detalle.

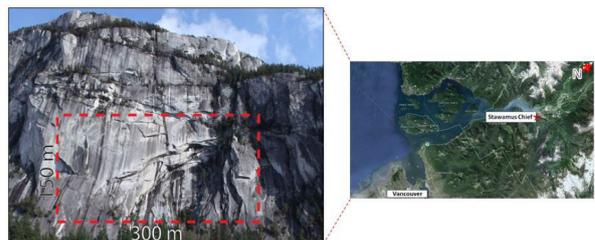


Figure 1. Location of the Stawamus Chief at Squamish, BC (right). Dashed line encloses region where LiDAR scans were performed (left).

Figura 3.21: Vuelo sobre Acantilado (Vivas et al, 2015)

Monitoreo en minas subterráneas

Bajo ciertos parámetros de luz y la calibración correspondiente (Figura 3.22), la fotogrametría puede observar cambios con una precisión de milímetros, incluso decenas de milímetros.

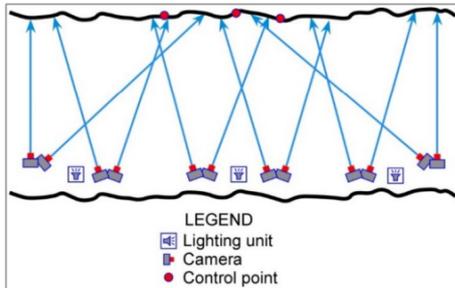


Figure 5. Plan view of Greens Creek Mine photogrammetry survey, showing camera positions, lights, and control points. Tunnel width for both survey sites was typically about 15 feet.

Figura 3.22: Configuración para toma de datos (Chambers et al, 2017)

Con los puntos de control y diversas cámaras, se pueden medir movimientos o deformaciones.

Figura 3.23

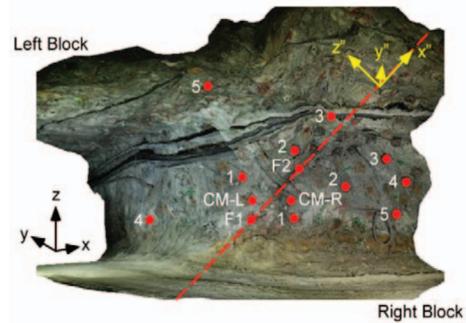


Figure 12. Illustration of measuring points (red dots), global axis system (lower-left in black), local axis system (upper-right in yellow) and left and right fault blocks at the 5600 Sublevel site. The thrust, slip, and convergence vectors of the fault are represented by x' , y' , and z' , respectively.

Figura 3.23: Medición de desplazamientos (Benton et al, 2015)

Levantamiento de terreros

Se realiza una configuración de terreno de manera rápida, con una precisión de milímetros. Se pueden detectar zonas inestables propensas a deslaves. Figura 3.25

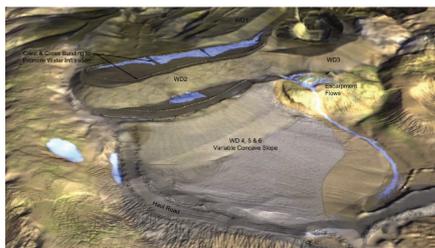


Figura 3.24: Modelización de terreros (Kemp1 et al, 2017)



Figura 3.25: Posibles inestabilidades (Lyons & Kemeny, 2016)

Seguimiento de vegetación

La fotogrametría tiene muchas aplicaciones en agricultura (Figura 3.26), en minería se aprovecha después del cierre de mina.

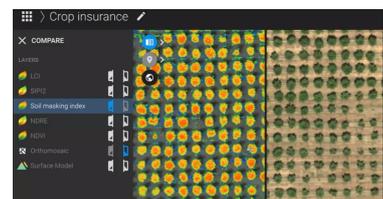


Figura 3.26: Fotogrametría y Agricultura, (Pix4D, 2023)

Hay sensores que miden la humedad, densidad y desarrollo de la vegetación. Figura 3.27 Útil para ver la adaptación a su entorno.



FIG 1 – Vegetation model simulation sequence showing a catchment at three points in time (left to right). Green = grasses; red = trees; white = immature vegetation; brown = no growth (Coulthard, 2015).

Figura 3.27: Simulación de Vegetación (Boyden et al, 2016)

Levantamientos para cierre de minas

Uno de los objetivos del cierre, es regresar el terreno al estado natural lo más posible. Con levantamientos de gran alcance y precisión (Figura 3.28), se pueden evaluar más parámetros y de mejor calidad, dando resultados favorecedores.

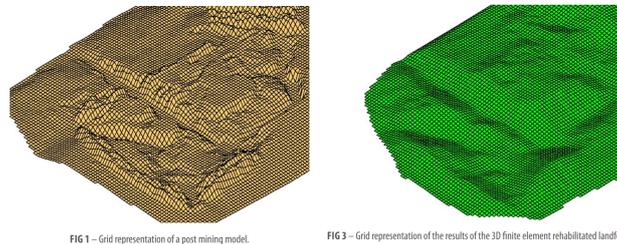


FIG 1 – Grid representation of a post mining model.

FIG 3 – Grid representation of the results of the 3D finite element rehabilitated landform.

Figura 3.28: Modelización de cierre de mina (Leidich et al, 2014)

Levantamiento de pilas de lixiviación

Monitoreo de la evolución en pilas de lixiviación estáticas.

Fácil cálculo del volumen que ocupa la pila.

Los nuevos sensores de los drones permiten medir la temperatura o la humedad, facilitando el estudio del comportamiento del ácido o PLS. Figura 3.29

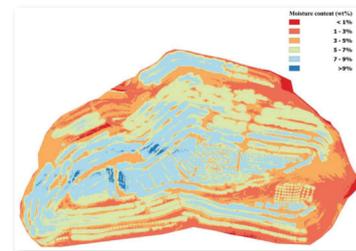


Fig. 2 A generated surface moisture map of the heap leach pad using an orthomosaic and the linear regression model.

Figura 3.29: Temperatura en Pila de Lixiviación (Mingliang & Kamran, 2021)

Gestión de stockpiles

Los stockpiles están en cambio constante, la fotogrametría ofrece un levantamiento preciso y rápido. Figura 3.30

De un solo vuelo se pueden calcular varios stockpiles y sin interrumpir otras operaciones.



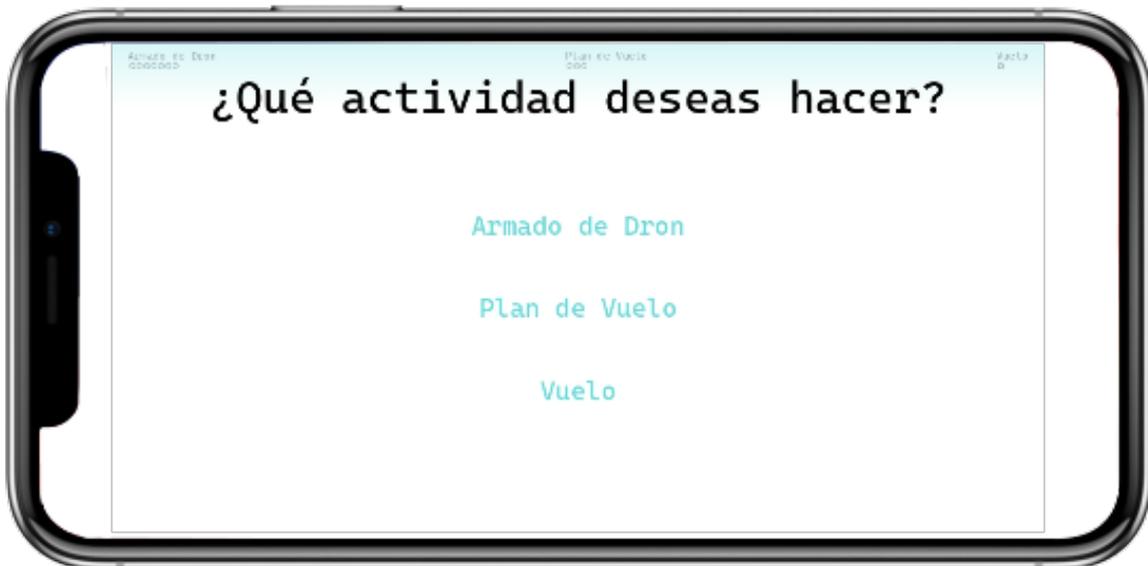
Figura 3.30: Stockpiles (EGSciences, 2023)

3.2. Parte Práctica

Clic en el siguiente [Enlace](#) para ver el video de la práctica “Configuración de Terreno con Dron”.

Dirección URL: https://youtu.be/_gffVcDiAa8

A continuación se muestra un esquema de como se observaría el escrito de la parte práctica en celular, este recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#). Recordando que solo se necesita el lector de Adobe sin necesidad de internet.



Alarma en Descarga Plan de Vuelo

Inicio Test **Siguiente Plan de Vuelo**

- Para la práctica "Configuración de Terreno con Dron", se escogió el terreno de la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, ubicada en CU.
- Es importante pedir la autorización a los directivos para realizar el vuelo con el dron.
- Dentro de las instalaciones buscar una zona libre de obstáculos como árboles o edificios



Alarma en Descarga Plan de Vuelo

Inicio Test **Siguiente Plan de Vuelo**

- En la parte inferior del dron se encuentra el compartimiento para la memoria.
- Levantar la protección de goma e introducir la memoria.



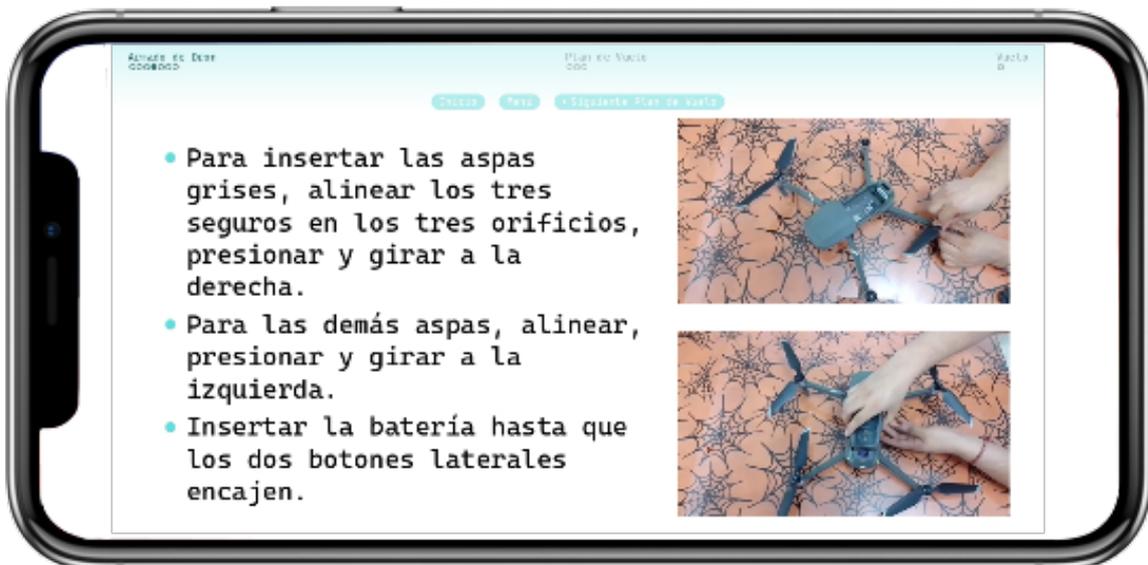

Alarma en Descarga Plan de Vuelo

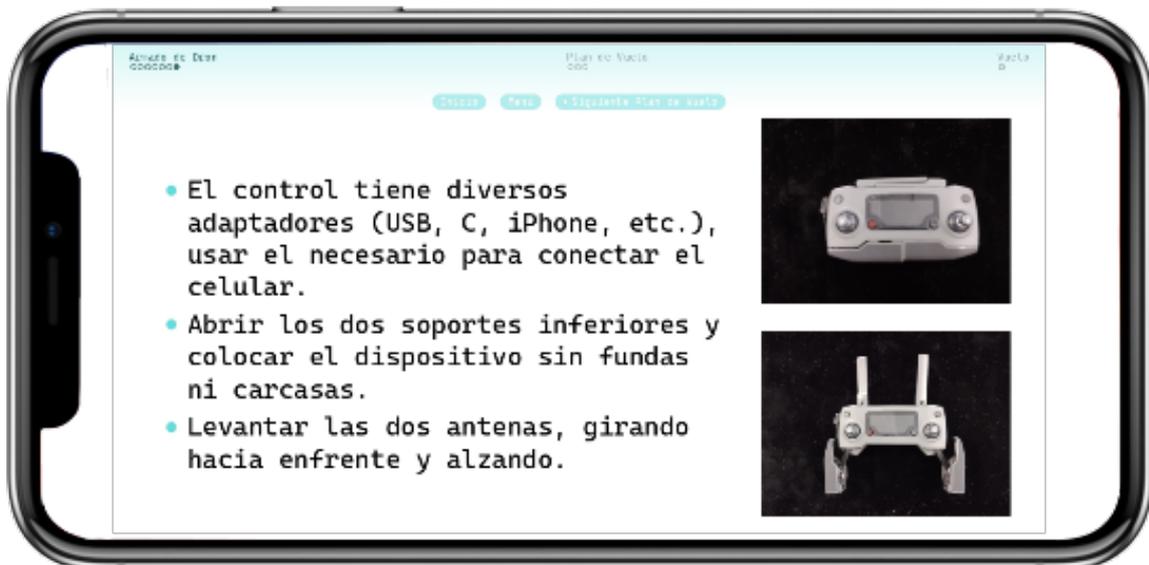
Inicio Test **Siguiente Plan de Vuelo**

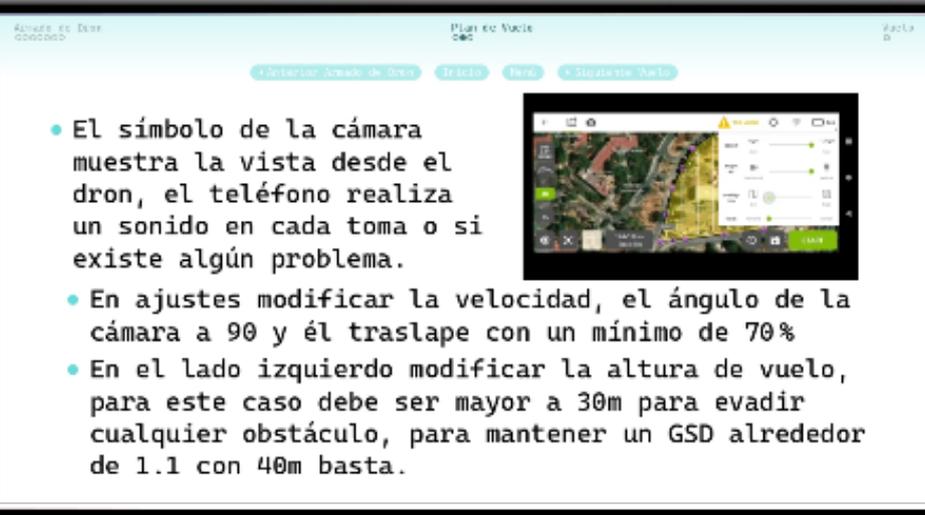
- Mover las hélices delanteras de forma lateral.
- Girar las hélices traseras hacia abajo hasta llegar a la parte de atrás.







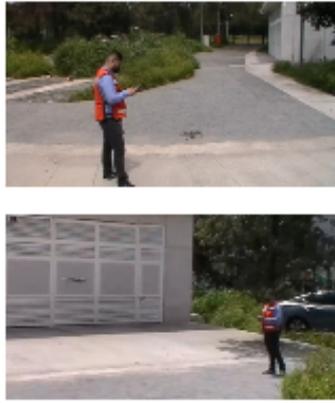




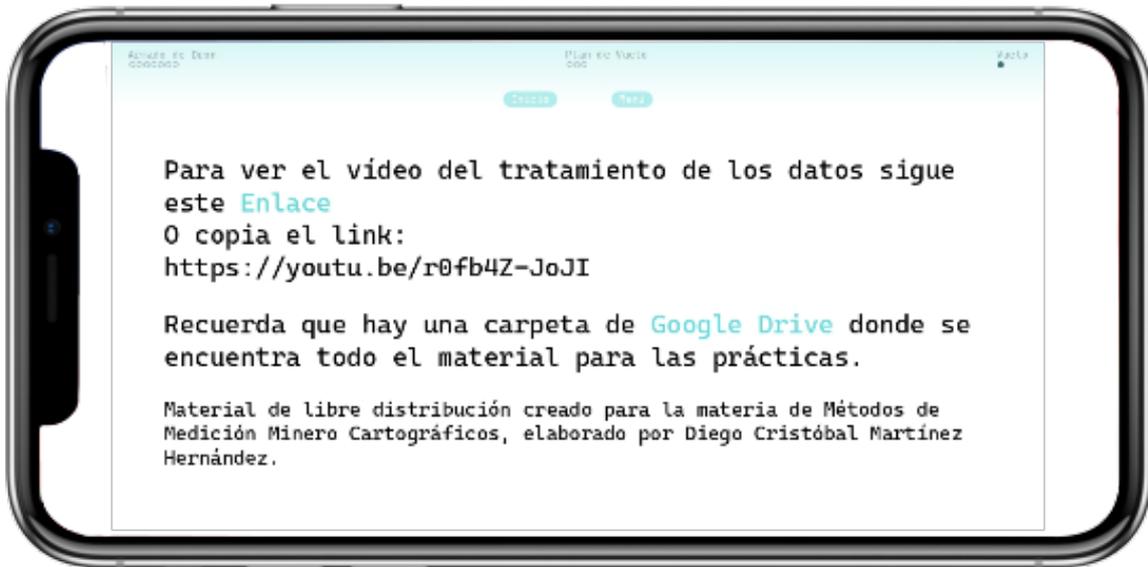
- El símbolo de la cámara muestra la vista desde el dron, el teléfono realiza un sonido en cada toma o si existe algún problema.
- En ajustes modificar la velocidad, el ángulo de la cámara a 90 y el traslape con un mínimo de 70%
- En el lado izquierdo modificar la altura de vuelo, para este caso debe ser mayor a 30m para evadir cualquier obstáculo, para mantener un GSD alrededor de 1.1 con 40m basta.



- Encender el control y después el dron, con un toque corto y uno largo.
- Abrir Ctrl+DJI y conectar, después abrir Pix4D verificando nuestra configuración y oprimir Start.
- Si todo está correcto, oprimir el botón por 3 segundos para comenzar el vuelo.



- Al completar el plan de vuelo, el dron automáticamente ascenderá a la altura establecida y empezará el recorrido.
- Al finalizar el dron regresará al punto donde despegó, aterrizando de manera automática, se sugiere tener el control a la mano por si se requiere un aterrizaje manual.



3.3. Parte Manejo de Datos

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video del tratamiento de datos en la práctica “Configuración de Terreno con Dron”.

Dirección URL: <https://youtu.be/r0fb4Z-JoJI> Por la duración del video se dividió en dos partes, el siguiente [Enlace](#) muestra la segunda parte. Dirección URL: <https://youtu.be/u1DUXeLseqc>

Para fines demostrativos, todo el contenido de la guía escrita se mostrará a continuación, haciendo ligeros cambios para concordar a la estructura de este escrito formal.

3.3.1. Metashape

1. Cambiar idioma.

- Tools.
- Preferences.
- General, seleccionar idioma.
- Aplicar.
- OK.

➤ OK.



Figura 3.31: Recursos Activados.

Se recomienda tener únicamente la ventana de Metashape.

2. Recursos para Metashape.

- Herramientas.
- Preferencias.
- GPU, activar todos los recursos.

3. Añadir fotos.

- Flujo de trabajo.
- Añadir fotos.
- Seleccionar todas las fotos.

➤ Abrir.

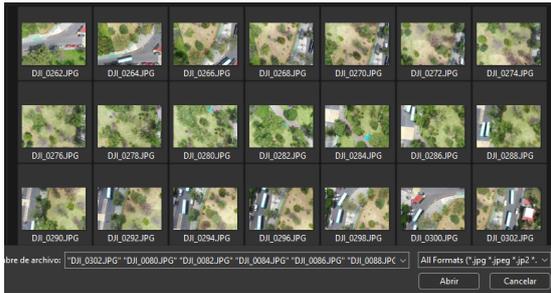


Figura 3.32: Fotografías Cargadas en Metashape.

4. Verificar calibración de cámara.

- Herramientas.
- Calibración de cámara.
- Verificar tamaño de pixel y distancia focal.

5. Alinear fotos.

- Flujo de trabajo.
- Orientar fotos.
- De acuerdo al número de fotografías y al equipo de cómputo, elegir la precisión. Para fines académicos puede ser de baja a media.

Las demás opciones mantener por default.

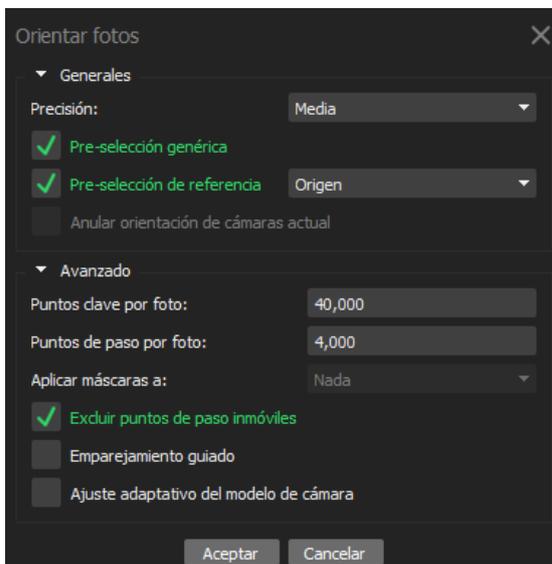


Figura 3.33: Configuración Orientar fotos.

6. Construir nube densa de puntos.

- Flujo de trabajo.
- Crear nube de puntos densa.
- Nuevamente, seleccionar calidad baja o media y una profundidad moderada.

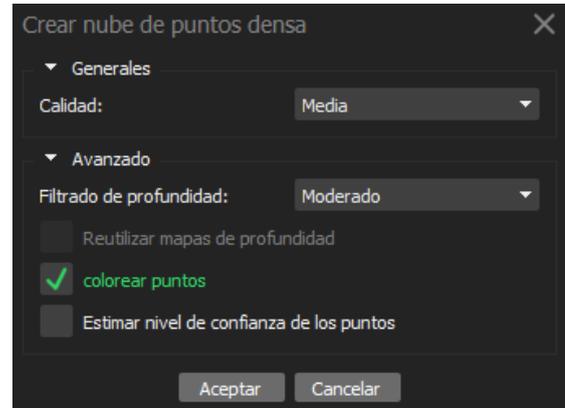


Figura 3.34: Configuración Nube densa.

7. Cambiar de vista.

- En la parte central superior se encuentran las opciones de vistas.
- De izquierda a derecha, nube dispersa, nube densa, triangulación, teselas, MDE y ortofo.



Figura 3.35: Vistas.

8. Limpiar nube densa.

- Clic izquierdo para girar el modelo, clic izquierdo para mover vista.
- Con la opción de selección, sombrear los puntos a eliminar.



Figura 3.36: Navegación y Selección.

- Oprimir tecla Supr.
- Regresar a navegación, Figura.

- Repetir el proceso hasta eliminar todos los puntos debajo de la topografía.

9. Construir triangulación.

- Flujo de trabajo.
- Crear malla.
- Seleccionar el número de caras, las demás opciones por default.

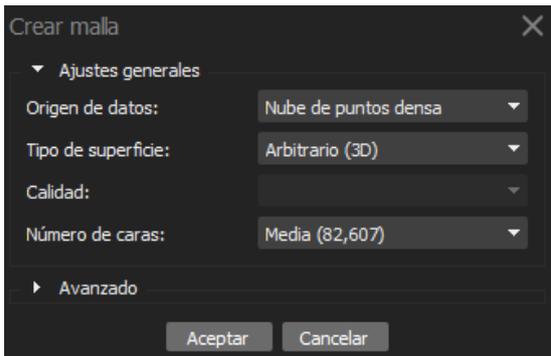


Figura 3.37: Configuración Malla.

10. Guardar proyecto de Metashape.

- Archivo.
- Guardar.
- Escribir el nombre.

11. Crear ortofoto.

- Flujo de trabajo.
- Crear ortomosaico.
- Seleccionar proyección geográfica, en este caso EPSG 4326 de WGS 84. Las demás opciones por default.

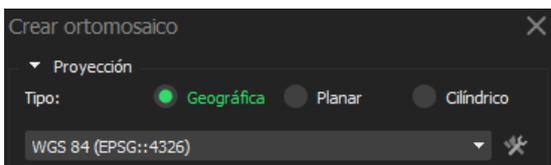


Figura 3.38: Proyección Geográfica.

12. Guardar nube de puntos.

- Archivo.
- Exportar.
- Exportar puntos.
- Escribir nombre y seleccionar extensión del archivo.
- Para fines académicos, elegir coordenadas locales.



Figura 3.39: Coordenadas Locales.

13. Guardar ortofoto simple.

- Archivo.
- Exportar.
- Exportar ortomosaico.
- Exportar imagen.
- Mantener proyección geográfica
- Escribir nombre.

14. Guardar ortofoto para Google Earth.

- Archivo.
- Exportar.
- Exportar ortomosaico.
- Exportar KMZ.
- Mantener proyección geográfica
- Escribir nombre.

Aunque para esta práctica no se usaran, se puede exportar el modelo 3D, además de crear el modelo digital de elevación y las teselas, siguiendo el flujo de trabajo.

3.3.2. Ortofoto

1. Observar ortofoto en Google Earth

- Ubicar el archivo KMZ.
- Abrir con Google Earth.
El levantamiento del video (Página 34) no tiene puntos de control, sin embargo, por el GNSS del dron se encuentra en la zona del vuelo.

2. Observar ortofoto por lector de imágenes

- Ubicar el archivo TIF/PNG/...
- Abrir con cualquier visor de imágenes instalado.
Se puede hacer Zoom para observar la calidad de la imagen.

Las ortofotos pueden llegar a deformarse si la calidad de nuestra nube de puntos y el mallado es muy baja.

3.3.3. CloudCompare

1. Abrir archivo de puntos.

- File.
- Open.
- Seleccionar archivo de puntos.
- Apply all

2. Limpieza de nube.

- Clic sobre el nombre de nuestro archivo.

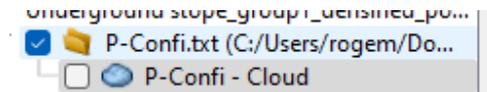


Figura 3.40: Selección de Nube.

- Ventana de Pluggins
- CSF Filter
- Seleccionar el tipo de relieve.
- En parámetros avanzados, modificar Cloth Resolution.
Cambiar las variables con el fin de eliminar todos los árboles pero evitando perder demasiados datos.

3. Duplicar nube.

- Clic sobre el nombre de la nube a duplicar.
- Clone.



Figura 3.41: Símbolo Duplicar.

- Cambiar el nombre, con doble clic, a la nueva nube.

4. Crear raster.

- Clic sobre la nube.
- Convertir a raster.



Figura 3.42: Símbolo Raster.

- Escribir en paso la distancia a la que se construirán las curvas de nivel.
- En dirección seleccionar Z.
- En rellenar seleccionar promedio.
- Clic en actualizar cuadrícula.

- Raster.
- Exportar alturas.
- Escribir nombre.

5. Reducir nube de puntos.

- Clic sobre la nube
- Simplificar

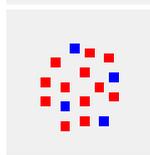


Figura 3.43: Símbolo Simplificar.

- Modificar la distancia mínima entre puntos de acuerdo al software a utilizar.

Como ejemplo, para Civil 3D 0.4, Recmin 0.5 y Promine 3.5, también dependerá del equipo de cómputo.

6. Guardar nube de puntos para Civil 3D y Recmin.

3.3.4. Recmin

1. Modificar archivo de puntos.

- Abrir la nube de puntos .txt en Excel
- Separar por columnas.

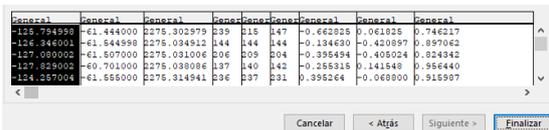


Figura 3.44: Columnas.

- Eliminar todas las columnas, dejando solo las coordenadas.
- Guardar nuevamente como archivo de texto.

- Clic sobre la nube a guardar.
- Archivo.
- Guardar.
- Seleccionar ASCII como tipo de archivo y escribir nombre con terminación .txt
- Definir número de decimales y separador del archivo.

7. Guardar nube de puntos para Promine

- Clic sobre la nube a guardar.
- Archivo.
- Guardar.
- Seleccionar ASCII como tipo de archivo y escribir nombre con terminación .csv
- Definir número de decimales y separador del archivo.

RecminPts.txt: Bloc de notas

```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
|-125.794998, -61.444, 2275.302979
-126.346001, -61.544998, 2275.034912
-127.080002, -61.507, 2275.031006
-127.829002, -60.701, 2275.038086
-124.257004, -61.555, 2275.314941
```

Figura 3.45: Nuevo Archivo.

2. Crear yacimiento en Recmin.

- Yacimiento.
- Editar Yacimientos.
- Nuevo.
- Escribir el nombre.
- Buscar la ruta donde se guardara.

3. Importar puntos.

- Clic en el proyecto creado.
- Importar.
- Fichero en formato TXT.
- Fichero de lectura, seleccionar la nube de puntos.
- Doble clic para establecer el orden de las coordenadas.



Figura 3.46: Columnas.

- Guardar fichero, escribir el nombre y seleccionar .pts.
- Seleccionar como separador la coma.

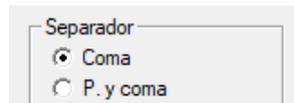


Figura 3.47: Separador.

- Seleccionar puntos en guardar como.

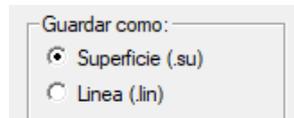


Figura 3.48: Guardar como.

- Importar.
- Cerrar al terminar el proceso.

4. Abrir puntos en Recmin.

- Clic en el proyecto creado.
- Dibujo.

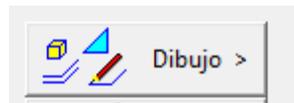


Figura 3.49: Simbolo Dibujo.

- Abrir fichero de puntos.



Figura 3.50: Simbolo Abrir.

- Seleccionar el archivo .pts que se creó.
- En lista de grupo de puntos, modificar color y tamaño.

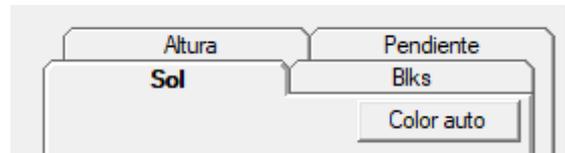


Figura 3.51: Opciones de color.

5. Triangular puntos.

- Sup-Lin-T3.
- Triangular.
- Seleccionar el grupo de puntos.
- Elegir algún modo de color.

6. Generar curvas de nivel.

- Sup-Lin-T3.
- Generar líneas de contorno.
- 1 para vista en planta.
- Escribir la distancia entre curvas.
- Definir el rango donde se crearan las curvas.
- Seleccionar Sí.

7. Activar etiquetas de altura.

- Sup-Lin-T3.
- Ver cotas.
- Establecer cada cuanto se mostrará la etiqueta.
- Escribir el número de decimales.
- Establecer el tamaño de letra.

8. Guardar Escena.

- Fichero.
- Guardar Escena.
- Escribir nombre.

Se puede guardar por separado todos los archivos creados, de tal forma de solo abrir lo necesario para evitar un sobrecargo de información.

3.3.5. Promine

1. Crear capas.

- Comando layer.
- Crear 4 capas para curvas, etiquetas, superficies, puntos.
- Cambiar color para diferenciar objetos.

2. Importar puntos

- Modelización.
- Importar nube de puntos.
- Buscar archivo formato .csv.
- Escoger delimitador.
- Seleccionar orden de las coordenadas.
- Guardar en la capa de puntos.

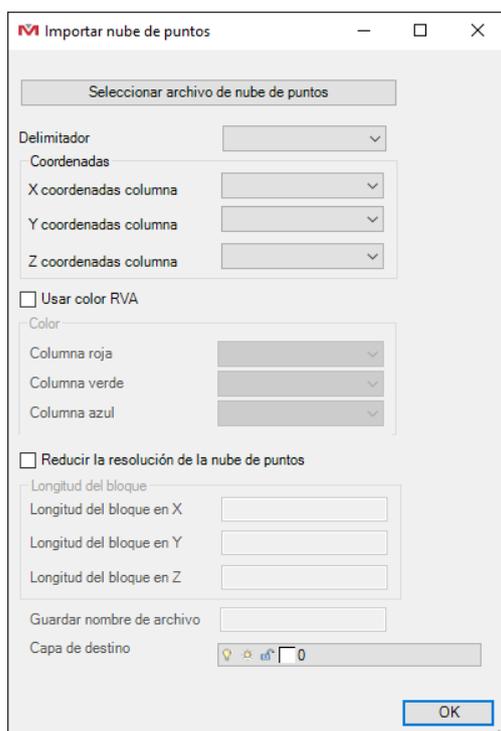


Figura 3.52: Importar puntos.

3. Triangular puntos.

- Modelización.
- Triangular.
- Activar opción de puntos.
- Seleccionar la capa para la triangulación.
- Activar opción de subdividir trabajo.
- Sombrear puntos a triangular.



Figura 3.53: Triangulación.

4. Colorear triangulación.

- Modelización.
- Colores



Figura 3.54: Simbolo Colores.

- Escribir espacio entre cada color.
- Sombrear la triangulación.

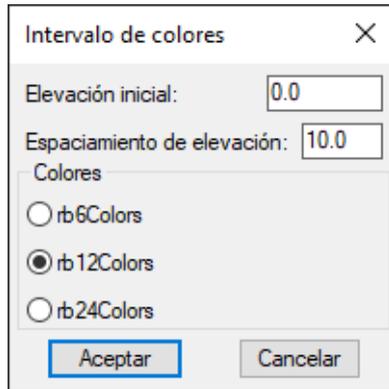


Figura 3.55: Colorear Triangulación.

5. Generar curvas de nivel.

- Modelización.
- Agregar contornos



Figura 3.56: Simbolo Contornos.

3.3.6. Civil 3D

1. Crear archivo de superficie.

- Comando toolspace
- Superficie.
- Clic derecho, crear superficie.
- Escribir el nombre.
- En estilo seleccionar, crear nuevo.

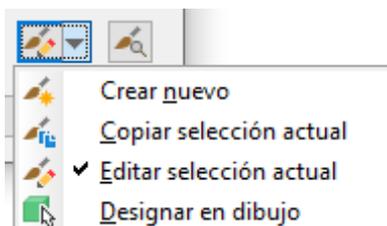


Figura 3.58: Nuevo Estilo.

- En información, colocar nombre.
- En curvas de nivel, colocar intervalo secundario y principal.

- Sombrear la triangulación.
- Escribir espaciamento entre curvas.
- Seleccionar la capa para las curvas.

6. Generar cotas.

- Modelización.
- Anotaciones.



Figura 3.57: Simbolo Anotaciones.

- Indicar tamaño de letra.
- Establecer cada cuanto se mostrará la etiqueta.
- Escribir el número de decimales.
- Seleccionar la capa para las etiquetas.
- Sombrear la triangulación.

- En visualización, activar las capas de curvas de nivel y curvas de nivel maestra.

Cambiar el color a las curvas.



Figura 3.59: Capas de curvas de nivel.

2. Aplicar.
3. Seleccionar el estilo nuevo.
4. Aceptar.
5. Añadir valores a superficie.

- Superficie.
- Nombre de la superficie creada.
- Definición.

- Clic derecho, archivo de puntos.
- Seleccionar ENZ.
- Añadir archivos.

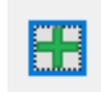


Figura 3.60: Simbolo de archivos.

- Buscar nube de puntos.
- Aceptar.

6. Generar etiquetas a las curvas.

- Seleccionar la superficie.
- Añadir etiquetas.



Figura 3.61: Simbolo de etiquetas.

- Curvas de Nivel—Múltiple.
- Definir la trayectoria donde se mostraran las curvas.
- Adaptar la escala de acuerdo al tamaño de letra.



Figura 3.62: Escala.

Se puede extraer las curvas de nivel como polilínea, en extraer de superficie y objetos.

3.3.7. Qgis

1. Abrir raster.

- Abrir administrador.
- Raster.
- En fuente, buscar el archivo raster.
- Añadir.
- Cerrar.

2. Crear curvas de nivel.

- Ventana de Raster.
- Extracción.
- Curvas de Nivel.
- En intervalo, escribir la distancia entre cada curva.
- Opcional cambiar el nombre de atributo para mayor identificación.
- Ejecutar.
- Cerrar.

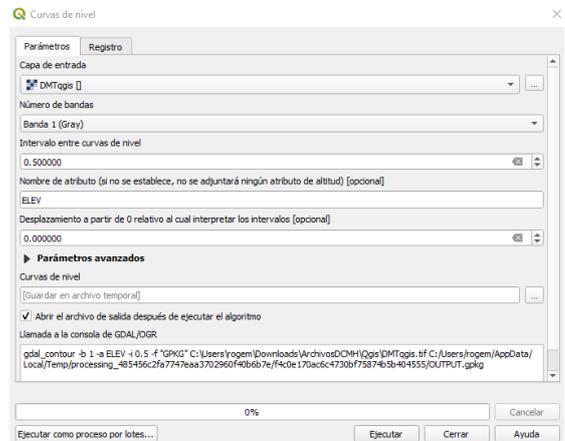


Figura 3.63: Curvas de Nivel.

3. Añadir alturas a las curvas de nivel.

- Ventana Procesos.
- Caja de Herramientas.
- Buscar v.to.3D
- Seleccionar atributo para altura.
- Ejecutar.
- Cerrar.

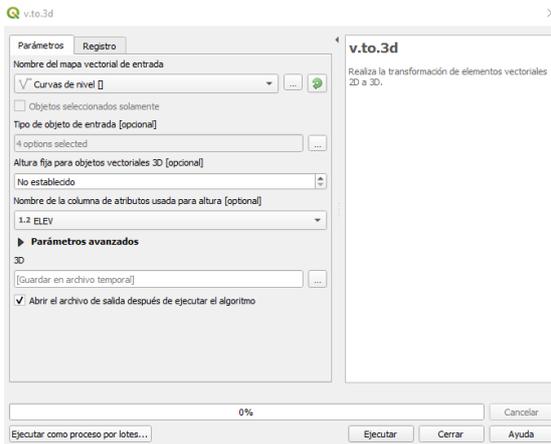


Figura 3.64: Añadir altura.

4. Crear curvas principales y secundarias.

- Dar doble clic a curvas con altura.
- Simbología.
- Basado en reglas.
- Doble clic para editar.
- Escribir nombre.
- En filtro escribir nombre del atributo, símbolo por ciento, espaciamento entre curvas igualamos a cero.

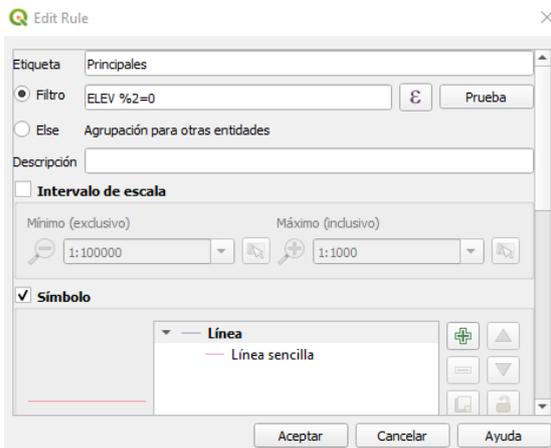


Figura 3.65: Configuración Curvas principales.

- Cambiar grosor y color
- Aceptar.
- Añadir regla.
- Escribir nombre y seleccionar ELSE.
- Cambiar grosor y color.

5. Crear etiquetas a las curvas.

- Dar doble clic a curvas con altura
- Etiquetas.
- Etiquetas sencillas.
- En texto modificar tamaño y color.
- Activar buffer y cambiar color.

6. Guardar curvas en DXF.

- Proyecto.
- Importar/Exportar.
- Exportar proyecto a DXF
- En guardar como, seleccionar ruta y escribir nombre.
- Seleccionar simbología de objetos espaciales y Project CRS.
- Aceptar.



Figura 3.66: Guardar DXF

El archivo DXF se puede abrir en software como AutoCAD, mantendrá la configuración de las etiquetas y tendrán altura.

Capítulo 4

CÁLCULO DE VOLUMEN CON DRON

En esta práctica se calculará, a partir de fotografías tomadas por dron, el volumen de un montículo.

Los objetivos de la práctica son:

1. Armar y usar de manera correcta el equipo (Dron).
2. Crear un plan de vuelo para la toma de fotografías con dron.
3. Generar una nube de puntos y las curvas de nivel.
4. Calcular el volumen en diferentes software.

4.1. Parte Teórica

En el siguiente [Enlace](#) se encuentra la parte teórica en versión presentación de la práctica “Cálculo de Volumen con Dron”.

4.2. Parte Práctica

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video de la práctica “Cálculo de Volumen con Dron”.

Dirección URL: <https://youtu.be/UYPCCC1JsvU>

Para versión de celular, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

4.3. Parte Manejo de Datos

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video del tratamiento de datos en la práctica “Cálculo de Volumen con Dron”.

Dirección URL: <https://youtu.be/PIfcGlkB110>

Para la versión de guía escrita, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

Capítulo 5

TÚNEL CON PROMINE

En esta práctica se modelará un túnel haciendo uso del software Promine.

Los objetivos de la práctica son:

1. Conocer el levantamiento del túnel con la estación total, enfocado en usar Promine.
2. Importar de manera correcta los datos de la estación a Promine.
3. Realizar el modelado de un túnel subterráneo.

5.1. Parte Teórica

En el siguiente [Enlace](#) se encuentra la parte teórica en versión presentación de la práctica “Túnel con Promine”.

5.2. Parte Práctica

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video de la práctica “Túnel con Promine”.

Dirección URL: https://youtu.be/5Qh_rQEfAYQ

Para versión de celular, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

5.3. Parte Manejo de Datos

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video del tratamiento de datos en la práctica “Túnel con Promine”.

Dirección URL: <https://youtu.be/vien5NanQxk>

Para la versión de guía escrita, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

Capítulo 6

CUARTOS Y PILARES CON PROMINE

En esta práctica se modelará un rebaje por el método de cuartos y pilares haciendo uso del software Promine.

Los objetivos de la práctica son:

1. Conocer el levantamiento del rebaje con la estación total.
2. Importar de manera correcta los datos de la estación a Promine.
3. Realizar el modelado del rebaje.
4. Utilizar fotogrametría para modelar un pilar de manera más detallada.

6.1. Parte Teórica

En el siguiente [Enlace](#) se encuentra la parte teórica en versión presentación de la práctica “Cuartos y Pilares con Promine”.

6.2. Parte Práctica

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video de la práctica “Cuartos y Pilares con Promine”.

Dirección URL: <https://youtu.be/GyrGY4-FHSc>

Para versión de celular, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

6.3. Parte Manejo de Datos

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video del tratamiento de datos en la práctica “Túnel con Promine”.

Dirección URL: <https://youtu.be/EjYmnfNIIxw> Para la versión de guía escrita, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

Capítulo 7

SIMULACIÓN DE ESCÁNER

En esta práctica se realizará una simulación de un escáner profesional para la digitalización de una frente minera.

Los objetivos de la práctica son:

1. Realizar un barrido para digitalizar una frente.
2. Identificar el resultado que arroja el software y como sería su posterior uso en la realidad.

7.1. Parte Teórica

En el siguiente [Enlace](#) se encuentra la introducción en versión presentación de la práctica “Simulación de Escáner”.

7.2. Práctica

En el siguiente [Enlace](#) se puede ver el video de la práctica “Simulación de Escáner”.

Dirección URL: <https://youtu.be/vmjUOGpHOxo>

Para versión de celular, el recurso se encuentra en el siguiente [Enlace](#).

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusión

El aprovechamiento tanto del nuevo equipo como del software disponible fue satisfactorio, las prácticas creadas en este escrito ayudarán y actualizarán a las futuras generaciones que tomen la materia de Métodos de Medición Minero Cartográficos.

El material fue diseñado para que cualquier alumno o alumna pueda realizarlo sin problemas, solo se debe considerar las licencias del software y los permisos para las prácticas.

Cada uno de los objetivos planteados individualmente en las practicas se han cumplido, las practicas se generaron de gran calidad pues se dieron los conocimientos teóricos y prácticos, además se tiene el material para realizar dichas practicas de manera autodidacta e incluso estudiantes externos, pues se puso todos los datos como fotografías, guías, archivos y vídeos totalmente libre para su uso y distribución.

8.2. Crecimiento de este trabajo

El continuo desarrollo de equipos y aplicaciones propician la continua actualización sobre las novedades en la industria.

Por ejemplo, en el desarrollo de este trabajo, la empresa Promine desarrolló la aplicación para dispositivos móviles Progeox, lanzada en enero de 2023, aunque es enfocada en geología es muy útil en la práctica de Túnel, pues se puede crear cuñas además de mapear la frente.

Se necesita de una capacitación, pues es similar a Promine de escritorio pero con una interfaz diferente. Nos se sabe si requiere licencia o es de uso libre, pues esta fue una versión de prueba para darse a conocer.

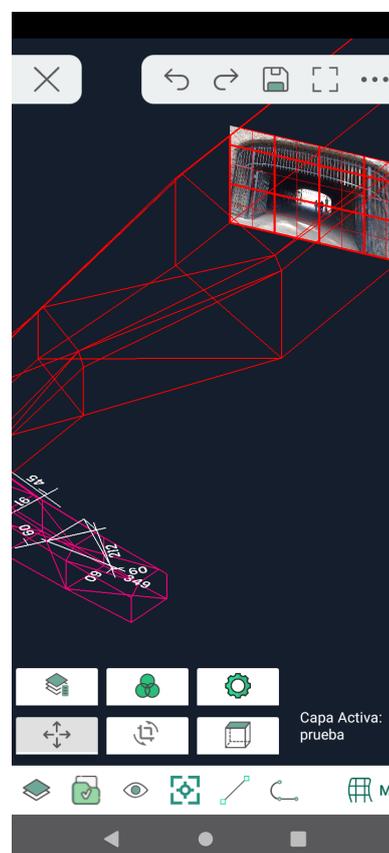


Figura 8.1: App Progeox.(Creación propia, 2023)

Otro ejemplo igual de la empresa Promine, es el nuevo sitio web ProVIZ que sirve para la visualización y trabajo de nubes de puntos, el cual elimina la limitante de la cantidad de puntos a usar en Promine.

La versión Silver y Gold de ProVIZ estará disponible a mediados de 2023, sin embargo, la versión básica está disponible en [ProVIZ](#). Como comparativo, sin la nueva aplicación en la práctica de volumen, Promine solo soportaba 1763 puntos, ahora sin problemas trabaja con 22401.

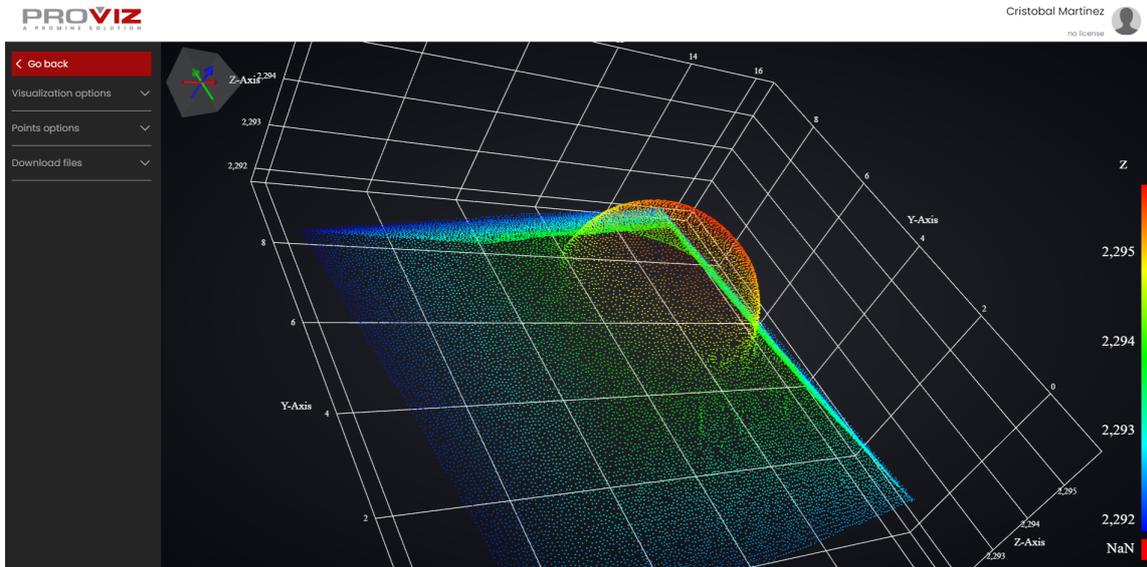


Figura 8.2: Nube en ProVIZ. (Creación propia, 2023)

8.3. Nuevo equipo

A finales de 2022, el Departamento de Ingeniería de Minas y metalurgia tiene a su disposición un GNSS topográfico, el cual es de mucha utilidad en la fotogrametría con dron, pues como se mencionó en las prácticas, el levantamiento no está georeferenciado con puntos de control, dichos puntos se obtiene con un GNSS topográfico dando mediciones milimétricas, con lo cual nos da la certeza de que nuestro levantamiento está correctamente posicionado.

El uso de este equipo abre las puertas a más prácticas, pues el equipo es más reciente y con más utilidades en la minería.

8.4. Modificación a la asignatura

Con equipos disponibles como la estación total, dron y GPS topográfico, otras herramientas como la cinta y la brújula quedan obsoletas, las prácticas con estas últimas herramientas disminuyen el tiempo de uso dentro del semestre de otros equipos. Por lo que se propone una reorganización de las prácticas “Levantamiento con cinta” y “Levantamiento con brújula y cinta” si bien la eliminación de dichas prácticas sería una opción, se propone reducir el tiempo de ambas, es decir, hacerlas al

mismo tiempo, ya que se cuentan con suficientes integrantes para dar abasto a las dos al mismo tiempo, esto dejaría una clase disponible para aplicar las nuevas prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

- ▶ Adriel Soto. (2016). Cámaras y Pilares. Recuperado de <https://es.slideshare.net/adrielsoto750/camaras-y-pilares-minas-2015-2-v>
- ▶ A. J. Chambers, D. J. Benton, M. A. Stepan, S. Finley, D. T. Orr. (2017). Effects of Corrosion on Ground Support and Corrosion Monitoring Methods.
- ▶ A. Kemp, I. Taylor, S. C. Lamoureux (2017). Design to closure – construction of detailed rehabilitation designed iron ore waste rock dumps based on upfront site specific assessment.
- ▶ Aquisé Cornejo Rutber. (2015). Corte y relleno, cámaras y pilares: métodos de minería subterránea. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/corte-y-relleno-camaras-y-pilares-metodos-de-mineriasubterranea/>
- ▶ ArcGIS. (2019). Types of Lidar. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/types-of-lidar.htm>
- ▶ Aufiero. (2021). Acerca de Metashape. Recuperado de <https://www.metashape-la.com/>
- ▶ Autodesk. (2023). ¿Qué es AutoCAD? Recuperado de <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview>
- ▶ Autodesk. (2023). ¿Qué es Civil 3D? Recuperado de <https://www.autodesk.mx/products/civil-3d/overview>
- ▶ Australian Droid + Robot. (2022). Developments. Recuperado de <https://www.australiandroid.com.au/developments>
- ▶ Boston Dynamics. (2023). Spot. Recuperado de <https://www.bostondynamics.com/products/spot>
- ▶ B. Slaker. (2013). Determination Of Volumetric Changes From Laser Scanning At An Underground Limestone Mine.
- ▶ Callio Lab. (S.F) Facilities and Infrastructure. Recuperado de <https://calliolab.com/facilities-2/facilities/>
- ▶ Chad Williams, John Morkeh, Kathryn Dorfschmidt. (2019). Innovative Rockfall Solutions Based on Calibration and Field Testing Mining, Metallurgy and Exploration.
- ▶ Charles Steed. (2003). Pillar Optimization For Initial Design And Retreat Recovery.
- ▶ Cloud Compare. (2023). Acerca de. Recuperado de <https://www.danielgm.net/cc/>

- ▶ Donovan J. Benton. (2014). Photogrammetric Monitoring of Rock Mass Behavior in Deep Vein Mining.
- ▶ Donovan J. Benton, Stephen R. Iverson, Lewis A. Martin, Jeffrey C. Johnson, Michael J. Raffaldi. (2015). Volumetric Measurement of Rock Movement Using Photogrammetry.
- ▶ DJI. (2023). Mavic 2 Pro Recuperado de <https://www.dji.com/mx/mavic-2>
- ▶ EGSciences. (2023). Aplicaciones de drones en minería Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/aplicaciones-de-drones-enminer%C3%ADa-egsciences>
- ▶ E. Munaretti, R. A. McClure, C. S. Mendonça. (2013). Optimización del proceso de voladura con el empleo de fotogrametría 3D en una cantera del sur de Brasil
- ▶ Geomatics Enterprises. (2022). Tie points explained. Recuperado de https://catalyst.earth/catalyst-systemfiles/help/COMMON/concepts/TiePoint_explain.html
- ▶ Filip Medinac, Thomas Bamford, Matthew Hart. (2021). Haul-road monitoring in openpit mines using unmanned aerial vehicles: A case study at Bald Mountain Mine site
- ▶ Geo Innova. (2016). Fotogrametría, el arte de medir a la distancia. Recuperado de <https://geoinnova.org/blog-territorio/fotogrametria-arte-medir-la-distancia/>
- ▶ FLYABILITY. (2022). Applications on Minig Recuperado de <https://www.flyability.com/mining>
- ▶ I. Vazaios, N. Vlachopoulos, M. S. Diederichs. (2015). A Study of the Geometrical Scale-Dependency of Fractured Rockmasses using Lidar Scanning: The Case Study of Brockville Tunnel.
- ▶ J. A. Marshall. (2017). Design of a Novel Auto-Rotating UAV Platform for Underground Mine Cavity Surveying.
- ▶ J. Baggett, J. Monsalve, R. Bishop, N. Ripepi, A. Soni (2019). A Comparison of Laser Scanning and Photogrammetry in an Underground Limestone Mine.
- ▶ J. Boyden , B. C. Lowry, T. J. Coulthard, T. Whiteside, G. R. Hancock, S. Grant. (2016). Accounting for Vegetation Dynamics in Landform Evolution Modelling.
- ▶ J. Cronin. (2017). Telepresence – the application of remote control and automation technologies for increased safety and productivity.
- ▶ J. Lyons, BaralJ. Kemeny. (2016). Applications of point cloud technology in geomechanical characterization, analysis and predictive modeling.
- ▶ John E. Wiegand, Luis Valentim.(2016) Using Photogrammetry Data from Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS) for Blast Design.
- ▶ John J. Reed. (1959). Case History In Pillar Recovery.

- ▶ Juan J. Monsalve, Jon Baggett Richard, Bishop Nino Ripepi. (2018). Application of Laser Scanning for Rock Mass Characterization and Discrete Fracture Network Generation in an Underground Limestone Mine.
- ▶ J. Vivas, C. Hunt, D. M. Allen. (2015). Characterising Groundwater in Rock Slopes using a Combined Remote Sensing - Numerical Modelling Approach.
- ▶ Komatsu. (2019) Desarrollo de galerías, cámaras y pilares. Recuperado de <https://mining.komatsu/es/home>
- ▶ Mandal P. K. (2013). Technological developments and R&D needs for sustainable underground coal mining in India.
- ▶ Mapa Media. (2023). Levantamientos Aéreos. Recuperado de <https://www.mapamedia.com/levantamientos-aereos/>
- ▶ Mingliang Tang, Kamran Esmaeili. (2021). Mapping surface moisture of a gold heap leach pad at the El Gallo Mine using a UAV and thermal imaging.
- ▶ Nicole Evanek. (2020). LiDAR Mapping of Ground Damage in a Heading Reorientation Case Study.
- ▶ Perumin 34. (2019). Simulación Dinámica: Selección y reemplazo de equipos. Recuperado de <https://perumin.com/perumin34/assets/uploads/files/foro-tis/presentacion-final-jromero.pdf>
- ▶ Pix4D. (2022). Mining Industry Recuperado de <https://www.pix4d.com/industry/mining/>
- ▶ Propeller. (2010). Ground Sample Distance Recuperado de <https://www.propelleraero.com/blog/ground-sample-distance-gsdcalculate-drone-data/>
- ▶ Puentes Angie. (2008). Revisión de Metodologías para el Diseño Geomecanico de Pilares en Minería Subterránea.
- ▶ QGIS. (2023.) El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio. Recuperado de <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- ▶ Renzo Mori. (2017). Recuperación de Pilares Mediante el Método de Pilares Artificiales en el Tajo Manto Sur, Nivel 8 Mina Magistral, SMRL Magistral de Huaraz SAC-2017.
- ▶ R. Preston, D. Roberts, H. Mc Intire. (2015). Use of Photogrammetry to Estimate Mine Pillar Damage and Strength (2007) Perforación y Voladura. Recuperado de https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/MI47A/1/material_docente/bajar?id_material=122796
- ▶ Shane Behanish. (2015). ZEB1 Mobile Hand-held laser scanner for mining applications. Recuperado de <https://www.slideshare.net/3DLaserMapping/zeb1-mobile-handheld-laser-scanner-for-miningapplications-52346337>

- ▶ Skanect. (2023) Acerca de. Recuperado de <https://skanect.structure.io/contact/>
- ▶ S. Raval, B. Banerjee, X. Shen, H. Masoumi, D. Tannant. (2018). Evaluation of a UAV-LiDAR system for mapping geological structures in an open pit highwall.
- ▶ Syd S. Peng, Feiya Xu. (2018). Application Research of 3D Laser Scanning Technology in Monitoring Subsidence Area of Coal Mining.
- ▶ Tiempo Minero. (2022). Mina El Teniente usa drones para potenciar seguridad y producción. Recuperado de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/mina-el-teniente-usa-drones-para-potenciar-seguridad-y-produccion/>
- ▶ T. Leidich, H. Lacy, M. Van Zyl (2014). Application of Design Concepts and Engineering Controls Necessary to Deliver Well-designed and Rehabilitated Landforms.
- ▶ Venegas Pedro. (2018). Obras civiles y de Infraestructura. Recuperado de <https://docplayer.es/69465505-Obras-civiles-y-de-infraestructura.html>