

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación de drone para elaborar modelos digitales en
frente de minado, Unidad Minera Las Bambas**

Melitón Ocsa Mellado
Reynaldo Valerio Barreda Yabar

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Cusco, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a los docentes de la facultad de ingeniería de minas de la universidad Continental por sus sabias enseñanzas.

De igual manera, a los ingenieros de la gerencia de Planeamiento Mina, minera Las Bambas, por las facilidades de acceso a la información para el desarrollo de la investigación.

Agradecemos también al Superintendente de Planeamiento Mina: Ing. José Luis Rodríguez, por sus sabios consejos en las dudas que tenía en mi proyecto de investigación.

Bach. Melitón Ocsa Mellado

Bach. Reynaldo Valerio Barreda Yabar

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación en honor a mis padres: Adrián Ocsa Cjuro y Juana Mellado Quispe; mi esposa: Vilma Idme Condori; mis hijos: Melvin y Adrián; y que decir de mis hermanos: Richard, Maribel y Luz Marina, por su apoyo moral e impulsador que cada uno me dio.

Bach. Melitón Ocsa Mellado

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, quienes me dieron la vida y educación, ya que si no fuera por el apoyo y sus sabios consejos no hubiera logrado concretar este logro. También dedico este trabajo de investigación a mis maestros de la facultad de Ingeniería de Minas de la universidad Continental

Bach. Reynaldo Valerio Barreda Yabar

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Problema general.....	16
1.1.2. Problemas específicos.....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.3.1. Justificación practica.....	17
1.3.2. Justificación metodológica.....	17
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	18
1.4.1. Hipótesis general.....	18
1.4.2. Hipótesis específicas.....	18
1.4.3. Descripción de variables.....	18
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	20
2.1 Antecedentes del problema.....	20
2.2 Bases teóricas.....	24
2.2.1. Topografía.....	24
2.2.2. Levantamiento topográfico con <i>drone</i>	28
2.2.3. Levantamiento topográfico con GPS.....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	39

CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	45
3.1. Método y alcance de la investigación.....	45
3.1.1. Método.....	45
3.1.2. Nivel de investigación.....	45
3.2. Diseño de la investigación.....	45
3.3. Población y muestra.....	46
3.3.1. Población.....	46
3.3.2. Muestra.....	46
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
3.4.1. Técnicas.....	46
3.4.2. Instrumento:.....	46
3.4.3. Métodos de análisis de datos.....	46
3.4.3. Aspectos éticos.....	47
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	48
4.1.1 Área de estudio.....	48
4.1.2 Equipos y softwares utilizados.....	50
4.1.3. Métodos de levantamiento topográfico con <i>drone</i>	50
4.1.3 Proceso de aplicación de <i>drone</i> para elaborar modelos digitales en frentes de minado.....	53
4.2 Mediciones geodésicas.....	84
4.2.1 Reconocimiento del área de trabajo.....	84
4.2.2 Establecimiento del control horizontal y vertical del proyecto.....	84
4.3 Procesamiento de datos geodésicos.....	85
4.3.1 Post-proceso de puntos orden “B”.....	85
4.3.2 Ajuste de red geodésica de puntos orden B.....	86
4.3.3 Post-proceso de puntos orden “C”.....	87
4.3.4 Coordenadas Geodésicas de puntos orden B.....	87
4.3.5 Postproceso de puntos orden “C”.....	88
4.3.6 Coordenadas UTM de puntos orden “C”.....	90
4.3.7 Coordenadas Geodésicas de puntos orden “C”.....	90

4.3.8 Ajuste de red topográfica	90
4.3.9 Coordenadas locales o topográficas de la red.....	91
4.3.10 Nivelación trigonométrica.....	92
4.3.11 Elevación nivelada de puntos de la red Las Bambas	94
4.3.12 Sistema de coordenadas local Las Bambas	95
4.4 Información precisa aplicando Drone.....	97
4.5 Tiempo de levantamiento topográfico aplicación de <i>drone</i>	97
4.6 Riesgos y peligros aplicando <i>drone</i>	98
4.7 Zonas de acceso con la aplicación de <i>drone</i>	99
4.8 Costo de la aplicación de <i>drone</i>	100
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Tolerancia lineal	26
Tabla 3. Precisión.....	26
Tabla 4. Especificaciones técnicas de Dron DJI MATRICE 210.....	31
Tabla 5. Especificaciones técnicas de dron Phantom 2 Pro.....	32
Tabla 6. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.....	81
Tabla 7. ECM de puntos de apoyo	82
Tabla 8 Puntos de apoyo	82
Tabla 9. Puntos de orden “C”	87
Tabla 10. Geodésicas de puntos orden B	87
Tabla 11. Coordenadas UTM WGS84 18 SUR	90
Tabla 12. Coordenadas geodésicas WGS84	90
Tabla 13. Coordenadas locales de ajuste de red topográfica	91
Tabla 14. Coordenadas locales año 2018.....	92
Tabla 15. Resumen de nivelacion trigonométrica - Línea de nivelación con inicio y final en el punto APU-06019	93
Tabla 16. Compensación de la línea de nivelación	94
Tabla 17. Elevación nivelada año 2018.....	95
Tabla 18. Coordenadas GNSS para calibración de obra	96
Tabla 19. Coordenadas locales Las Bambas - 2018.....	96
Tabla 23. Tiempo de levantamiento topográfico con la aplicación de drone	97
Tabla 24. Tiempo total de levantamiento topográfico con drone	97
Tabla 25. Tiempo de levantamiento topográfico con GPS	98
Tabla 26. Tiempo total de levantamiento topográfico con GPS.....	98
Tabla 27. Tiempo de levantamiento topográfico con GPS y drone	98
Tabla 20. Probabilidad del riesgo - gravedad del riesgo	99
Tabla 21. Costo de levantamiento topográfico con GPS.....	101
Tabla 22. Costo de Levantamiento topográfico con drone	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Levantamiento topográfico con dron	30
Figura 2. Dron DJI MATRICE 210	31
Figura 3. Dron Phantom 2 Pro.....	32
Figura 4. Hito de concreto como punto de control.....	33
Figura 5. Verificación y nivelación del GPS diferencial	34
Figura 6. Exportación de los puntos con GPS Diferencial al programa AutoCAD 3D civil	35
Figura 7. Verificación y nivelación del GPS diferencial	35
Figura 8. Prismas formados a partir de la proyección de los polígonos de un modelo digital de terreno a un plano horizontal inferior	36
Figura 9. Representación gráfica de problemas existentes en la proyección del modelo digital de terreno	37
Figura 10. Utilización de la subdivisión recursiva del espacio para calcular el volumen aproximado del material contenido en un bloque	37
Figura 11. Malla de tetraedros que representa una estructura geológica	38
Figura 12. Utilización de segmentos de líneas para calcular el volumen aproximado del material contenido en un bloque	39
Figura 13. Mapa de ubicación de unidad minera Las Bambas en Perú	49
Figura 14. Mapa de ubicación de Unidad Minera Las Bambas en Perú.....	49
Figura 15. Puntos de control (GCP)	50
Figura 16. Puntos de control (GCP)	51
Figura 17. Tiempo real (RTK real time kinematic)	51
Figura 18. Tiempo real (RTK real time kinematic)	52
Figura 19. Postproceso (PPK).....	52
Figura 20. Colocación de puntos georeferenciales	53
Figura 21. Aplicativo DJI PHANTON 4	54
Figura 22. Selección de Drone	54
Figura 23. Seleccionamos de misión.....	55
Figura 24. Ajuste y los parámetros del plan de vuelo del dron	55

Figura 25. Inicio de vuelo del Drone en vivo	56
Figura 26. Vuelo de drone	56
Figura 27. Vuelo de drone	57
Figura 28. Importación de fotos.....	57
Figura 29. Importación de fotos.....	58
Figura 30. Importar imágenes	58
Figura 31. Imágenes importadas.....	59
Figura 32. Imágenes importadas.....	60
Figura 33. Cambio der las coordenadas a UTM.....	60
Figura 34. Cambio der las coordenadas a UTM.....	61
Figura 35. Cambio de coordenadas	61
Figura 36. Orientación de las imágenes	62
Figura 37. Escoger y procesar	62
Figura 38. Ajuste de las fotos	63
Figura 39. Ajuste de las fotos	63
Figura 40. Importación de imágenes	64
Figura 41. Ubicación de sistema de coordenadas y puntos de control	64
Figura 42. Ubicación de sistema de coordenadas y puntos de control	65
Figura 43. Visualizar los puntos de control.....	65
Figura 44. Filtrar fotos por marcador	66
Figura 45. Seleccionar la foto de interés	66
Figura 46. Punto exacto del banner	67
Figura 47. Punto exacto del banner	67
Figura 48. Punto y foto de control	68
Figura 49. Optimizar cámaras	69
Figura 50. Importancia de retirar los chec	70
Figura 51. Importancia de retirar los chec	70
Figura 52. Tranformación volumetrica.....	71
Figura 53. HxGN MinePlan 3D	71
Figura 54. Elevación del terreno.....	72
Figura 55. Figura de volumen en 3D	72

Figura 56. Creacion de carpeta de archivo	73
Figura 57. creaci3n de un pol3gono	74
Figura 58. Puntos planteados.....	75
Figura 59. Ferrobamba Fase 3.....	76
Figura 60. 3rea minada.....	77
Figura 61. Esponjado	77
Figura 62. Tonelaje Obtenido - M3todo Investigaci3n	78
Figura 63. Tonelaje obtenido - m3todo tradicional	79
Figura 64. Informe fase 3	79
Figura 65. Posiciones de c3maras y solapamiento de im3genes.....	80
Figura 66. Gr3fico de residuos para FC6520 (15mm)	80
Figura 67. Puntos de control	81
Figura 68. Modelo digital de elevaciones	82
Figura 69. Red de puntos de orden B	87
Figura 70. L3neas base de puntos orden "C"	89
Figura 71. Ubicaci3n de puntos geod3sicos.....	89
Figura 72. Zonas de dif3cil acceso.....	100

RESUMEN

La presente investigación planteó como objetivo general: Evaluar el resultado del cálculo el volumen de mineral fragmentado en frente de carguío, realizando el levantamiento topográfico con drones en unidad minera Las Bambas. La hipótesis general fue: el método de levantamiento topográfico con dron permite medir increíblemente la distancia de un terreno y obtener el cálculo de volumen de mineral fragmentado en frente de carguío, en la unidad minera Las Bambas.

El método de investigación fue el método el científico, nivel explicativo, diseño experimental, la población está conformada por tajo Ferrobamba Fase 3 de frente carguío, donde se necesita realizar actividades de levantamiento topográfico, la muestra en el tajo de Ferrobamba fase 3, el cual está ubicada en la zona de influencia de la unidad minera Las Bambas.

De la investigación se concluye que: la aplicación del *Drone* permite elaborar modelos digitales de alta precisión con los cuales se puede calcular el volumen de mineral fragmentado en frente de carguío , el cual es considerado muy bueno, ya que permite un modelamiento preciso debido a la información de calidad que se obtiene, del mismo modo es seguro tanto para el personal, equipos e infraestructura; por otro lado, se puede evidenciar la reducción de tiempos en comparación con otros equipos (estaciones totales), el ciclo productivo no se ve afectado por este método de levantamiento

Palabras claves: levantamiento topográfico con dron, cálculo de volumen de mineral fragmentado, frente de carguío.

ABSTRACT

The present investigation was raised as a general objective: To evaluate the result of the calculation of the volume of fragmented ore in front of loading, carrying out the topographic survey with Drones in Las Bambas mining unit and as a general hypothesis: The method of topographic survey with Drone, allows to measure incredibly the distance of a piece of land and obtain the calculation of the volume of fragmented ore in front of loading, in the Las Bambas mining unit.

The research method was the scientific method, explanatory level, experimental design, the population is made up of Tajo Ferrobamba Phase 3 of loading front, where topographic survey activities are needed, the sample in the Ferrobamba phase 3 pit, which It is located in the area of influence of the Las Bambas mining unit.

From the investigation it is concluded that: The application of the Drone allows the elaboration of high-precision digital models with which the volume of fragmented ore in front of loading can be calculated, considering it very good, since they allow precise modeling due to the information of quality that is obtained, in the same way it is safe for both personnel, equipment and infrastructure; on the other hand, it can be evidenced the reduction of times compared to other equipment (total stations), the productive cycle is not affected by this survey method

Keywords: topographic survey with drone, volume calculation of fragmented ore, loading front.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada: *“Aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes de minado, unidad minera Las Bambas 2021”*, partido de la problemática que se detalla en las siguientes líneas.

El problema que se presenta en la unidad minera Las Bambas está relacionado con el levantamiento topográfico posterior a la voladura efectuados en los bancos de broce y producción; esto debido a muchos factores de los que se pueden citar los siguientes:

- ✓ Difícil acceso a áreas expuestas a desprendimiento de material suelto
- ✓ Trabajo en zonas inseguras como taludes inestables
- ✓ Demora de carguío en los frentes de minado
- ✓ Paralizaciones forzadas de equipos pesados (palas y camiones)
- ✓ Tiempos prolongados en levantamiento topográfico con equipos tradicionales (Estación Total, GPS diferencial)
- ✓ Costos elevados debido al mayor tiempo en la realización de levantamiento topográfico

Estos problemas citados inciden considerablemente en el cálculo del volumen de mineral fragmentado que se necesita transportar a planta para su procesamiento, del mismo modo ocurre con el desmonte.

Varias instituciones privadas y públicas a nivel mundial y en el Perú vienen haciendo uso es estos equipos modernos con la finalidad de elaborar planos de calidad y precisión, ya que estos equipos ofrecen ventajas en ahorro para la empresa porque tiene acceso a llegar a lugares inaccesibles, incrementa la seguridad en las operaciones, se obtiene datos con de mayor resolución, mayor precisión en la toma de datos para los cálculos volumétricos.

Es por estas razones expuestas que la presente investigación se propone realizar la investigación de la aplicación de *Drone* para realizar los levantamientos topográficos para elaborar modelos digitales de precisión.

Para dar respuesta de solución al trabajo de la investigación se fraccionó en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

En el capítulo I, titulada Planteamiento del Estudio, detalla el planteamiento y formulación de problema dando a conocer el problema general y específico, seguidamente de la justificación práctica y metodológica, para culminar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II, nominada Marco Teórico, se citan antecedentes nacionales e internacionales, del mismo modo las bases teóricas y para finalizar se da a conocer la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III, titulada Metodología, está referida para la metodología de investigación, resaltando el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El capítulo IV, denominada Resultados, corresponde al resultado y discusión en donde se dan a conocer los datos que se obtuvieron de la investigación. Finalmente, se redactan las conclusiones recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Melitón Ocsa Mellado

Bach. Reynaldo Valerio Barreda Yabar

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El problema que se presenta en la unidad minera Las Bambas está relacionado con el levantamiento topográfico posterior a la voladura efectuados en los bancos de broce y producción; esto debido a muchos factores de los que se pueden citar los siguientes:

- ✓ Dificil acceso a áreas expuestas a desprendimiento de material suelto
- ✓ Trabajo en zonas inseguras como taludes inestables
- ✓ Demora de carguío en los frentes de minado
- ✓ Paralizaciones forzadas de equipos pesados (palas y camiones)
- ✓ Tiempos prolongados en levantamiento topográfico con equipos tradicionales (Estación Total, GPS diferencial)
- ✓ Costos elevados debido al mayor tiempo en la realización de levantamiento topográfico

Estos problemas citados inciden considerablemente en el cálculo del volumen de mineral fragmentado que se necesita transportar a planta para su procesamiento, del mismo modo ocurre con el desmonte.

Varias instituciones privadas y públicas a nivel mundial y en el Perú vienen haciendo uso es estos equipos modernos con la finalidad de elaborar planos de

calidad y precisión, ya que estos equipos ofrecen ventajas en ahorro para la empresa tiene acceso a llegar a lugares inaccesibles, incrementa la seguridad en las operaciones, se obtiene datos con de mayor resolución, mayor precisión en la toma de datos para los cálculos volumétricos.

Es por estas razones expuestas líneas arriba que la presente investigación se propone realizar la investigación de la aplicación de *Drone* para realizar los levantamientos topográficos para elaborar modelos digitales de precisión.

1.1.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la aplicación de *Drone* para elaborar modelos digitales en frentes de minado, unidad minera Las Bambas 2021?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué relación existe entre la precisión y la elaboración de modelos digitales en frentes de minado?

- b) ¿Cuál es la relación entre el tiempo y la elaboración de modelos digitales en frentes de minado?

- c) ¿Cuál es la relación entre los riesgos del personal y la elaboración de los modelos digitales en frentes de minado?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación que existe entre el *Drone* y los modelos digitales en frentes de minado, unidad minera Las Bambas 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la relación que existe entre la precisión y los modelos digitales en frente de minado, unidad minera Las Bambas 2021.

- b) Determinar la relación que existe el tiempo y la elaboración del modelo digital en frentes de minado.

- c) Determinar la relación entre los riesgos del personal con la elaboración de modelos digitales en frentes de minado.

1.3. Justificación e importancia.

1.3.1. Justificación practica

Con el empleo del *Drone* se realiza levantamientos topográficos de alta resolución y precisión los que nos permite elaborar modelos digitales se consigue planimétricos y altimétricos debido al escáner laser que posee el equipo, de esta manera se contribuye a la empresa en contar con planos al detalle, actualizados, económicos y sobre todo en forma segura.

La gran ventaja que tienen los drones es el resolver problemas prácticos de exploración en áreas de difícil acceso, para obtener el cálculo de volumen de mineral fragmentado, es rápido y accesible en la obtención de datos, pues sin duda lo hacen una excelente opción.

1.3.2. Justificación metodológica

Para el desarrollo de la investigación, los tesisas emplearan metodologías y estrategias propias para diseñar modelos de vuelos de acuerdo a las necesidades de ubicación de los equipos pesados teniendo en consideración el escaneo de las zonas inaccesibles e inseguras.

1.4. Hipótesis y descripción de variables.

1.4.1. Hipótesis general.

Existe relación entre Drone y los modelos digitales en frentes de minado, unidad minera las Bambas 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- a) Existe relación entre la precisión y los modelos digitales en frentes de minado unidad minera las Bambas 2021.

- b) Existe relación entre el tiempo y la elaboración de los modelos digitales en frente de minado, unidad minera las Bambas 2021.

- c) Existe relación entre los riesgos del personal y la elaboración de los modelos digitales en frentes de minado, unidad minera las Bambas 2021.

1.4.3. Descripción de variables

Para realizar el levantamiento topográfico con *Drone*, se debe tener en cuenta ciertos parámetros con diversas características como. La planificación antes del vuelo del *Drone*, y el vuelo sobre el terreno, proceso de descarga y post proceso, como también la obtención de productos secundarios.

- **Variable independiente:** *Drone*
- **Variable dependiente:** Modelos digitales

Tabla 1. Operacionalización de variables

	Concepto	Dimensión	Indicador
Variable independiente	Un vehículo robótico, en general. Un vehículo aéreo que vuela sin tripulación. Su nombre se deriva del inglés Drone que en español significa "abeja macho"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precisión ▪ Tiempo ▪ Riesgos 	EMP hr Seguridad S/U \$
Variable dependiente	Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Creación de modelos físicos (incluyendo creación de mapas de relieve). Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satélites ser menor que el resto, usándose cordón detonante de alto gramaje, solo o en combinación de cartuchos de explosivo de pequeño calibre.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo digital de elevaciones ▪ Modelo digital planimétricos ▪ Modelo digital altimétrico. 	EMP EMP EMP
Modelos digitales			

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

a) Según en su proyecto de investigación, “Fotogrametría aérea para topografía en terreno irregular” (1)

Su objetivo general fue:

- ✓ La aplicación de la fotogrametría área digital a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en levantamientos topográficos y modelamientos 3D para la medición de terrenos. (1)

Sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Establecer el área donde se dará uso del dron para la definición de un plan de vuelo fotogramétrico. (1)
- ✓ Efectuar un vuelo sobre el terreno usando el dron para la creación de fotografías áreas georreferenciadas. (1)
- ✓ Implementar Manual de uso junto con el software del dron y sus criterios de manejo y seguridad necesarios para la realización de un levantamiento fotogramétrico.

- ✓ Generar los planos topográficos del terreno y comparar con planos existentes.
(1)

Producto de su investigación llego a las siguientes conclusiones:

- ✓ Durante el proceso de este proyecto se implementó un dron para el uso fotogrametría para generar fotografías y mediante el software agisoft realizar un levantamiento topográfico. En primera instancia se dispuso en buscar un área en el terreno apta para el inicio de los vuelos, se recomienda un área despejada con visual aérea además de un terreno plano para un ideal despegue y aterrizaje de la aeronave”. “Una vez elegido el punto de despegue se da inicio al plan de vuelo ya configurado anteriormente, se recomienda si el terreno es muy grande crear más de un plan de vuelo para cubrir toda el área del terreno. Al concluir la toma de fotografías de la sede utfsm se puede ver lo útil y fácil que es el uso de un dron para este tipo de proyectos el software pix4d es sumamente útil a la hora de crear planes de vuelos y automatizar el dron para un trabajo mucho más uniforme y profesional. (1)
- ✓ “Una vez ya obtenidas todas las fotografías del terreno se procede a usar un software fotogramétrico, se recomienda usar agisoft para un mejor procesamiento de las fotografías, una vez implementando el manual de uso del software siguiendo todos los pasos señalados para lograr un trabajo optimo, el procesamiento de las fotografías y la creación de la nube de puntos dura aproximadamente 8 horas se recomienda iniciar este proceso en la noche. Ya terminado se logra realizar un levantamiento, se recomienda limpiar la nube de puntos es decir todos los objetos como autos y árboles para tener líneas de nivel más limpias”. (1)
- ✓ Al terminar de procesar la información recolectada con este método en los softwares especializados se confirmó que es posible adquirir rápidamente información topográfica del terreno, facilitando la realización de diferentes actividades de proyectos topográficos ya que los resultados entregados son

en formato digital, este método nos permite manipular una gran cantidad de datos con muchas más facilidad, transformando a la fotogrametría aérea es una herramienta óptima en la elaboración de planos topográficos, curvas de nivel y loteo de terrenos. Ahorrándonos una gran cantidad de tiempo y recursos.(1)

- ✓ Este método nos entrega una metodología accesible, eficaz y económica para todo tipo de proyectos. Con una fácil adquisición por la variedad de modelos y softwares en el mercado. (1)

b) Tesis titulada: *“Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados”*

Su objetivo general fue:

- ✓ Aplicar fotogrametría aérea a baja altura en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados con fines ingenieriles. (2)

Sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Establecer los lineamientos necesarios para la definición de un plan de vuelo fotogramétrico, el programa de trabajo y los criterios de control necesarios para la ejecución de un levantamiento fotogramétrico a baja altura con un Drone que se ajuste a los distintos escenarios presentes en la Facultad Multidisciplinaria Oriental. (2)
- ✓ Realizar un vuelo sobre el terreno y los alrededores de la Facultad Multidisciplinaria Oriental usando vehículos aéreos no tripulados para la obtención de fotografías aéreas georreferenciadas. (2)
- ✓ Integrar tecnología RTK en la recolección de puntos que permitan mejorar la precisión de la georreferenciación del modelo de la superficie y la definición de los límites de la Facultad Multidisciplinaria Oriental. (2)

- ✓ Generar los productos fotogramétricos básicos de la técnica digital tales como el modelo digitalizado tridimensional de la superficie, curvas de nivel, mallas 3D texturizadas y orto mosaicos. (2)

Sus conclusiones fueron:

- ✓ Al procesar la información adquirida con esta técnica en programas especializados, se puede obtener información topográfica del terreno, facilitando realizar diversas actividades en la planeación de proyectos; debido a que sus resultados están en formato digital y a la posibilidad de vectorización del contenido reconocible durante la fotointerpretación. Esta técnica nos permite manipular una cantidad considerable de información con mayor facilidad, convirtiendo a la fotogrametría aérea en una herramienta útil en la elaboración de cartografía, desarrollo de sistemas de información geográfica (SIG o GIS) y la descripción de la topografía de la zona de interés de un proyecto. (2)
- ✓ La fotogrametría constituye una técnica que permite obtener datos de la superficie del terreno en un corto lapso de tiempo, mediante la toma de fotografías aéreas con aeronaves de gran envergadura. El uso de las aeronaves no tripuladas (UAV o drones) constituyen una herramienta adecuada para la obtención de estas fotografías, reduciendo el tiempo del trabajo de campo y permitiendo obtener resultados confiables y comparables con otros instrumentos topográficos y fotogramétricos convencionales, presentando muchas ventajas al campo fotogramétrico y dentro del área de la ingeniería civil. (2)
- ✓ La técnica planteada establece una metodología accesible, económica y eficaz para instituciones gubernamentales y no gubernamentales, con todos los beneficios posibles del uso de la fotogrametría, sabiendo que las mencionadas aeronaves son equipos fáciles de adquirir por la variedad de modelos y marcas presentes en el mercado. (2)

- ✓ Para la obtención de productos cartográficos mediante esta metodología, el punto de partida está en una buena planificación del proyecto de vuelo fotogramétrico, considerando la orografía del terreno y el contenido visual presente (vegetación densa, cuerpos de agua, campos de agricultura, etc.), corrigiendo la precisión del modelo y los posibles errores que se puedan producir, propios de la técnica digital y del uso software fotogramétrico. (2)

- ✓ La elección adecuada del número de puntos de apoyo (GCP) a utilizarse en el proyecto y la correcta ubicación de los mismos, permite obtener un modelo digital del terreno (MDT) más preciso y mejores resultados en la georreferenciación del proyecto, permitiendo escalarlo y trasladarlo a su verdadera posición en el espacio reduciendo el error de la geolocalización de las imágenes. (2)

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Topografía

La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de una porción relativamente pequeña de la tierra, si estamos hablando del campo o naturaleza entonces tenemos una representación de la superficie terrestre, si estamos hablando del ámbito urbano, tenemos que la representación está compuesta de muros, edificios, calles, carreteras entre otras. (3)

La topografía como cualquier otra ciencia, está en constante actualización; los métodos y equipos del presente libro son los más utilizados, fáciles de estudio y al alcance de cualquier principiante de la topografía, para aplicaciones más avanzadas y precisas es necesario revisar los equipos modernos que se emplean. (3)

a) Compensación

Todas las observaciones están sujetas a errores, pero éstos no deben pasar el límite de la tolerancia. Además, no se deben confundir los errores por descuidos. (3)

- **Compensación analítica**

Se entiende por trabajo de gabinete, a la ordenación de los datos tomados en el campo y los cálculos que con ellos se ejecutan, con objeto de obtener los elementos necesarios para construir un plano.

- **Compensación angular del polígono**

Esta operación consiste en distribuir entre todos los ángulos del polígono, el error angular encontrado, siempre que éste se encuentre dentro de los límites de tolerancia.

Esta corrección puede efectuarse de dos maneras: distribuyendo el error por partes iguales en los ángulos comprendidos entre lados más pequeños, con objeto de que el cierre lineal no sea muy grande; o aplicando la corrección a un ángulo cada cierto número n' de estaciones, para no tomar en cuenta fracciones de minuto y tomando como corrección mínima la aproximación del vernier.

$$n' = \frac{n}{E_A}$$

- ✓ Cálculo de los azimuts de los lados del polígono
- ✓ Transformación de azimuts a rumbos
- ✓ Cálculo de las proyecciones de los lados del polígono
- ✓ Determinación de los errores E_x y E_y .
- ✓ Cálculo del error del cierre lineal

Si se hace coincidir la estación inicial del polígono con el origen del sistema de coordenadas rectangulares, los errores E_x y E_y son las coordenadas del

punto de llegada, la distancia hacia el origen es por tanto el EL. El valor del error del cierre lineal se encuentra entonces aplicando el teorema de Pitágoras.

$$E_L = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Cálculo de la tolerancia lineal. La tolerancia en el cierre lineal de un polígono levantado con tránsito y cinta, se determina con las siguientes fórmulas:

Tabla 2. Tolerancia lineal

Orden	Tolerancia
Preciso	TL = P/10,000
Primer	TL = P/5,000
Segundo	TL = P/3,000
Tercer	TL = P/1,000

Donde P es el desarrollo del poligonal expresado en metros.

- Cálculo de la precisión

La precisión, también llamado error relativo, se calcula dividiendo el error de cierre lineal entre el perímetro del polígono.

$$P = \frac{1}{\frac{\sum L}{E_L}}$$

Tabla 3. Precisión

Precisión	Valor
Taquimetría	1/1 000
Buena	Entre 1/3 000 a 1/5 000
Muy buena	1/10 000

- **Compensación lineal del polígono**

Si el error de cierre lineal EL es menor o igual a la tolerancia lineal TL, se puede hacer la compensación lineal del polígono. En los levantamientos con

tránsito y cinta se tiene la suposición de que los errores E_x y E_y de las proyecciones son proporcionales a sus valores absolutos. Para la corrección lineal del polígono, se calculan los factores unitarios de corrección K_x y K_y .

$$K_x = \frac{E_x}{\sum X_E + \sum X_W}$$

$$K_y = \frac{E_y}{\sum Y_N + \sum Y_S}$$

Se calculan las correcciones multiplicando las proyecciones de los lados del polígono por los factores unitarios correspondientes. Los signos de las correcciones se aplican tomando en cuenta las sumas de las proyecciones E y W o N y S.

Para la compensación de las abscisas, la corrección se resta a las proyecciones cuya suma sea mayor y se suma a aquéllas que corresponden a la suma menor, con el fin de igualar las sumas, las de las proyecciones E y W.

De la misma forma para las ordenadas, N y S, El resultado de esta compensación lineal del polígono es que se cumplan las siguientes condiciones.

$$\sum X_E = \sum X_W$$

$$\sum Y_N = \sum Y_S$$

- ✓ Cálculo de las coordenadas de los vértices del polígono
- ✓ Esta operación de cálculo se describe de manera detallada en el siguiente subtema.
- ✓ Cálculo de la superficie del polígono en función de las coordenadas de los vértices.

2.2.2. Levantamiento topográfico con *Drone*

Global Mediterránea define (4) que “los drones han supuesto una revolución en el trabajo topográfico. En primer lugar, por la importante reducción de costes que suponen. Esto ha permitido, que proyectos que no eran viables por su elevado coste hoy se puedan realizar sin problemas. Y no estamos hablando solo de los costes económicos o de personal, también de tiempo. Por ejemplo, examinar un terreno podía costar días o semanas 25 dependiendo de su extensión. Hoy en día con un *drone* en menos de una hora puedes examinar unas cien hectáreas, con lo que el avance es muy importante”.

Por otro lado, Reyes y otros (5) dicen: “cuando se utilizan drones para un levantamiento, cambia la forma de trabajar, no es necesario definir una serie de puntos a medir, se modela de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo; esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer el trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas”.

De igual manera, Marinez (6), menciona que: “actualmente, y dejando a un lado los usos bélicos tanto defensivos como ofensivos, estos equipos ofrecen amplias posibilidades de aplicación al sector de la ingeniería civil: inspecciones de infraestructuras, investigación atmosférica, levantamientos topográficos, filmación de películas y fotografía deportiva, cultivos de precisión, control de caza, localización de bancos de pesca, mantenimiento de parque eólicos e infraestructuras energéticas, control medioambiental, gestión de riego y desastres naturales, exploración geológico-minera, etc.”.

a) Tipos de levantamiento topográfico con *Drone*

Nos menciona Aguirre (7) en su trabajo de investigación que existen 3 tipos de levantamiento topográfico con dron, los cuales a continuación se mencionan.

- **Levantamientos catastrales**

Son los levantamientos topográficos que llevan como fines definir los linderos de una propiedad. (7)

- **Levantamientos urbanos**

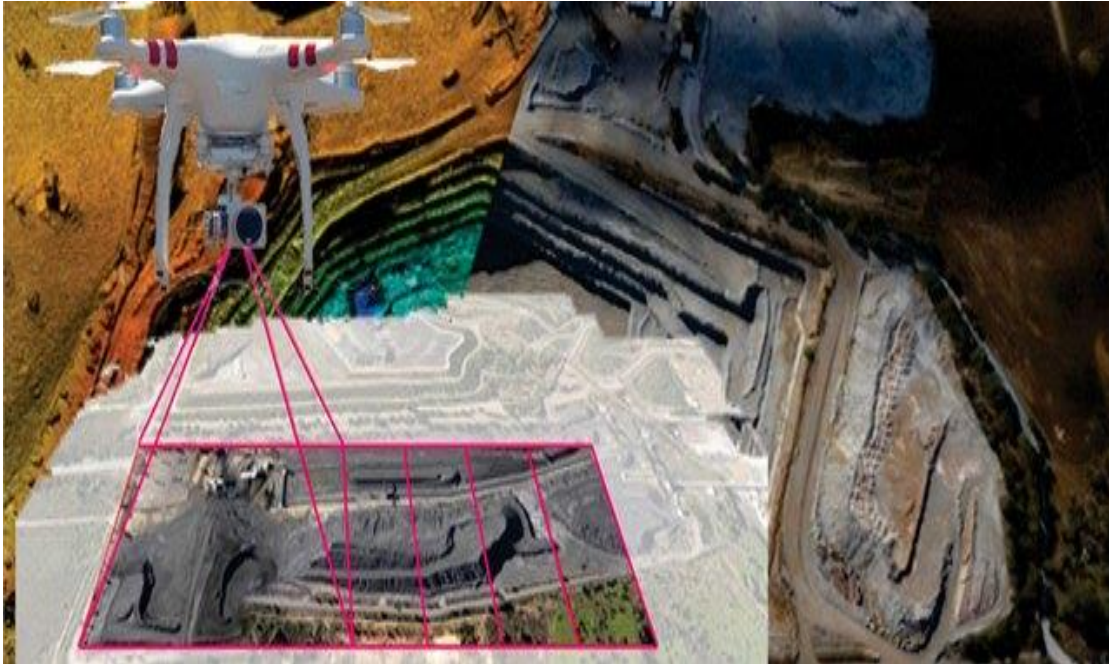
Son levantamientos topográficos de tierras urbanas en la que entra en juego la cartografía de un determinado municipio o puebla incluyendo las propiedades que se encuentran dentro o contiguas a los límites de la ciudad o de otras propiedades de alto valor. Estas tierras suelen justificar una mayor precisión de medición. (7)

- **Levantamientos para proyectos.**

Son levantamientos previos en la que el topógrafo levanta una base de dato del comportamiento del relieve para luego partir a un estudio de diseño geométrico en el que se plantee un proyecto de ingeniería. (7)

b) Fotogrametría con drones

La escala de los mapas básicos preparados a partir de datos de un levantamiento topográfico catastral es de gran importancia, puesto que, si bien en general resulta fácil y conveniente levantar mapas a escala pequeña a partir de un mapa a escala grande suprimiendo detalles y ajustando la posición y la forma de algunos objetos, no es factible preparar mapas a escala grande a partir de un mapa básico a escala pequeña sin realizar nuevos y múltiples trabajos de campo. (8)



**Figura 1. Levantamiento topográfico con Drone
Tomada de Gruasyaparejos/ Fotogrametría con drones**

c) Importancia de los levantamientos topográficos

Menciona Aguirre (7) sobre la importancia del levantamiento lo siguiente: “tienen una gran importancia en el desarrollo de proyectos de construcción de infraestructuras debido a la evolución y avance que se ha producido en esta ciencia por la ayuda de las nuevas tecnologías que permiten llevar a cabo mediciones y descripciones más precisas y exactas; por eso una medida mal tomada o un plano mal realizado puede tener graves consecuencias pues eso supondría una incorrecta representación de la realidad que impediría llevar a cabo construcciones en dicho terreno”.

d) Especificaciones técnicas de equipos de topografía

- Dron DJI MATRICE 210. Este dron brinda soluciones posibles para los distintos trabajos, de topografía ya que brinda fotografías profesionales en cada levantamiento topográfico.



Figura 2. Dron DJI MATRICE 210
Tomada de Grupo Acre – Instrumentos de topografía y medición

Tabla 4. Especificaciones técnicas de Dron DJI MATRICE 210

Modelo	M210
Número de baterías	2
Peso máx. de despegue	6.14 Kg
Tiempo máx. de vuelo (sin carga, con TB55)	38 min
Temperatura de funcionamiento	de -20 °C a 45 °C (de -4 °F a 113 °F)
Carga máxima (2 TB55)	Aprox. 1.57 kg (con dos baterías estándar)
Cámara térmica integrada	La cámara de la Zenmuse XT ha sido desarrollada por FLIR. Proporciona imagen térmica de alta sensibilidad (50 mK) a 640/30 fps o a 336/30 fps según el modelo de cámara.
Velocidad angular máxima inclinación:	300°/s, Giro: 120°/s
CONTROL REMOTO (GL900A)	si



Tomada de Grupo Acre – Instrumentos de topografía y medición

- Dron PHANTOM 2 PRO. Según la página web de Filmora (9): “es un dron que ya no se fabrica, era uno de los mejores productos de DJI. Es muy valorado por su cámara de alta definición integrada, su modo de grabación con estabilizador y su sistema de posicionamiento y transmisión con GPS. En otras palabras, este dron tiene todo lo que un amante de los drones va a pedir para que su experiencia de vuelo sea memorable. Te encantará saber que su función de conexión por wifi también le permite volar más alto que otros drones de su misma categoría”.



Figura 3. Dron Phantom 2 Pro

Tabla 5. Especificaciones técnicas de Dron Phantom 2 Pro

Resolución del sensor:	1" CMOS
Pixeles efectivos:	20 megapíxeles
Resolución de video:	(H.265, H.264) C4K / 4k / 2.7k / FHD 1080p / HD 720p
Tamaño de imagen:	3:2 - 5472 x 3648 / 16:9 - 5472 x 3078
Archivos de foto:	JPG (JPEG), DNG (RAW)
Formatos de video:	MP4/MOV (H.264/AVC; H.265/HEVC)
Modos de video:	24p / 30p / 60p / 96p / 120p
Soporte micro SD:	hasta 128 GB / Clase 10 o U3

Batería inteligente:	5870 mAh / 30 minutos de vuelo
Resistencia máxima a la Velocidad del viento:	10 m/s
Temperatura - rango de funcionamiento:	0° a 40°C

Tomada de Phantom-2-Vision+

2.2.3. Levantamiento topográfico con GPS

a) Elaboración de MDT con GPS diferencial

Según Hinostraza (10) : “para la elaboración del modelo digital de terreno con GPS Diferencial utilizamos el equipo modelo Topcon Hiper V, este modelo es compatible con GNSS (Global Navigation Satellite System) sistema global de navegación por satélite, potenciada con RTK (real time kinematic) navegación cinética satelital en tiempo real”.

b) Metodología de trabajo con GPS diferencial

Según Hinostraza (10), en cuanto al desarrollo “Al comenzar el trabajo procedimos al reconocimiento de la zona de investigación, los puntos de control tienen que esta visibles para ello colocamos un hito de concreto para punto establecido o también conocido como azimut”.



Figura 4. Hito de concreto como punto de control
Tomada de Hinostraza

Además, Hinostroza (10) menciona: “El sistema de coordenadas a emplearse fue el WGS 84 y todas las mediciones estarán atadas a los puntos base, el método que utilizamos para la medición fue estático diferencial por radiación, la planificación permite recolectar la data GPS sin problemas de alto PDOP. Para la medición cada punto tomado tuvo que estar como mínimo 5 minutos para garantizar un control de calidad de la data recolectada, para realizar el levantamiento se verifico lo siguiente”.

- ✓ Verificamos el equipo Topcon Hiper V
- ✓ Verificamos que estén completos los accesorios del equipo
- ✓ Verificamos las baterías que estén cargados y en buen estado
- ✓ Verificamos que los trípodes no tengan ningún defecto
- ✓ Y sobre todo verificamos que los equipos estén calibrados



○ **Figura 5. Verificación y nivelación del GPS diferencial
Tomada de Hinostroza**

También Hinostroza (10) menciona: “Para el procesamiento del levantamiento de nube de puntos, obtenidos los puntos de control procedemos a monumentar la poligonal respectivo, posteriormente se procedió con el levantamiento para la obtención de la nube de puntos utilizando el software AutoCAD Civil 3D, después de ello pasamos a elaborar el modelo digital del terreno”.

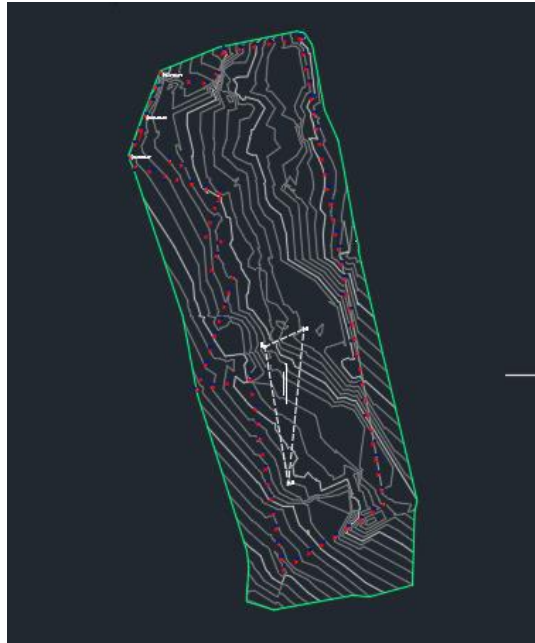


Figura 6. Exportación de los puntos con GPS Diferencial al programa AutoCAD 3D civil Tomada de Hinostroza

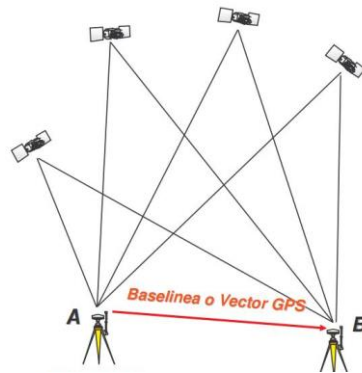


Figura 7. Verificación y nivelación del GPS diferencial Tomada de Hinostroza

2.2.4. Cálculo de volumen de mineral fragmentado

El cálculo de volumen primero debemos determinar el modelo digital del terreno, para esto se revisó anteriormente que la base de datos topográficos del cual se va a realizar la importación de puntos esté bien organizada en filas y en columnas antes de realizar la importación. Esta acción evita que al realizar la importación del fichero de datos al software no produzca errores.

Por otro lado, Hinostroza (10) menciona: “calcular el volumen de masa minera extraída de los frentes de excavación era taquimétrico, con el cual se tomaban

las secciones transversales paralelas en perfiles de este a oeste en las zonas de trabajo de los cuerpos minerales donde se realizaban las labores mineras, tomando todas las diferencias en el terreno que variaran más de 30 cm a ambos lados del instrumento siguiendo la línea del perfil o sección”.

De igual manera, Hinostroza (10) menciona que “el trabajo se desarrolló satisfactoriamente y estuvo vinculado a la temática del cálculo de volumen con los softwares Surfer, Cartomap y AutoCAD Civil 3D, durante su desarrollo mostró independencia y responsabilidad”.

a) Métodos de cálculo de volumen de mineral fragmentado

- Menciona Quesada (11): “El método de proyección de superficies es utilizado por sistemas informáticos asociados principalmente a la Topografía y la Ingeniería Civil. En este método se proyectan los polígonos del MDT hacia un plano inferior o superior, formando prismas de bases triangulares o rectangulares, como se muestra en las siguientes imágenes”.

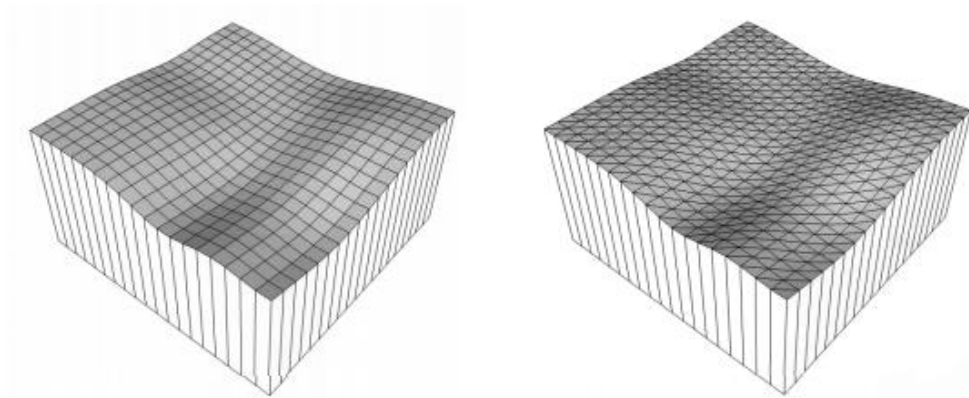


Figura 8. Prismas formados a partir de la proyección de los polígonos de un modelo digital de terreno a un plano horizontal inferior

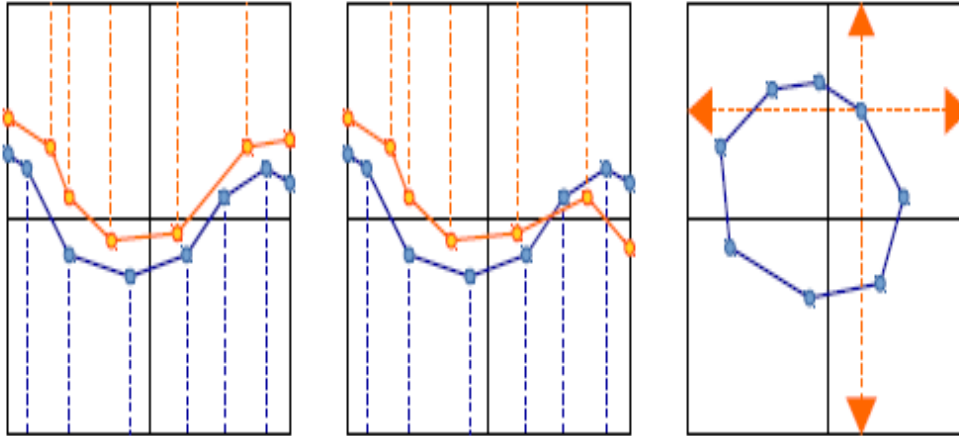


Figura 9. Representación gráfica de problemas existentes en la proyección del modelo digital de terreno

- Menciona (12) el “método de subdivisión recursiva conocido también como subblocking, es el principal método utilizado en el software GEOVIASurpac para determinar el volumen parcial del material contenido en los bloques. En este método se subdividen recursivamente en octantes los bloques interceptados por la superficie hasta un umbral dado, como se muestra en la Figura 4. Después de la subdivisión se eliminan los bloques que están fuera del dominio geométrico”.

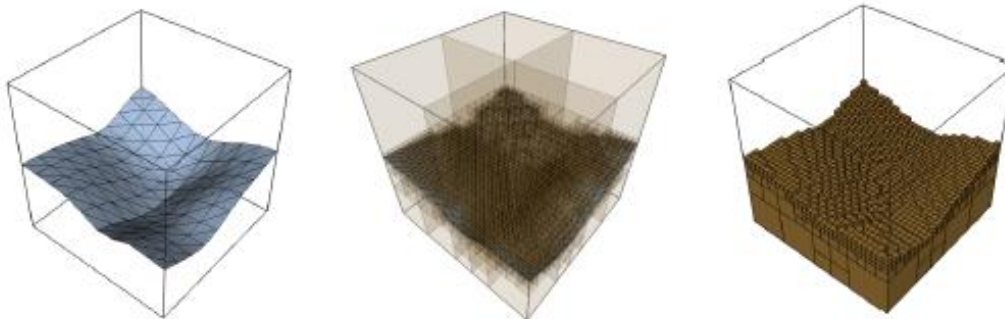


Figura 10. Utilización de la subdivisión recursiva del espacio para calcular el volumen aproximado del material contenido en un bloque

- Menciona Turne (11): “El método de los tetraedros es utilizado por sistemas informáticos que realizan análisis de elementos finitos. En este método el dominio geométrico se divide en elementos volumétricos simples, específicamente en tetraedros, como se muestra en la Figura 5”.

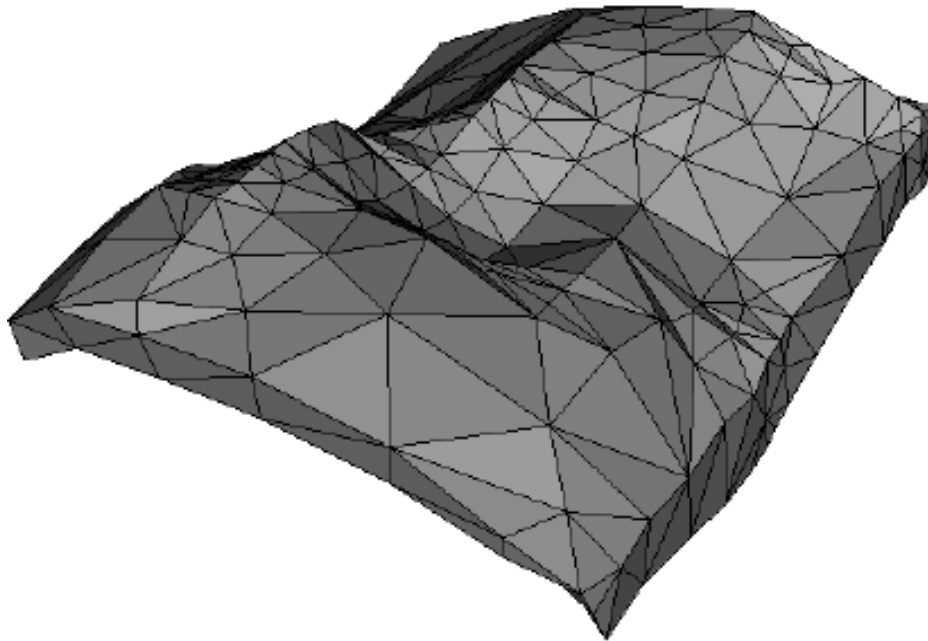


Figura 11. Malla de tetraedros que representa una estructura geológica

- Por otro lado, Quesada (13) menciona: “el método de los segmentos de líneas. En el método de los segmentos de líneas se sigue el principio de integración de Riemann, para determinar el volumen bajo una superficie. La idea principal de este método consiste en utilizar un conjunto de segmentos de líneas espaciados regularmente, los cuales se usan para determinar los puntos de intersección entre los segmentos de líneas y los polígonos del MDT. Después de determinar los puntos de intersección se crean ortoedros, con una altura igual a la longitud del segmento de línea contenido en el dominio geométrico, como se muestra en la siguiente figura”.

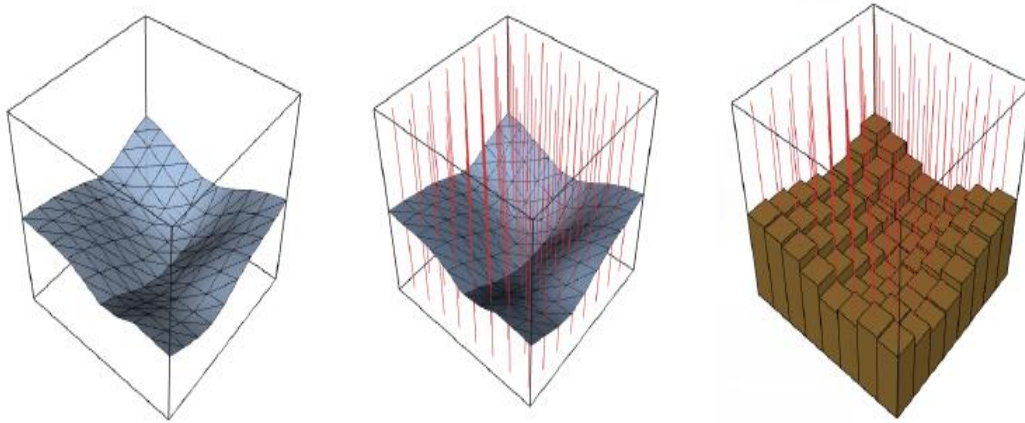


Figura 12. Utilización de segmentos de líneas para calcular el volumen aproximado del material contenido en un bloque

b) Permisos de vuelo emitidos por el estado

En la Normativa Vigente NTC 001-2015 (14) se menciona “conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo”.

Asimismo, se encuentra lo siguiente:

- ✓ Registro: Todo propietario de un RPAS deberá registrarlo en la DGAC, Dirección de certificaciones y autorizaciones(14).
- ✓ Como resultado del Proceso de registro, la DGAC otorgará al operador la correspondiente " Tarjeta de registro" que contiene los datos básicos del propietario y del RPAS (14).
- ✓ Toda persona que opere o pilotee a distancia un RPAS para usos diferentes a la práctica aerodeportiva o recreativa, deberá contar con una acreditación de Operador RPAS. (14)

2.3. Definición de términos básicos

✓ Agrimensura

Procedimientos empleados para medir la superficie de terrenos y fraccionarlos. (3)

✓ **Alineamiento incorrecto**

Cuando la alineación se separa de la dirección verdadera. (3)

✓ **Altimetría**

Determina las alturas de diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia. (3)

✓ **Altura**

Es la distancia de un punto vertical a un plano horizontal de referencia. (3)

✓ **Altura del instrumento:**

Determina el centro del eje de muñones desde la Altura de cualquier equipo topográfico. (3)

✓ **Catenaria**

Error cuando la cinta no se apoya sobre el terreno, sino que se mantiene suspendida por los extremos, formando entonces una curva llamada catenaria. (3)

✓ **Compensación angular**

Distribuir entre todos los ángulos de un polígono el error angular encontrado. (3)

✓ **Coordenadas**

Son los datos de un punto longitudinal y latitudinal en la superficie de un plano horizontal. (3)

✓ **Croquis**

Dibujo a mano libre y es la guía para la construcción de un plano. (3)

✓ **Drone:**

Es un objeto volador no tripulado capaz de ser manejado a distancia o trazar sus propias rutas mediante GPS. (15)

✓ **Escala numérica**

Relación de la distancia del plano y la distancia del terreno. (3)

✓ **Exactitud**

Es la aproximación a la verdad. (3)

✓ **Inclinación de la cinta**

Colocar en posición horizontal la cinta". (3)

✓ **Fotogrametría**

Es la técnica que tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías. (16)

✓ **GPS**

El GPS está basado en un sistema satelital (SV) el cual es operada por Estados". (3)

✓ **GSD**

(Ground Sampling Distance) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. (3)

✓ **Levantamiento**

Obtención de datos de campo útiles para representar un terreno en un plano. (3)

✓ **Libreta de campo**

De pasta dura y buena calidad de papel, de tamaño adecuada para llevarse en un bolsillo. (3)

✓ **Mina**

“Un lugar donde existe excavación o corte en la superficie con el propósito de extraer mineral”. (3)

✓ **Notas aclaratorias**

“Empleadas para explicar lo que los datos numéricos y los croquis dejan de hacer”. (3)

✓ **Orientación magnética**

“Tiene por objeto conocer el azimut de una línea”. (3)

✓ **Planimetría**

“Métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la posición de los puntos del terreno”. (3)

✓ **Planografía**

“Representación gráfica del dibujo topográfico”. (3)

✓ **PPK**

“Pros proceso” (3)

✓ **Precisión**

“Grado de refinamiento en las lecturas o grado de refinamiento para ejecutar una operación”. (3)

✓ **Proyección horizontal**

“Tiene signo positivo si va hacia el Este y negativo si va al Oeste, de manera general se utiliza la letra X”. (3)

✓ **Proyección vertical**

Tiene signo positivo si va hacia el Norte y negativo si va hacia el Sur, de manera general se utiliza la letra. (3)

✓ **Reconocimiento del terreno**

Para elegir el método adecuado, estimar el tiempo y personal necesario, definir vértices del polígono base. (3)

✓ **RTK**

Este término en inglés (Real Time Kinematic) o navegación cinético satelital que da resultados en tiempo real, usada en topografía. (3)

✓ **Tolerancia**

Error máximo admisible en la medida de ángulos, distancia y desniveles. (3)

✓ **Topografía**

La topografía del griego topos, lugar, y graphein, describe Como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de superficie terrestre, por medio de medidas, y usando tres elementos del espacio. (17)

✓ **Topografía de minas**

Fija y controla la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales. (3)

✓ **Topografía hidrográfica**

Estudia la configuración de océanos, lagos, ríos. Con propósitos para la navegación, suministro de agua o construcciones subacuáticas. (3)

✓ **Topografía urbana**

Operaciones para la disposición de lotes, construcción de calle, sistemas de agua potable y drenaje. (3)

✓ **Topología**

Estudia las leyes que rigen la forma del terreno. (3)

✓ **Topometría**

Establece los métodos geométricos de medidas. (3)

✓ **Trazo**

Procedimiento operacional con finalidad el replanteo sobre el terreno las condiciones de un plano. (3)

✓ **Valor más probable**

Es la que más se acerca al valor verdadero. (3)

✓ **Valor observado**

Resulta de la observación y experimentación. (3)

✓ **Valor verdadero**

Está exento de todo error. (3)

✓ **Variaciones de temperatura**

Errores debidos a las variaciones de temperatura, son reducidos utilizando cintas de metal. (3)

✓ **Variaciones en tensión**

Cuando las cintas son elásticas, se alargan cuando se les aplica una tensión.
(3)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El método de investigación es científico, ya que seguiremos pasos ordenados con la finalidad de conocer la planimetría y altimetría, por el cual este determinara el modelo analítico de parámetros para el levantamiento topográfico con drones en unidad minera Las Bambas.

3.1.2. Nivel de investigación

El trabajo de investigación es de nivel explicativo, ya que este determina las diferentes alturas y las cotas altimétricas con el dron para la determinación del modelo analítico para la fotogrametría con dron.

3.2. Diseño de la investigación.

La investigación de tesis tiene como diseño experimental por lo que este manipula las variables de vuelo como a 40, 50 y 60 metros de altura y tiene como resultado la planimetría y altimetría para el cálculo de volumen de mineral fragmentado en frente carguío.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Para este proyecto de tesis se considera como población el tajo Ferrobamba, donde se necesita realizar actividades de levantamiento topográfico, El cual colinda entre las provincias de Cotabambas y Grau de la región Apurímac.

3.3.2. Muestra

De acuerdo a lo mencionado anteriormente para este proyecto de investigación se tomó como muestra la fase 3 del tajo de Ferrobamba, el cual está ubicada en la zona de influencia de la unidad minera Las Bambas.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Para la presente investigación se empleó la observación.

3.4.2. Instrumento:

Como instrumento se emplea GPS donde capta cada punto y esta información es transferida al formato Xls (Excel) o txt (Bloc de notas) diseñada para el levantamiento topográfico.

3.4.3. Métodos de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se empleó el Microsoft Excel, aplicando la estadística inferencial y descriptiva, para hallar los datos estadísticos sobre el cálculo del volumen.

Autodesk Civil 3D 2021, software de diseño de ingeniería con funciones integradas para mejorar el dibujo, el diseño y la documentación que se obtiene en campo.

Trimble business center 5.4, descarga automáticamente y dibuja puntos de levantamiento en el campo, permite obtener datos GNSS exactos, genera entregables para AutoCAD.

3.4.3. Aspectos éticos

La presente investigación tomó en cuenta las consideraciones éticas como la confidencialidad y reserva, por lo que los resultados de la investigación no serán empleados en aspectos administrativos o de orden legal que pueda perjudicar al profesional de planeamiento de la unidad minera Las Bambas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

El resultado obtenido aplicando *Drone* para elaborar modelos digitales en frentes de minado en la unidad minera Las Bambas, así como el uso de software especializado, técnicas topográficas, estos mismos han sido integrados para obtener finalmente el estudio, en el presente trabajo de investigación.

4.1.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en el tajo Ferrobamba fase 3 dentro de la unidad minera MMG Las Bambas. El cual está ubicado entre los distritos de Tambobamba, Coyllurqui y Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, distrito de Progreso y provincia de Grau, en la región Apurímac, a una altitud que varía entre los 3.800 y 4.600 m s. n. m., a aproximadamente 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco.



Figura 13. Mapa de ubicación de unidad minera Las Bambas en Perú



**Figura 14. Mapa de ubicación de Unidad Minera Las Bambas en Perú
Tajo Ferrobamba 2
Tomada de Google Map**

4.1.2 Equipos y softwares utilizados

a) Equipos

- ✓ Teodolito electrónico
- ✓ GPS diferencial
- ✓ Done

b) Softwares.

- ✓ HxGN MinePlan 3D
- ✓ Agisoft Metashape
- ✓ HxGN MinePlan 3D para actualizar la topografía real en una hora y 20

4.1.3. Métodos de levantamiento topográfico con *drone*

a) Puntos de control (GCP).

Los puntos de control (GCP) se utilizan para georreferenciar con precisión y alinear proyectos desde una precisión relativa.

Ground Control Points (GCPs)

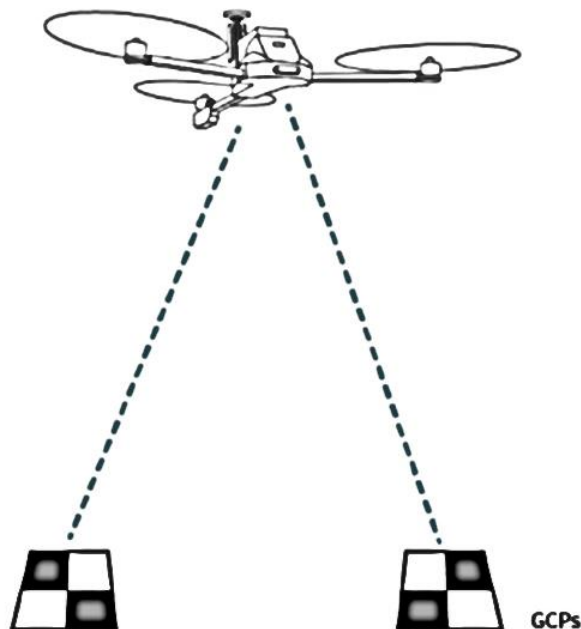


Figura 15. Puntos de control (GCP)



Figura 16. Puntos de control (GCP)

b) Tiempo real (RTK real time kinematic)

(RTK) La cinemática en tiempo real es una técnica utilizada para mejorar la precisión de los datos de posición derivados de los sistemas de posicionamiento basados en satélites, que se basa en una sola estación de referencia o una estación virtual interpolada para corregir ubicaciones geotiquetados durante el vuelo. En otras palabras, RTK es un método de corrección que mejora la precisión GNSS.

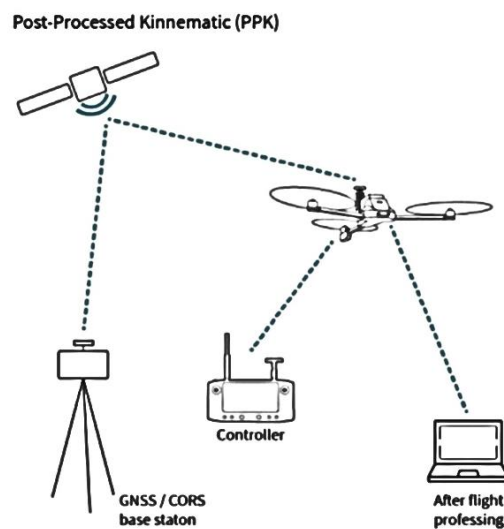


Figura 17. Tiempo real (RTK real time kinematic)



Figura 18. Tiempo real (RTK real time kinematic)

c) Postproceso (PPK)

PPK Un método alternativo a RTK es la cinemática de post procesamiento. Esta técnica cinemática corrige la precisión de las etiquetas geográficas después de capturar y cargar datos de drones. Los datos se corrigen en el administrador de datos de vuelo (FDM) y luego se procesan en la nube.

Real-Time Kinematic (RTK)

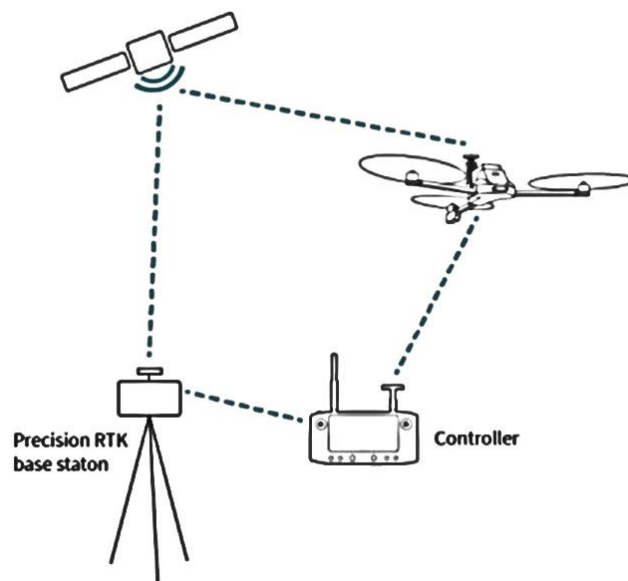


Figura 19. Postproceso (PPK)

4.1.3 Proceso de aplicación de *drone* para elaborar modelos digitales en frentes de minado

Para obtener la información precisa de tajo Ferrobamba Fase 3 se colocó el GPS diferencial en 4 puntos tal como se muestra en la figura siguiente.



Figura 20. Colocación de puntos georeferenciales

Una vez identificada los puntos se procedió a realizar el plan de vuelo utilizando el software HxGN MinePlan 3D, donde el dron se dirige a cada punto georeferenciado. Tal como se muestra en la figura siguiente.

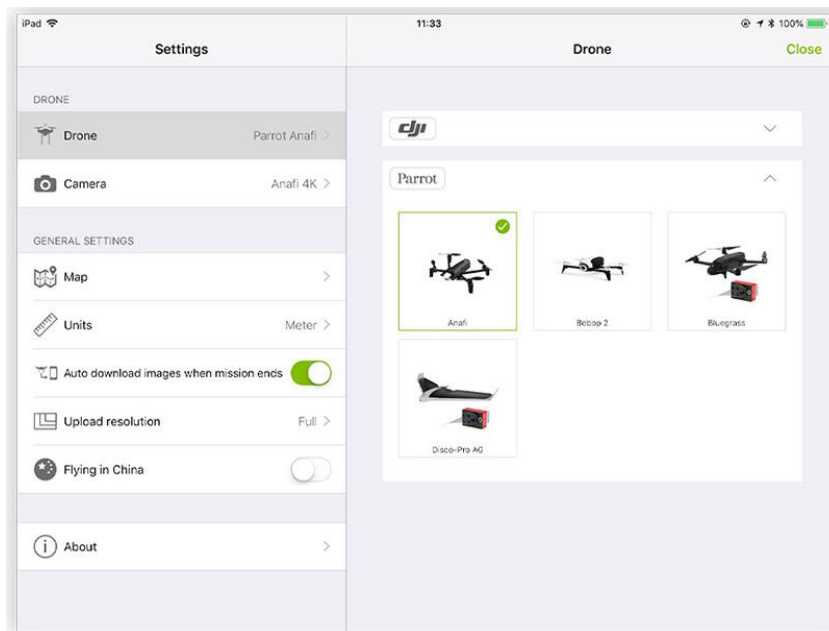
a) Plan de vuelo con DJI PHANTON 4

Dentro de la tablet se tiene un aplicativo DJI PHANTON 4.



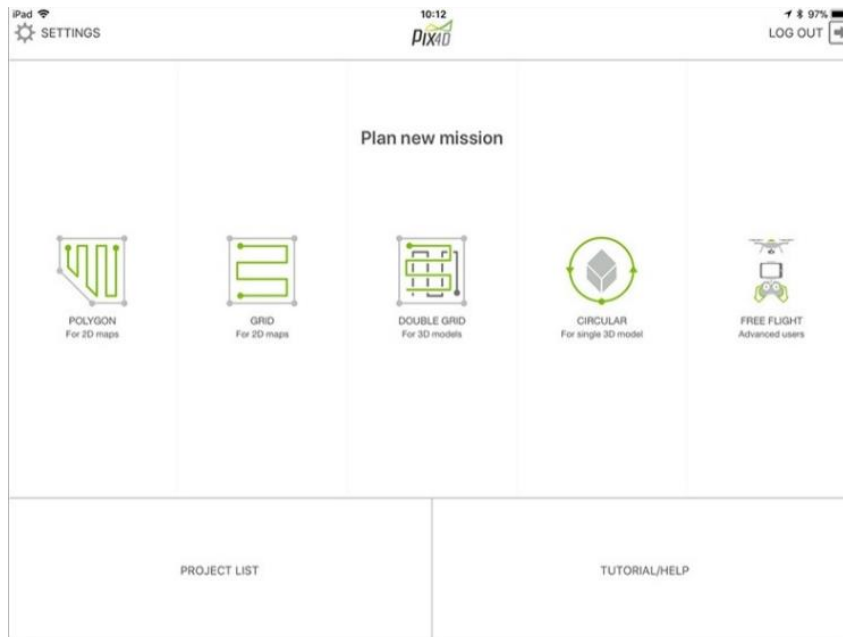
**Figura 21. Aplicativo DJI PHANTON 4
Tomada de PIX4Dcapture DJI PHANTON 4**

Abrimos PIX4Dcapture y seleccionamos el dron haciendo clic en sistema DJI, tal como se observa en la figura.



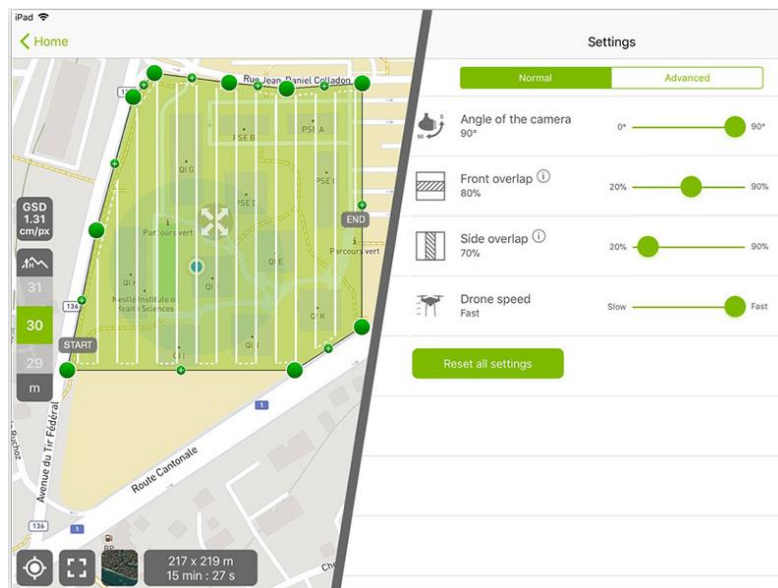
**Figura 22. Selección de Drone
Tomada de PIX4Dcapture DJI PHANTON 4**

Seleccionamos una misión en levantamiento topográfico para elaborar modelos digitales en frentes de minado, tajo ferrobamba fase 3, tal como se observa en la siguiente figura.



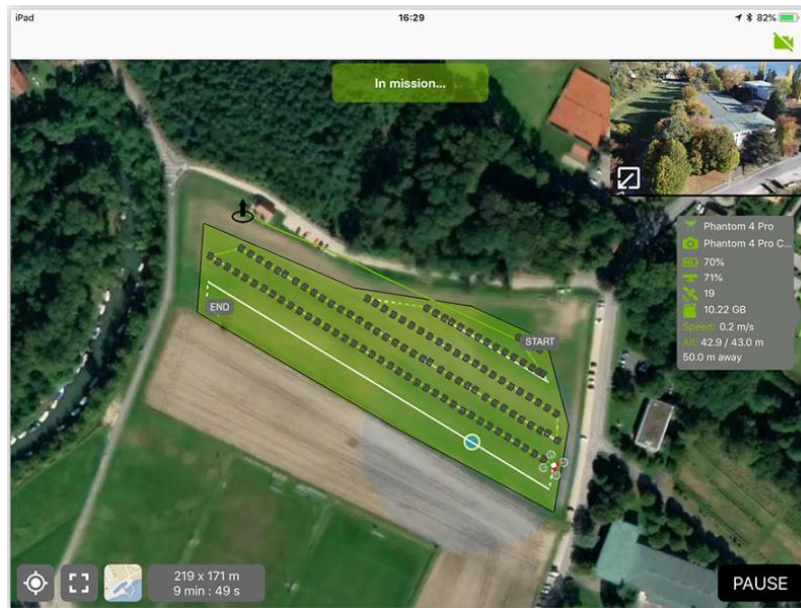
**Figura 23. Seleccionamos de misión
Tomada de PIX4Dcapture DJI PHANTON 4**

En esta parte realizamos el ajuste y los parámetros del plan de vuelo del *drone*, por lo que mapeamos el tajo ferrobamba fase 3 en frente minado tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 24. Ajuste y los parámetros del plan de vuelo del drone
Tomada de PIX4Dcapture DJI PHANTON 4**

Inicio de vuelo del *drone* en vivo usando la vista del mapa y la cámara por lo se observa la altitud y velocidad de vuelo, tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 25. Inicio de vuelo del Drone en vivo
Tomada de PIX4Dcapture DJI PHANTON 4**

En la siguiente figura se puede apreciar el manejo del Drone mediante el control de mando en tajo Ferrobamba Fase 3.



Figura 26. Vuelo de drone



Figura 27. Vuelo de drone

b) Agisoft Metashape

Una vez realizada los puntos georreferenciales y el plan de vuelo se procede a descargar las imágenes con el Software Agisoft Metashape, se crea el archivo, y se guarda en una carpeta donde este las fotos y los puntos de control.

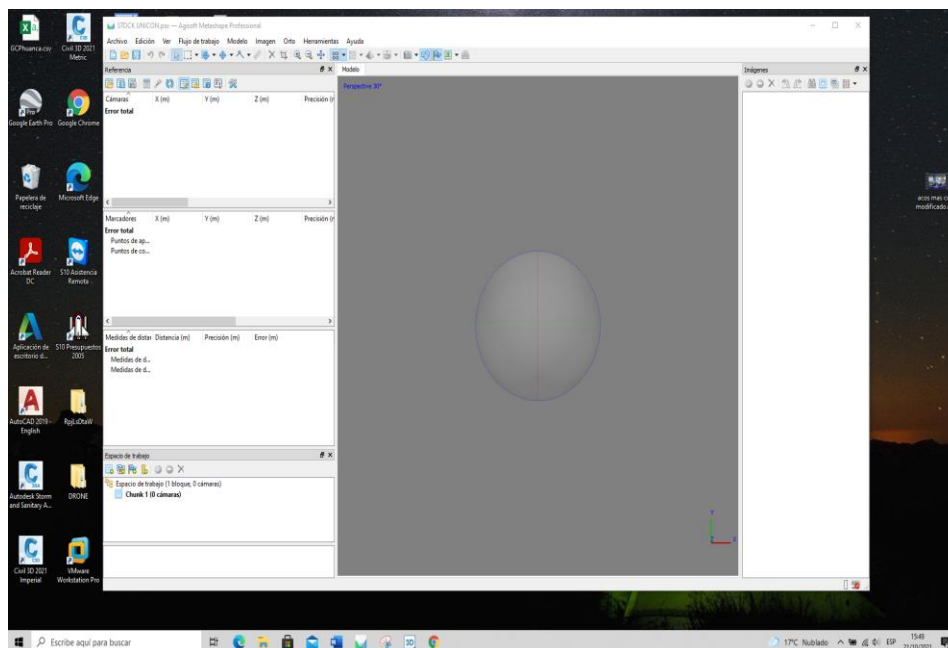


Figura 28. Importación de fotos

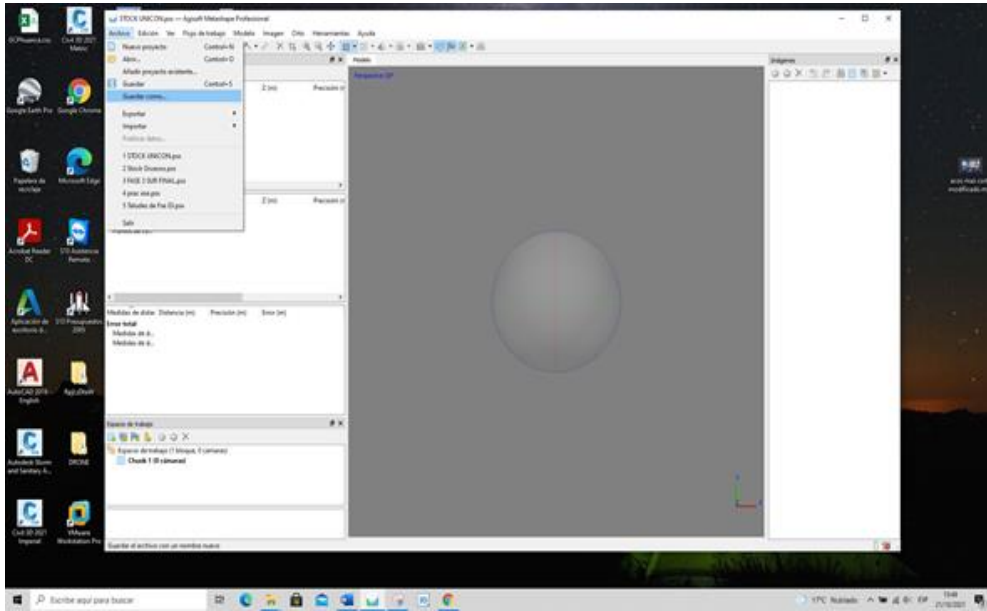


Figura 29. Importación de fotos

En la figura anterior, muestra donde se Importar las fotos de campo los cuales se encuentra en una carpeta, por lo que se procedió a añadir fotos desde la pestaña flujos y añadir fotos (se puede añadir desde una carpeta o seleccionando todas las imágenes), tal como se muestra en las siguientes imagines.

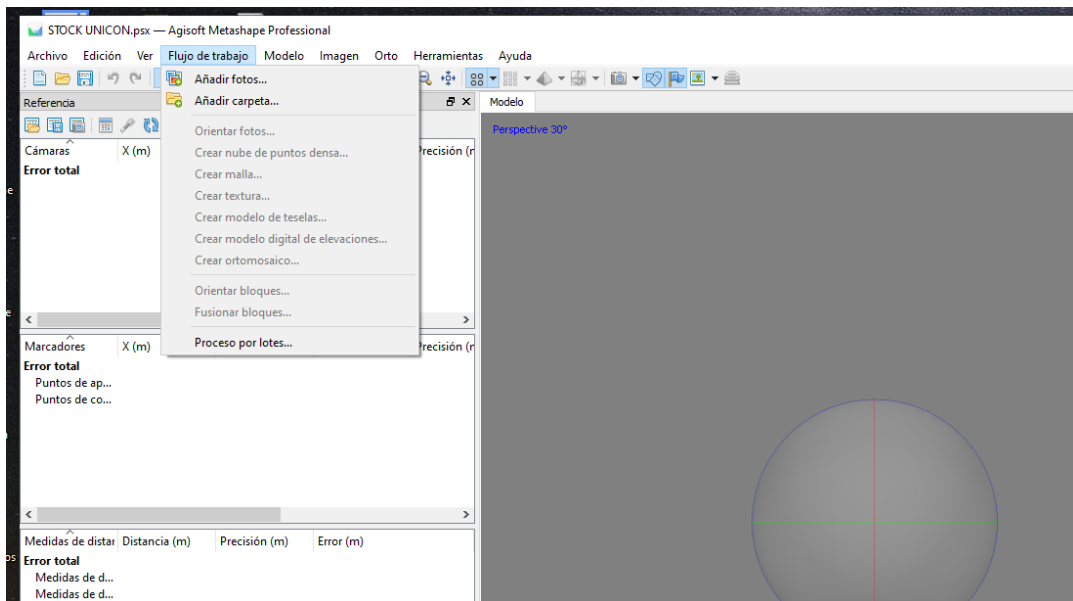


Figura 30. Importar imágenes

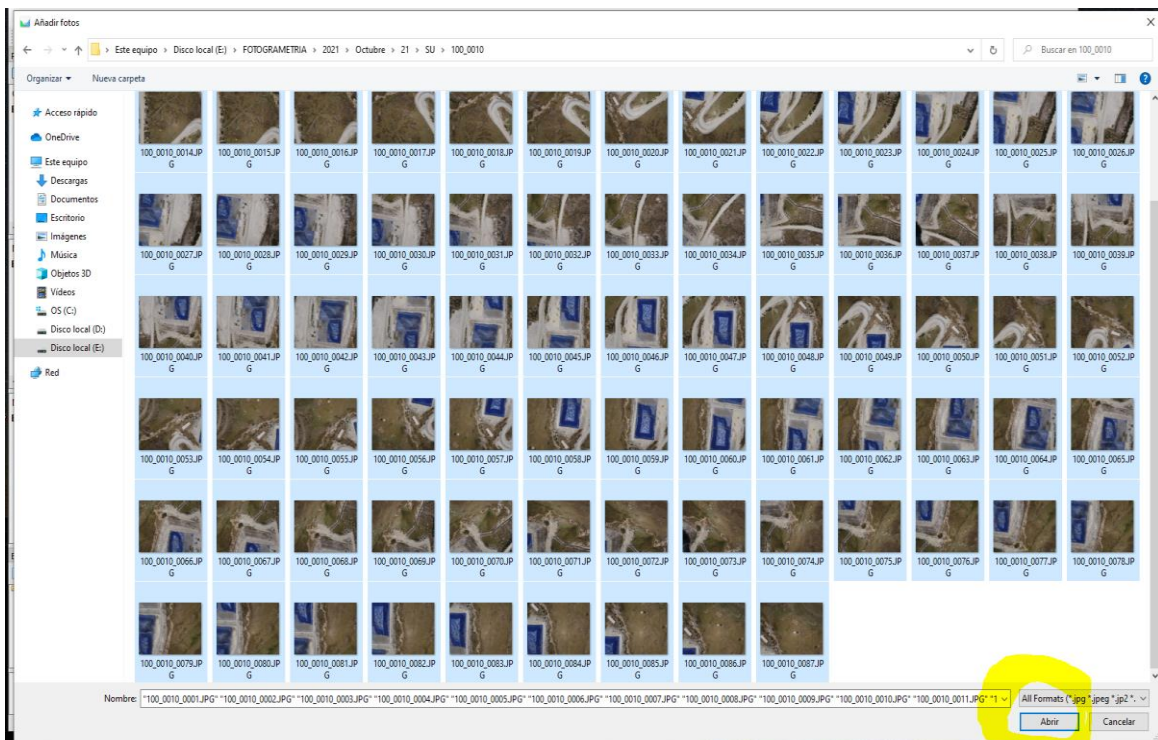
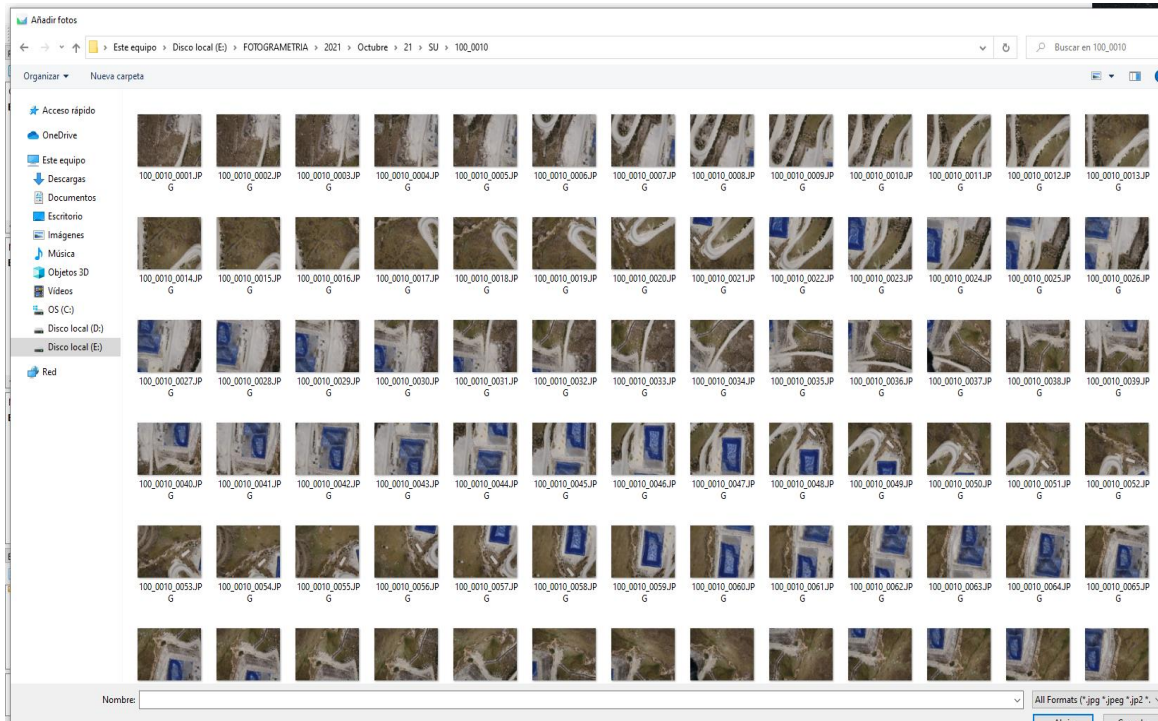


Figura 31. Imágenes importadas

Una vez importado, nos aparece las imágenes dentro del programa tal como se muestra en la siguiente figura.

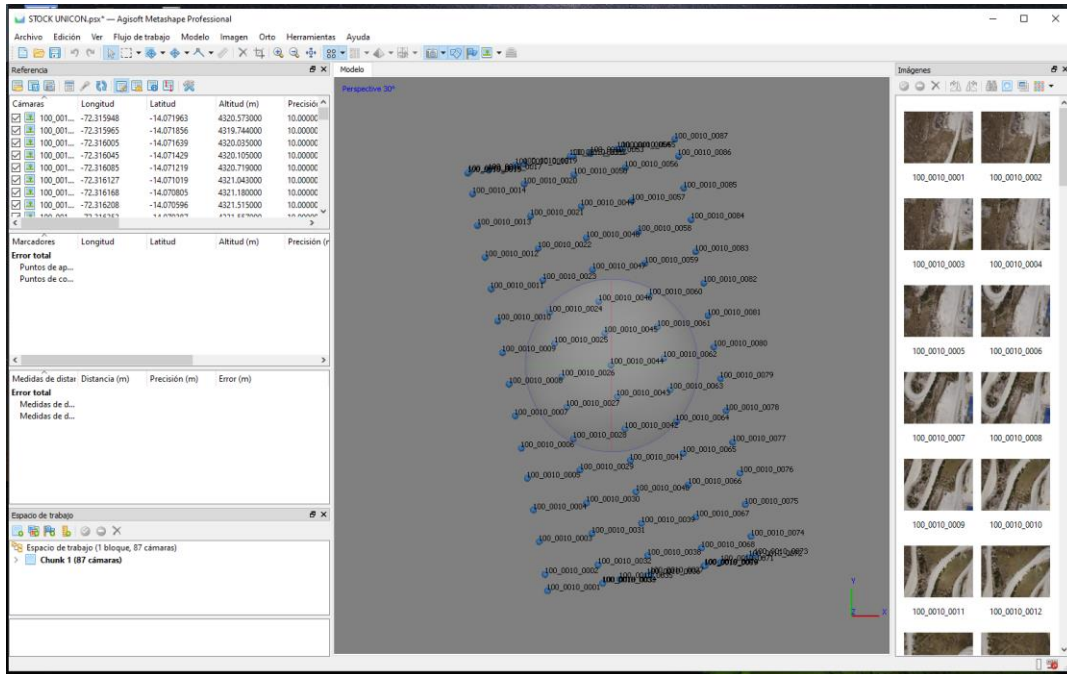


Figura 32. Imágenes importadas

En este paso tendremos que cambiar las Coordenadas a UTM a la zona donde nos encontremos para lo cual nos dirigimos a convertir coordenadas tal como se ve in la siguiente figura:

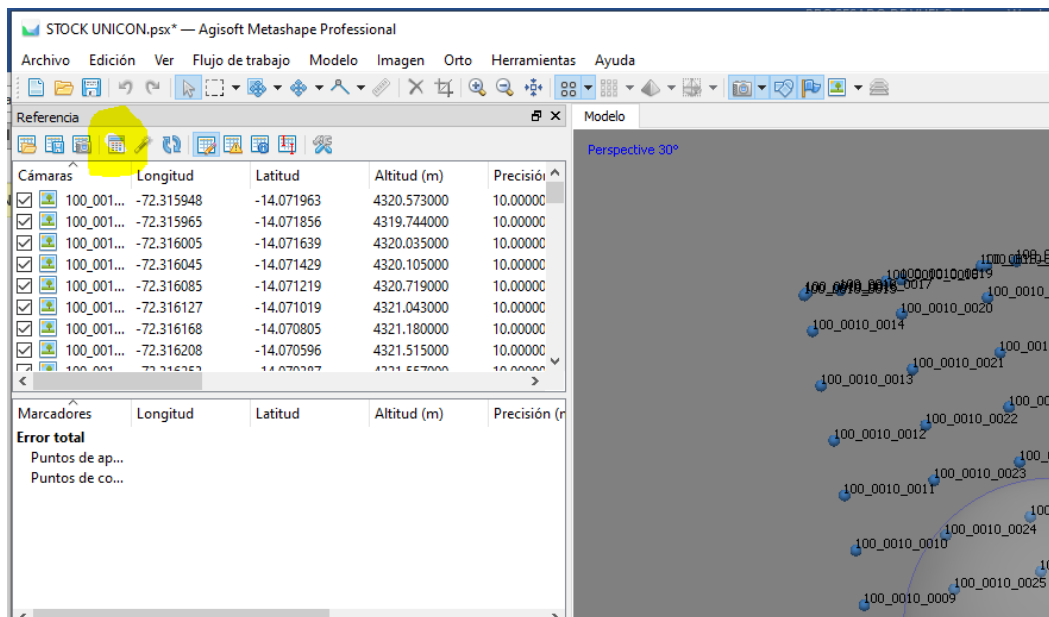


Figura 33. Cambio der las coordenadas a UTM

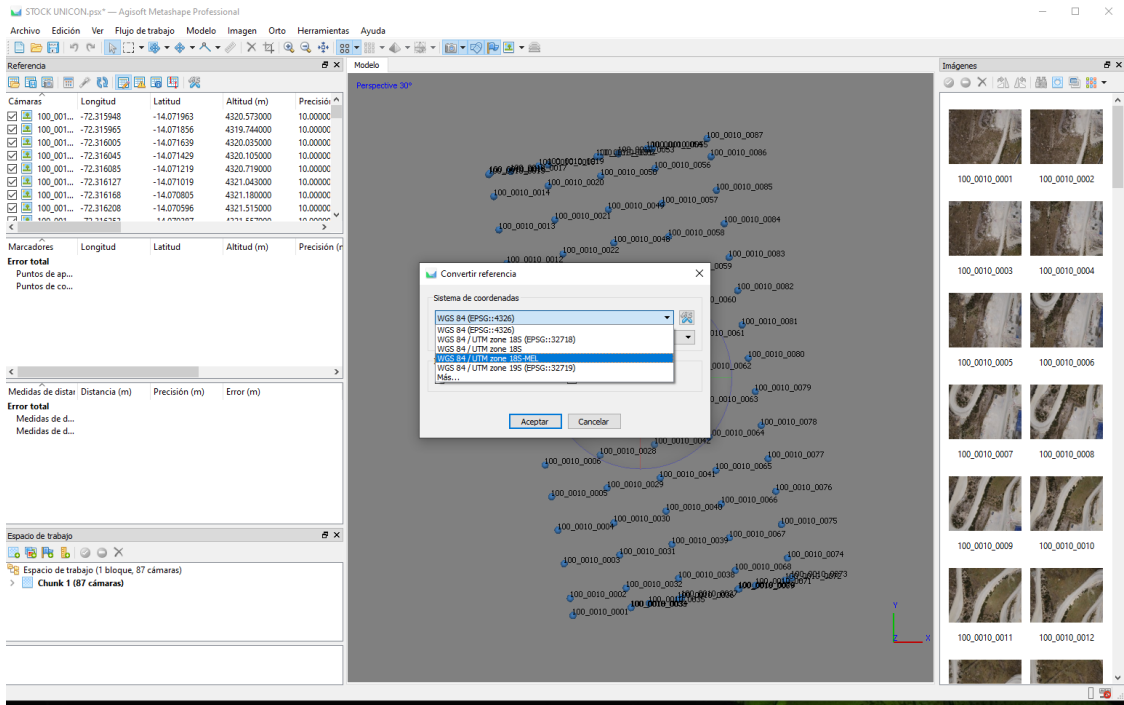


Figura 34. Cambio de las coordenadas a UTM

Una vez seleccionada las coordenadas procedemos a cambio de latitud y longitud a coordenadas, tal como se puede observar en la siguiente figura.

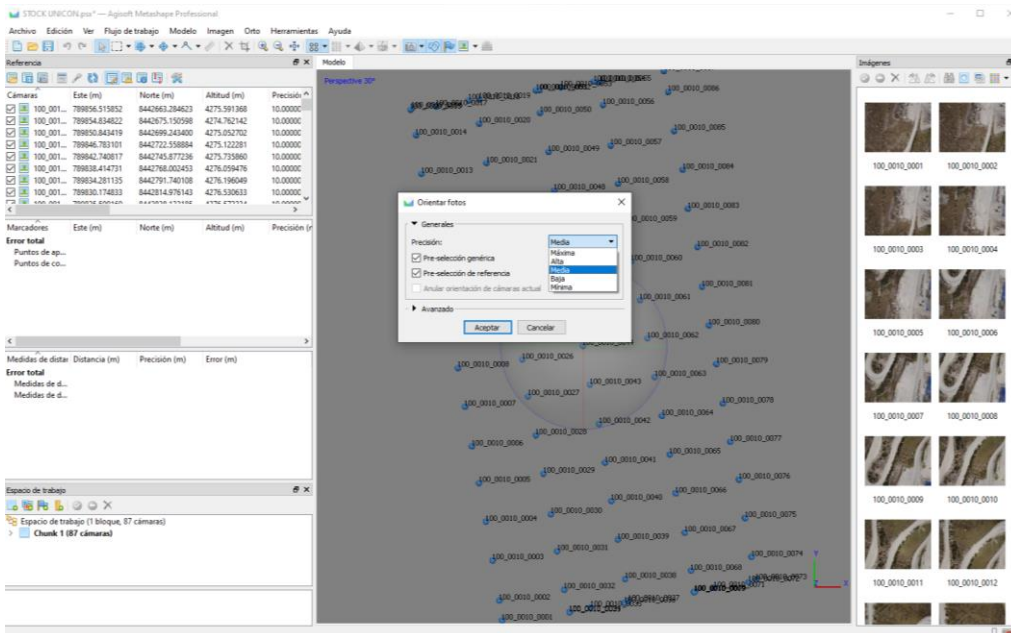


Figura 35. Cambio de coordenadas

En este paso se realizó la orientación de las imágenes haciendo clic en la pestaña Flujo de Trabajo y luego la pestaña Orientar Fotos, tal como se observa en la figura siguiente.

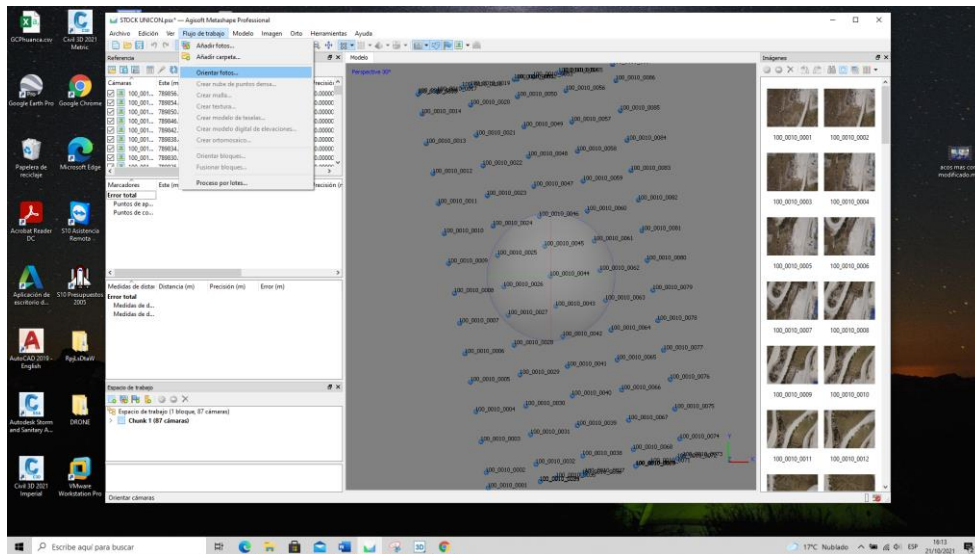


Figura 36. Orientación de las imágenes

En la cual tendremos varias opciones para escoger y procesar de acuerdo a nuestro trabajo, tal como se muestra en la figura siguiente.

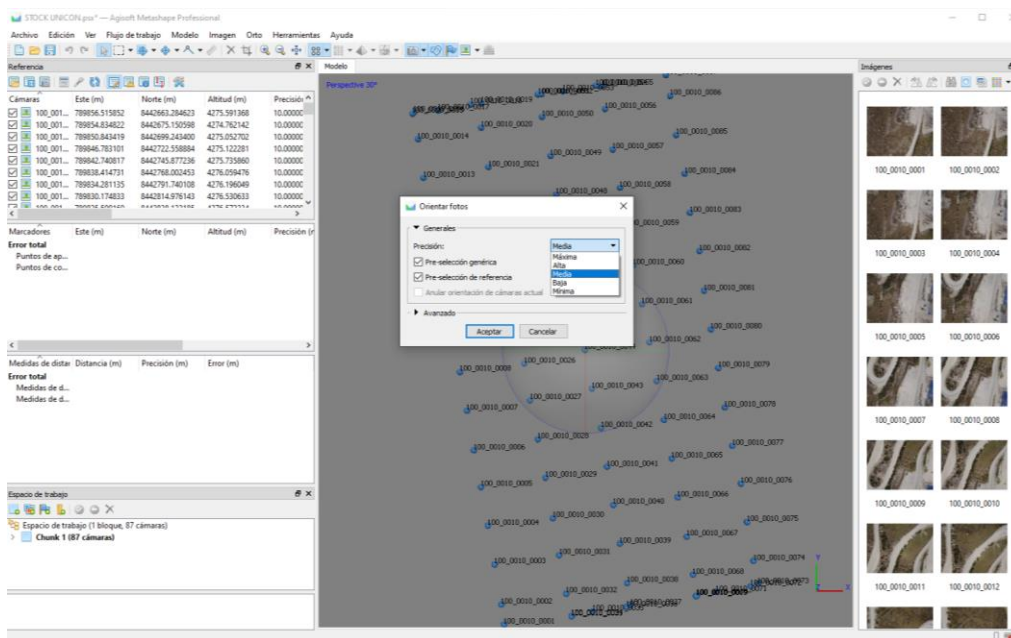


Figura 37. Escoger y procesar

Si siguiendo al anterior paso, aceptar y el software comenzara a ajustar las fotos, tal como se muestra en la figura siguiente.

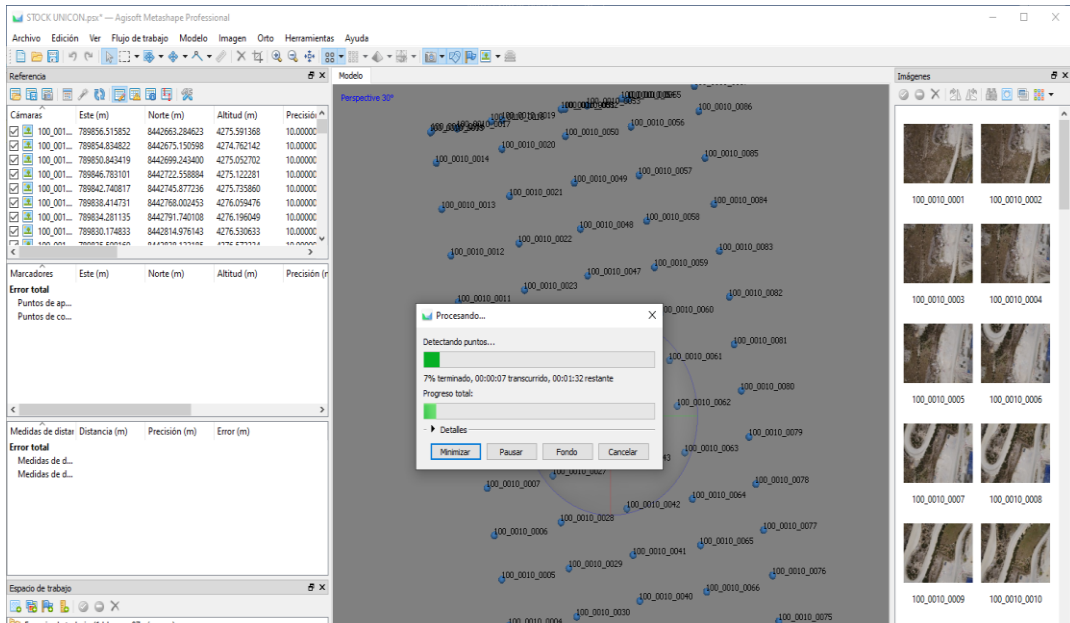


Figura 38. Ajuste de las fotos

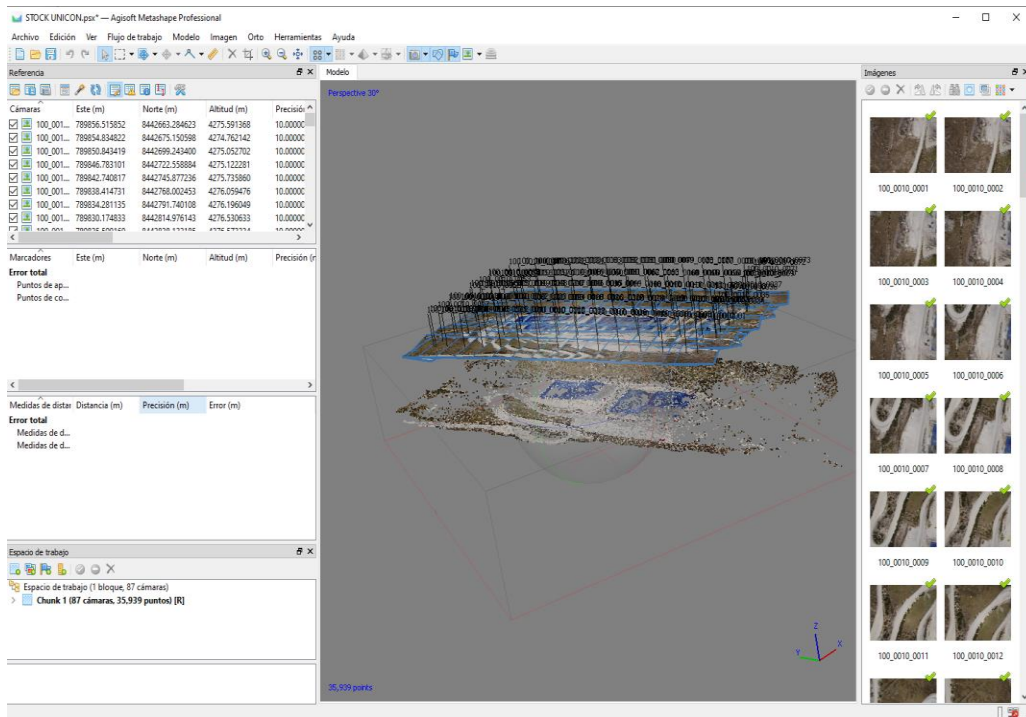


Figura 39. Ajuste de las fotos

En este paso se importó nuestros puntos de control las cuales se tomaron en campo tal como se observa en la siguiente figura.

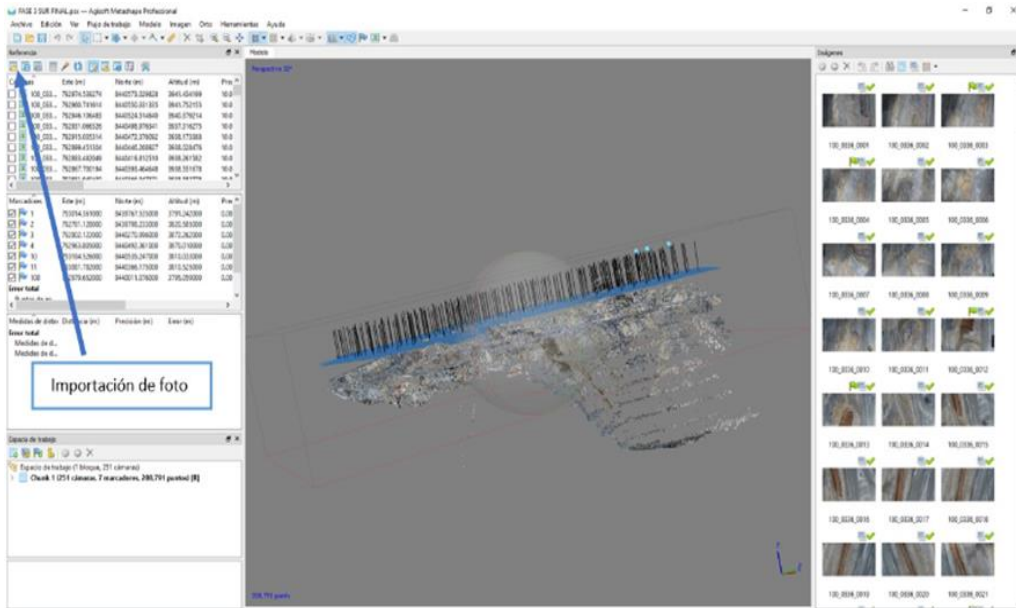


Figura 40. Importación de imágenes

En este paso se verifico la ubicación de sistema de coordenadas y los puntos de control de acuerdo a las columnas aceptamos y indicamos si a todo, tal como se observa en la siguiente figura.

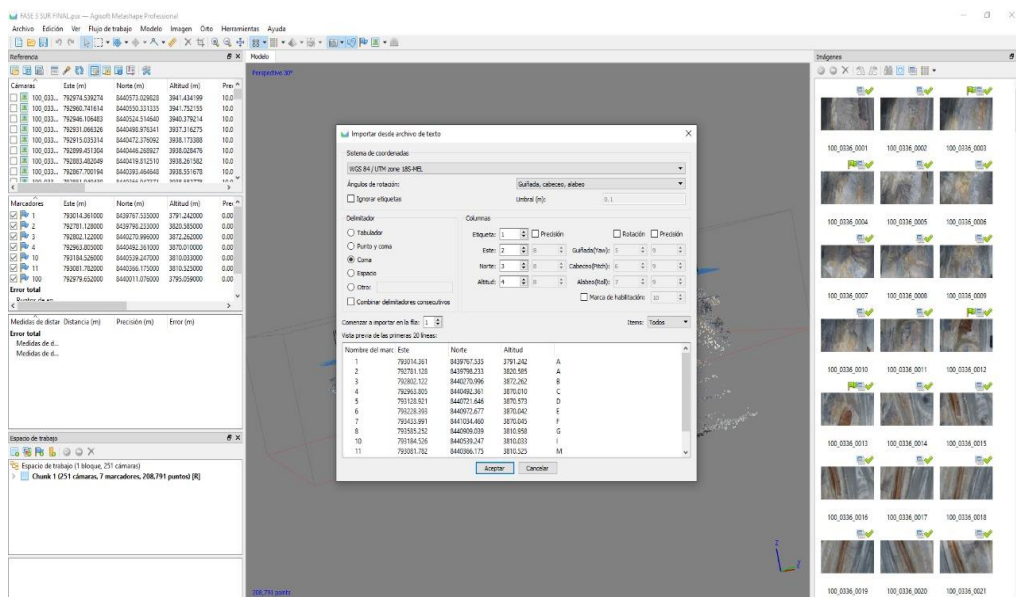


Figura 41. Ubicación de sistema de coordenadas y puntos de control

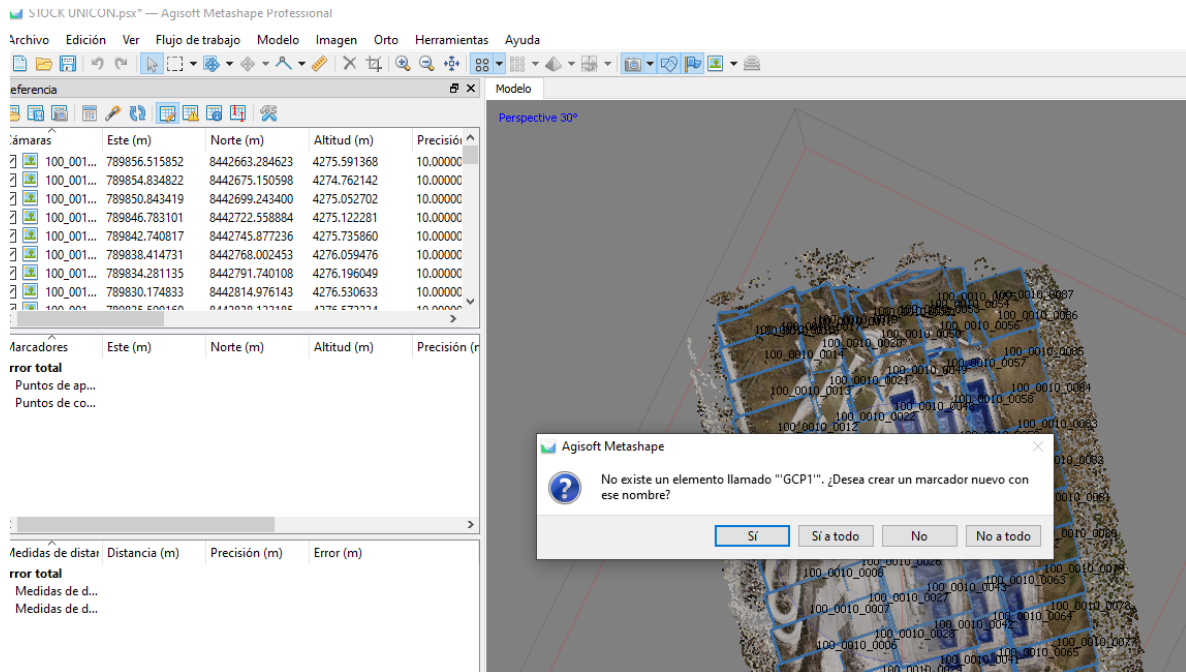


Figura 42. Ubicación de sistema de coordenadas y puntos de control

En este punto ya se puede visualizar los puntos de control en nuestro software como se ve en la figura siguiente.

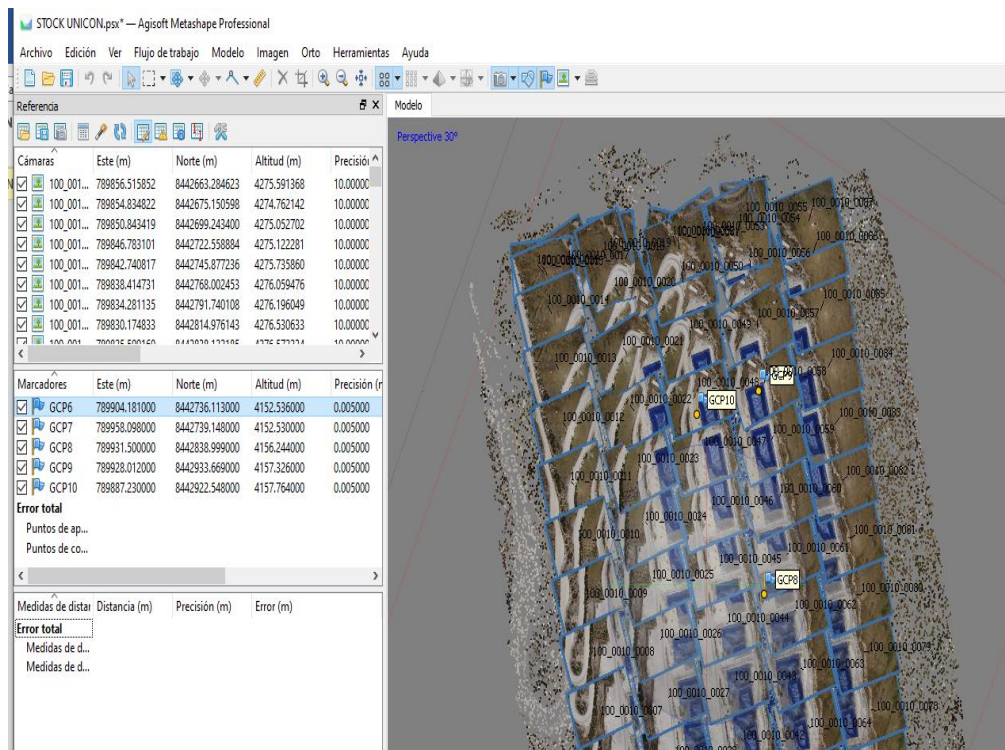


Figura 43. Visualizar los puntos de control

En este paso con un anti clic para seleccionar las pestañas y filtrar fotos por marcador, el cual nos abrió todas las fotos que solo poseen dicho marcado.

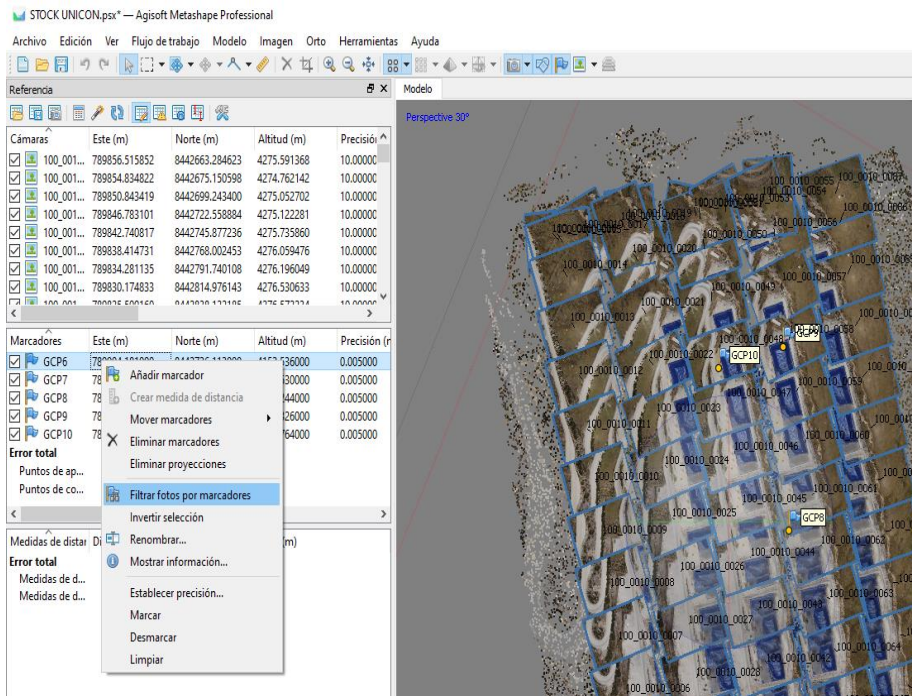


Figura 44. Filtrar fotos por marcador

En este punto comenzaremos a seleccionar la foto de interés para mover el marcador tal como se observa en la figura siguiente.

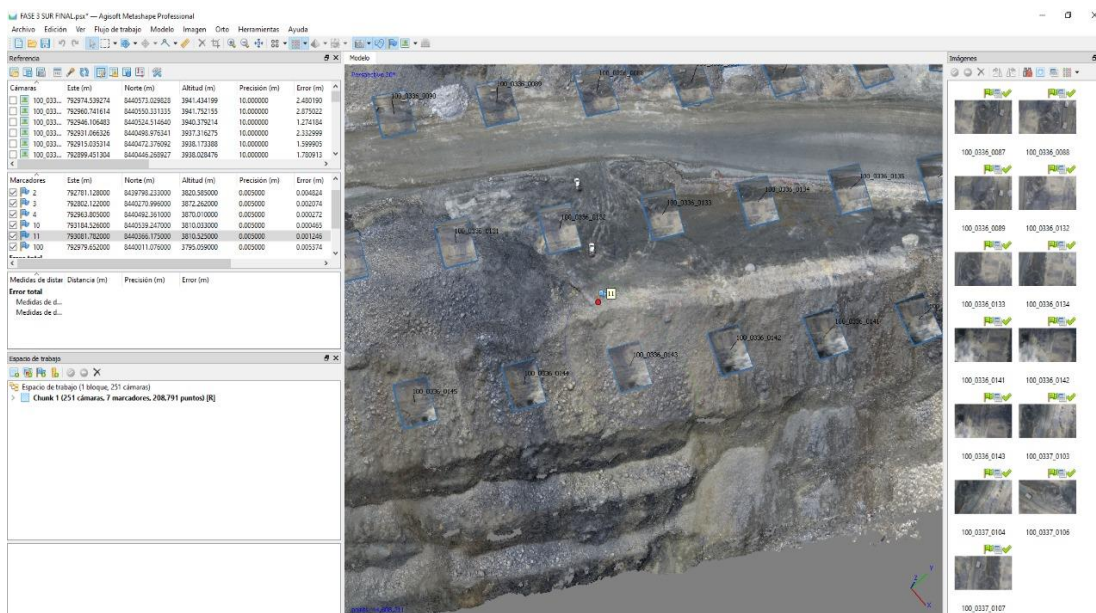


Figura 45. Seleccionar la foto de interés

Cuando nos fijamos en dicha foto muestra un *check* verde y un hombre color marrón la cual cambiar de color cuando se ubique dicho control en el punto que corresponde para lo cual realizamos doble *click* en dicha foto el cual mostrara el movimiento del marcador al punto exacto del banner de control, tal como se observa en la figura siguiente.

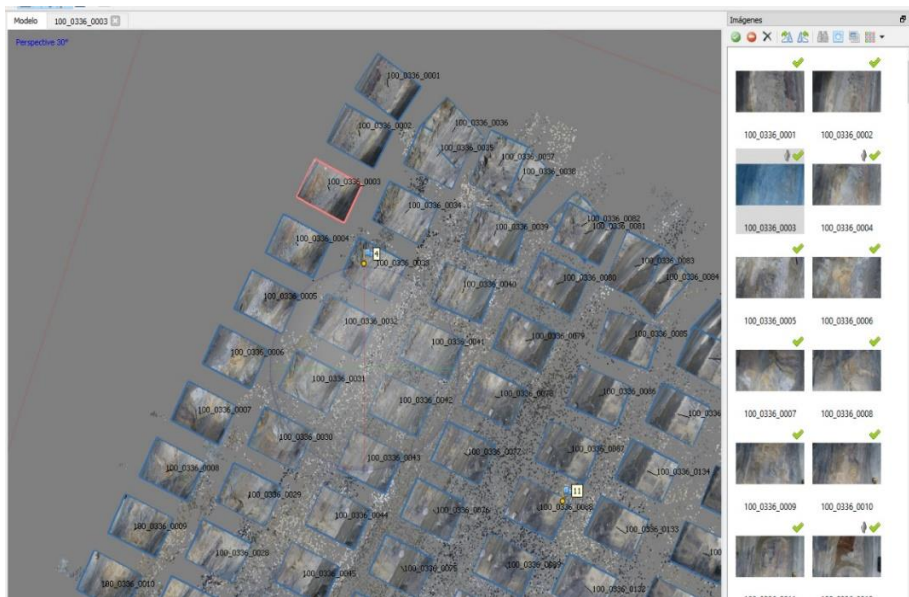


Figura 46. Punto exacto del banner

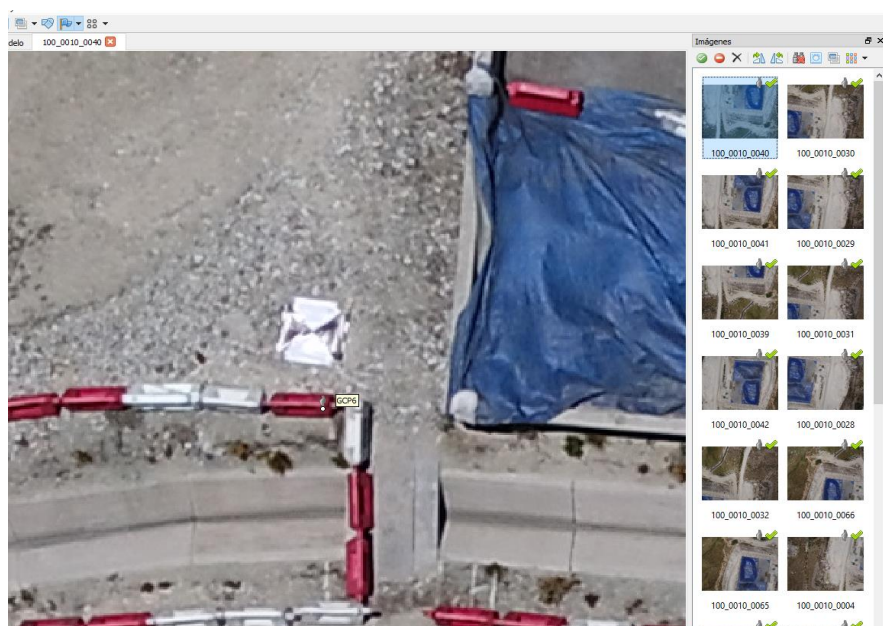


Figura 47. Punto exacto del banner

Cuando se colocó el marcador dentro del punto de control en la figura nos muestra una bandera de color verde, el cual representa un ajuste de posición y de esa forma se realizó para cada punto y foto, donde se observa en la figura siguiente.

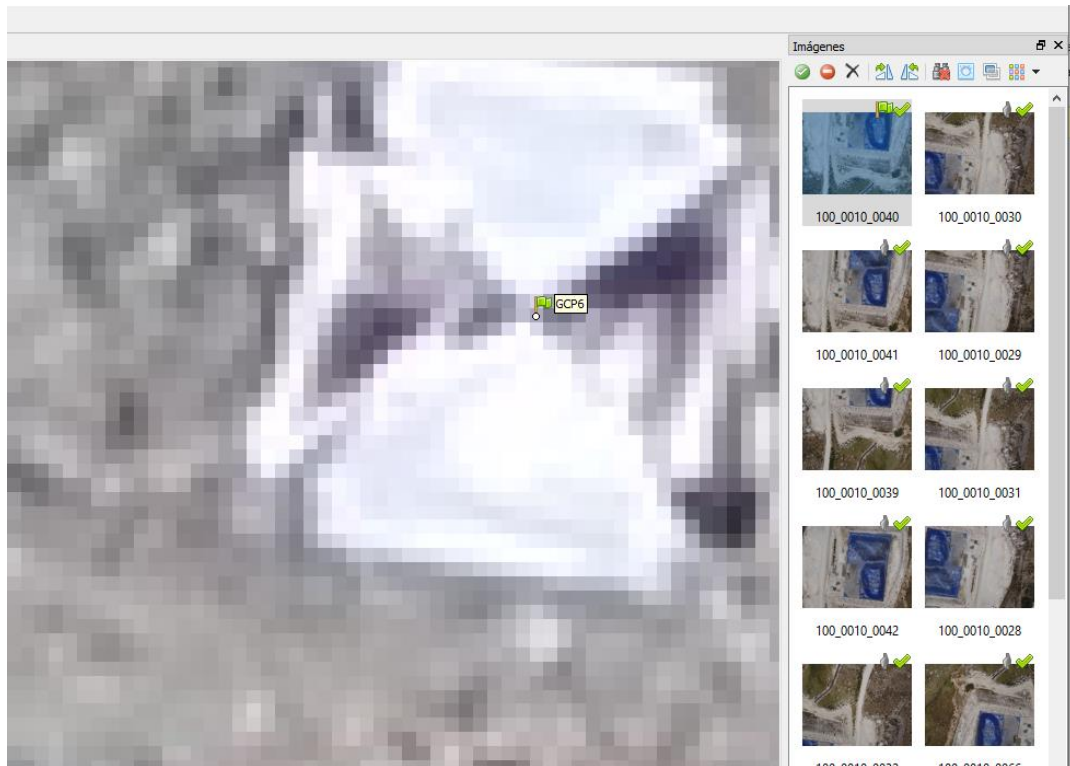


Figura 48. Punto y foto de control

Una vez culminado dicho proceso con cada punto de control se selecciona todas las fotos y des seleccionar para optimizar cámaras, tal como se observa en la figura siguiente.

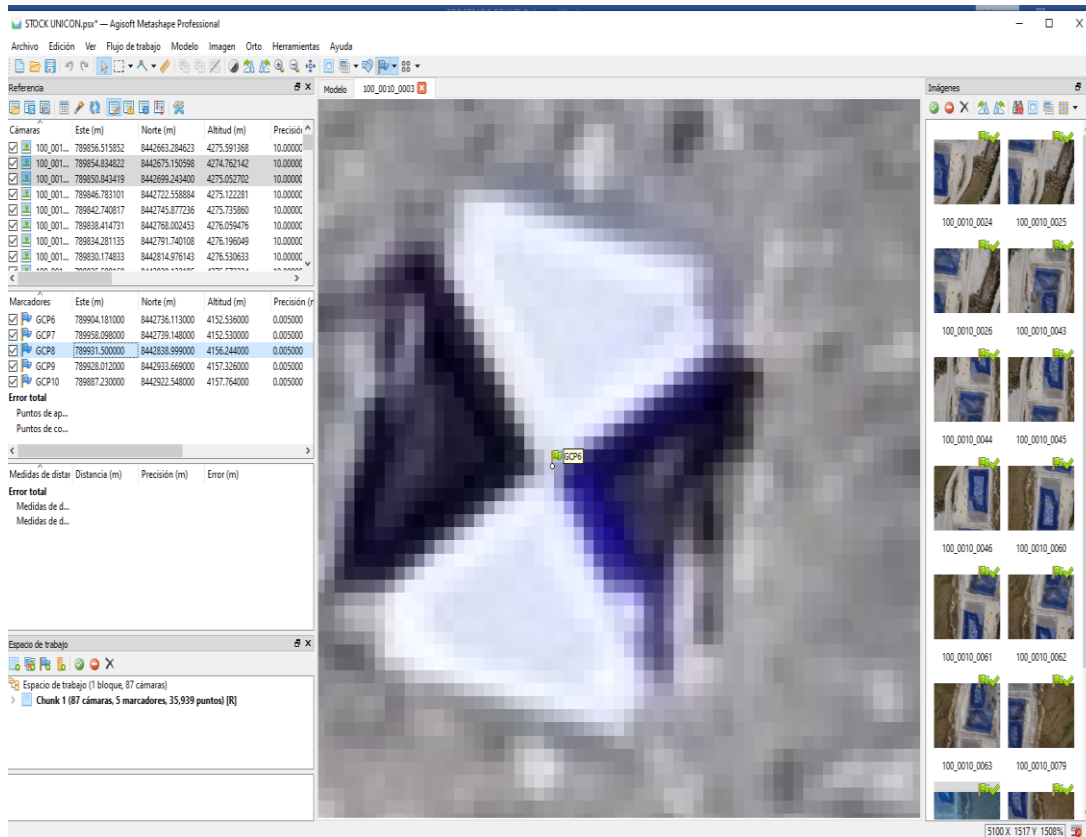


Figura 49. Optimizar cámaras

Por otro lado, es muy importante retirar los *chec* a todas las fotos para optimizar, dicho proceso no se debe olvidar para poder ajustar bien la optimización de la cámara, tal como se observa en la figura siguiente.

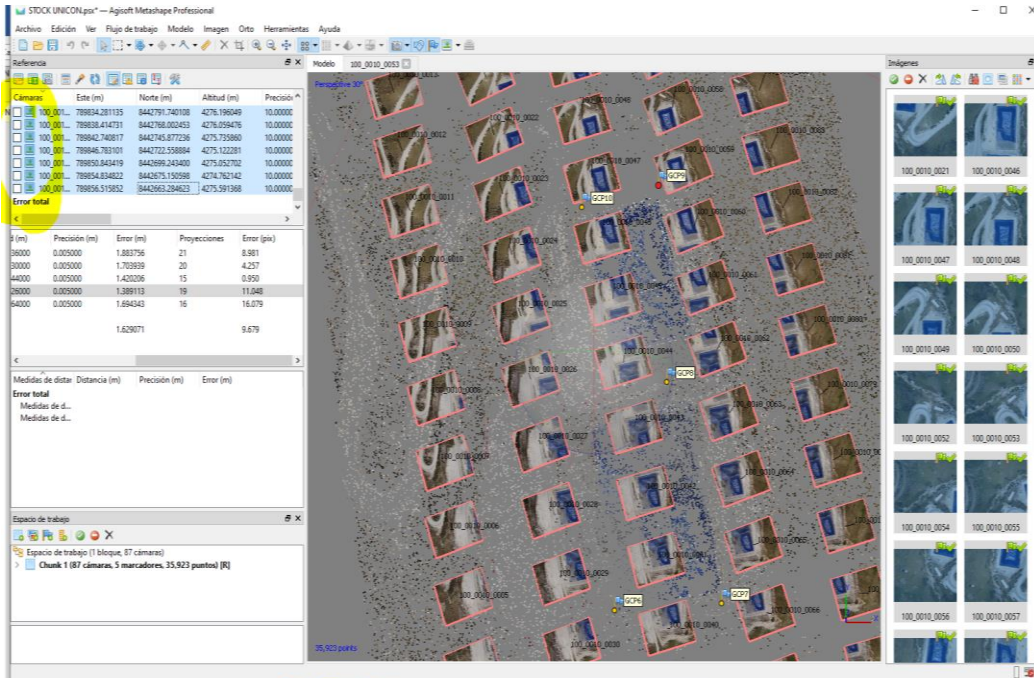


Figura 50. Importancia de retirar los chec

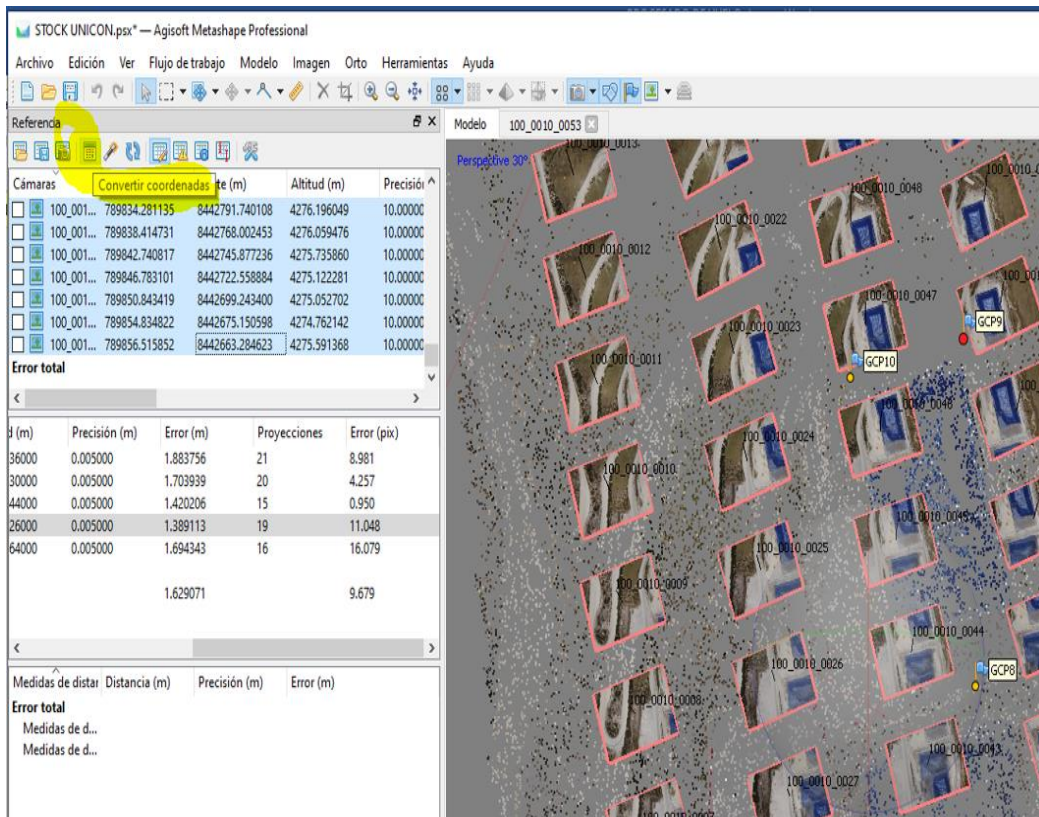


Figura 51. Importancia de retirar los chec

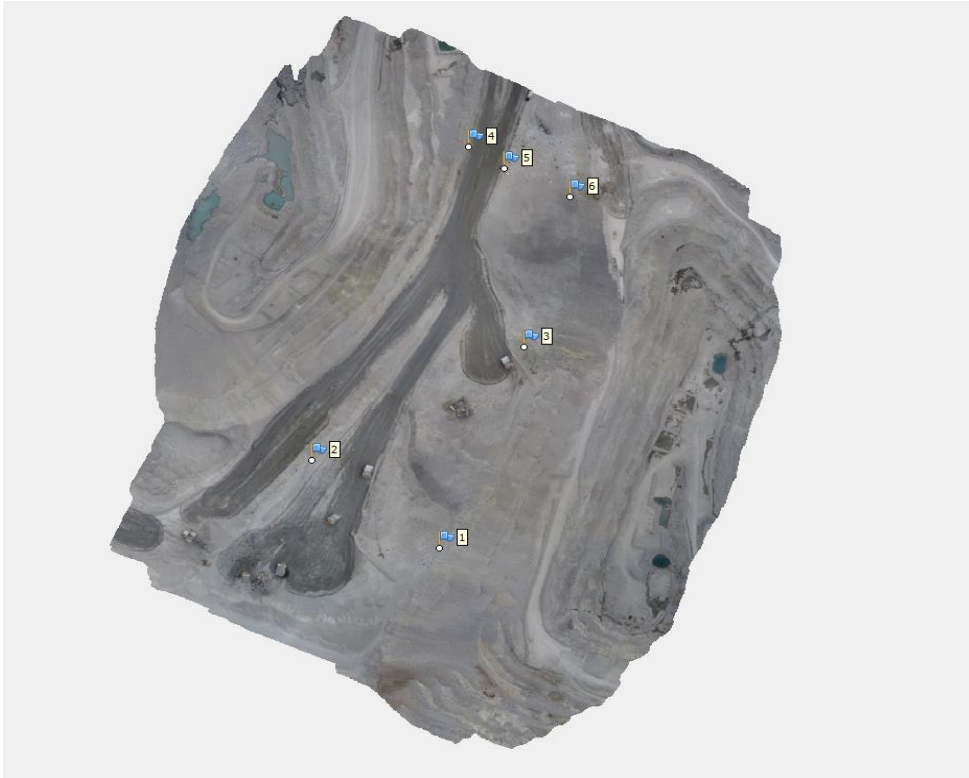


Figura 52. Transformación volumetrica

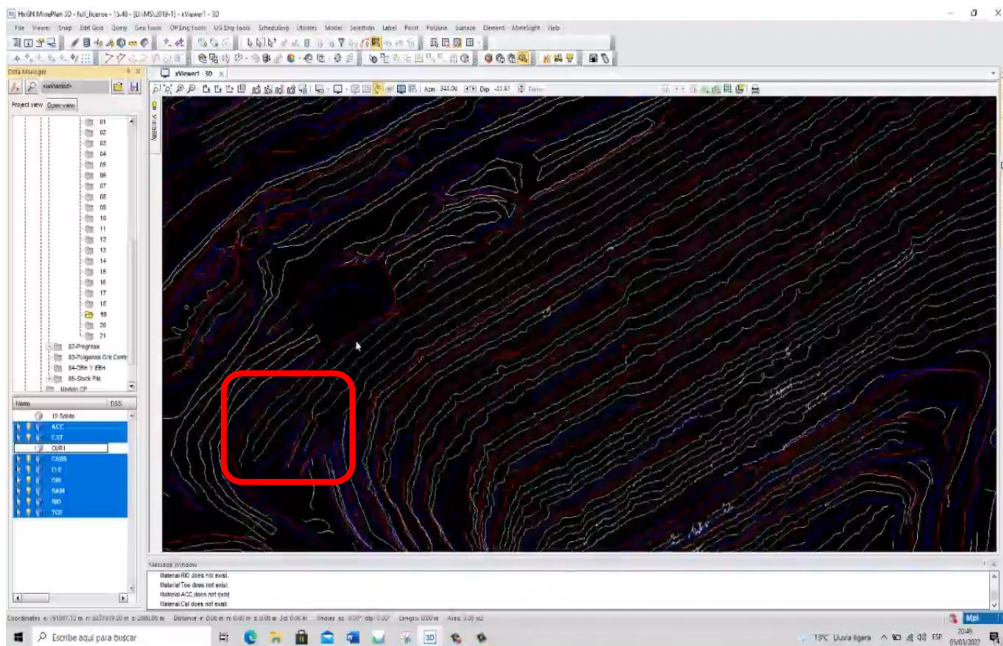
c) HxGN MinePlan 3D

Procesamiento de datos con HxGN MinePlan 3D



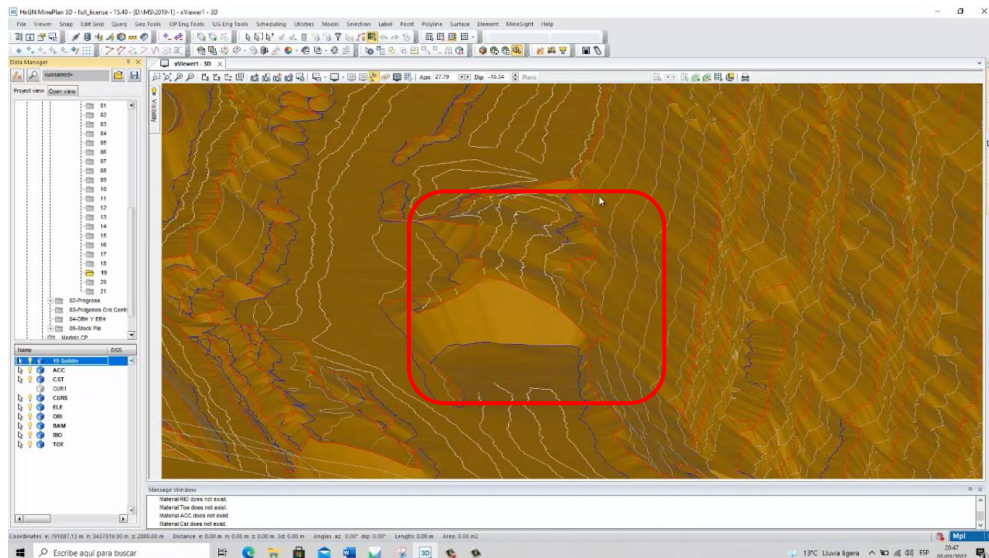
**Figura 53. HxGN MinePlan 3D
Tomada de HxGN MinePlan 3D**

En la figura siguiente se puede observar la elevación del terreno, tal como se puede observar en la figura siguiente.



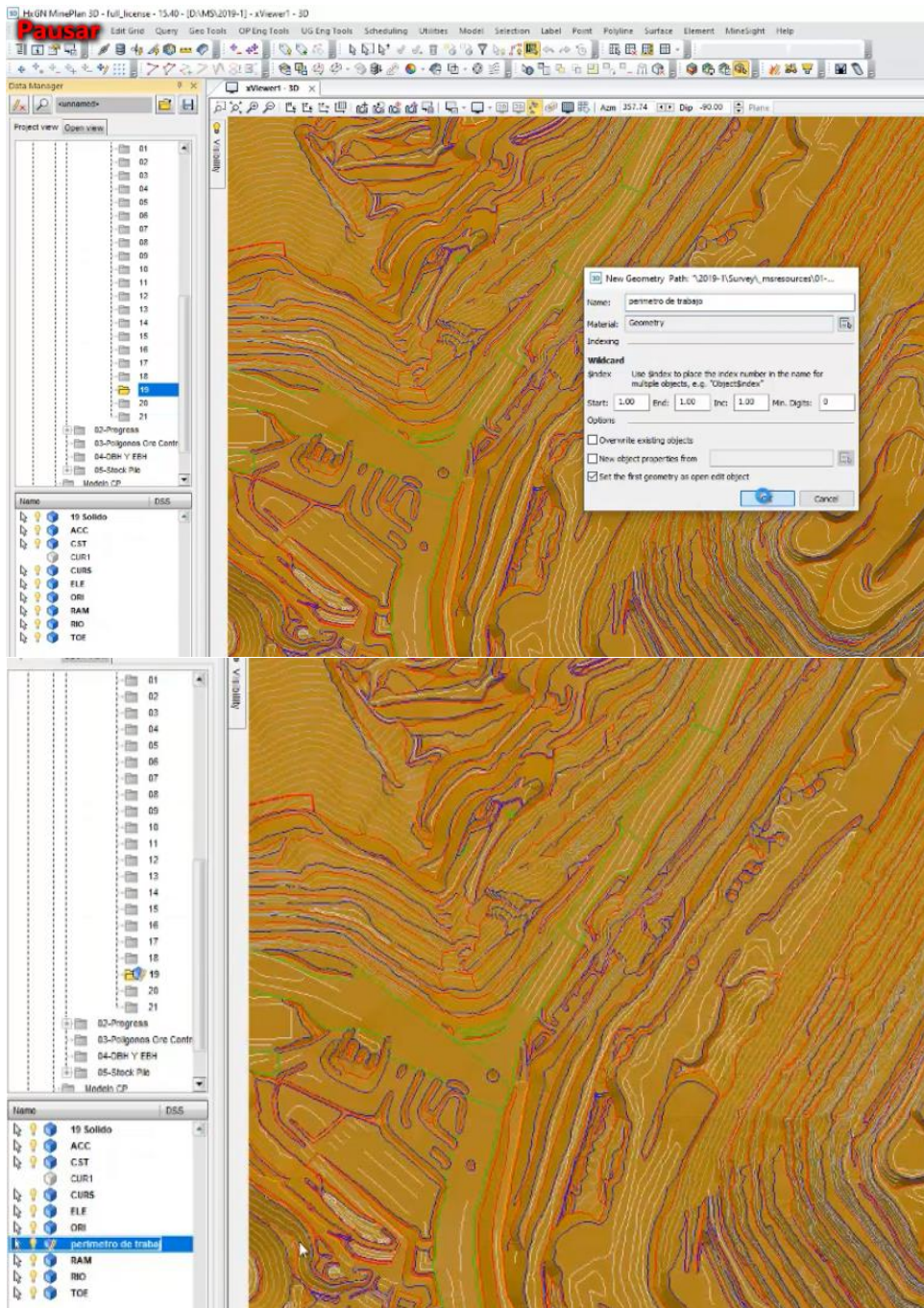
**Figura 54. Elevación del terreno
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

En la figura siguiente se observa el tajo ferrobamba 3 en 3D el cual nos indicó el volumen.



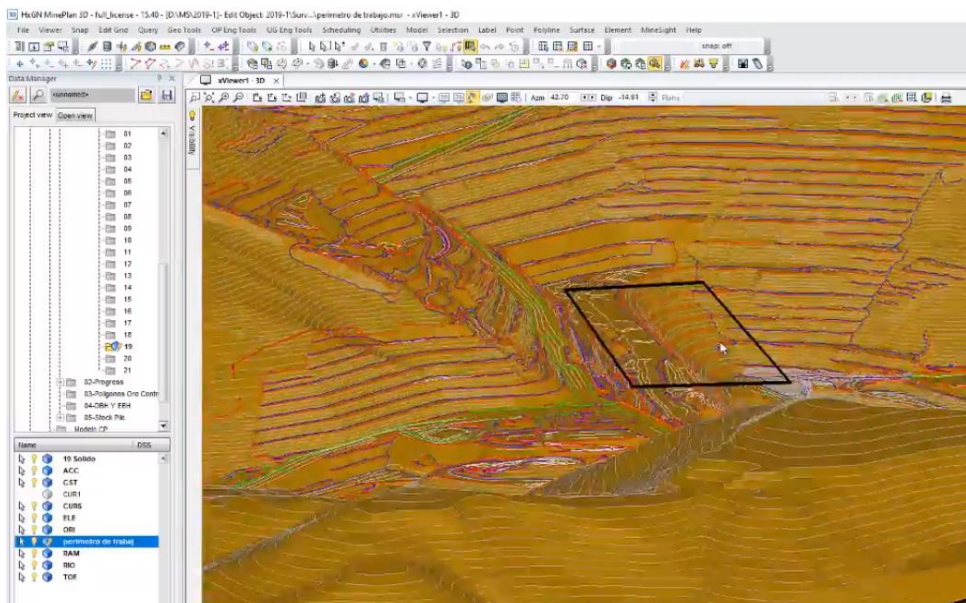
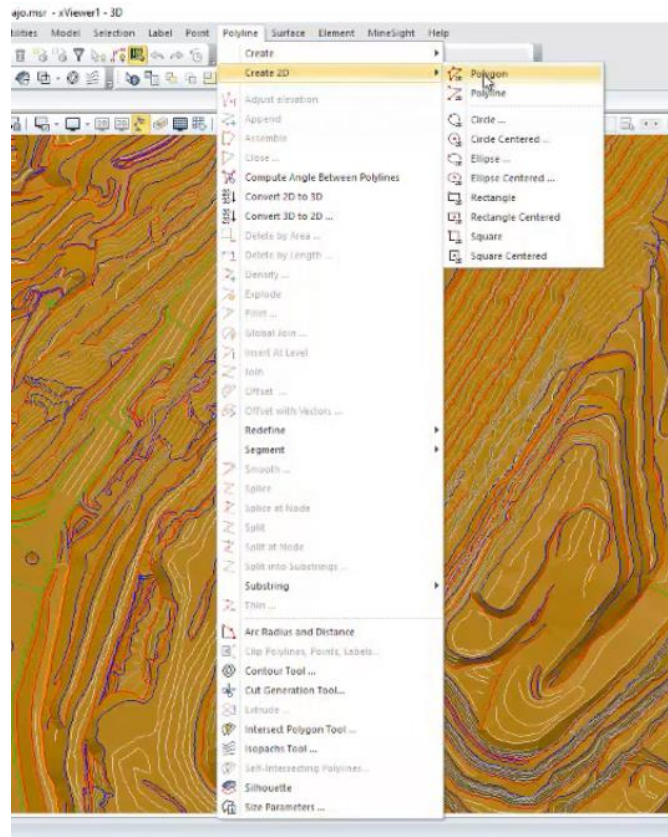
**Figura 55. Figura de volumen en 3D
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

Una vez identificada el volumen creamos una carpeta con nombre perimetro de trabajo tal como se observa en la figura siguiente.



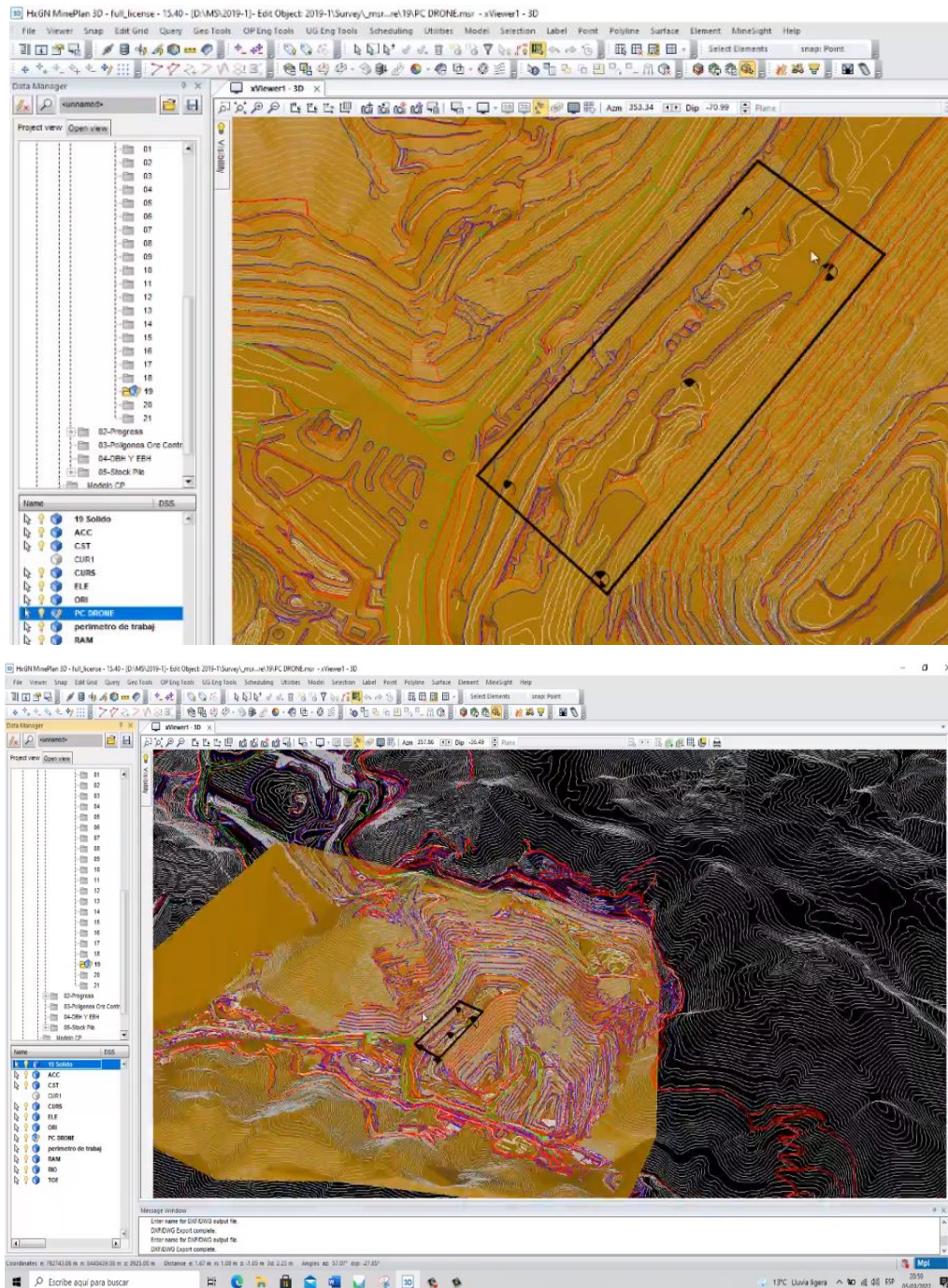
**Figura 56. Creacion de carpeta de archivo
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

Una vez creada la carpeta realizamos la creación de un polígono, el cual son los perímetros de altura tal como se observa en la siguiente figura.



**Figura 57. creación de un polígono
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

En la siguiente figura se observa los puntos planteados en tajo Ferrobamba fase 3.



**Figura 58. Puntos planteados
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

Una vez hecho el levantamiento topográfico con plan de vuelo empezamos a realizar el cálculo de volumen.

d) Cálculo de volumen

Utilizando, el software HxGN MinePlan 3D, en frente carguío obtuvimos el cálculo de volumen.

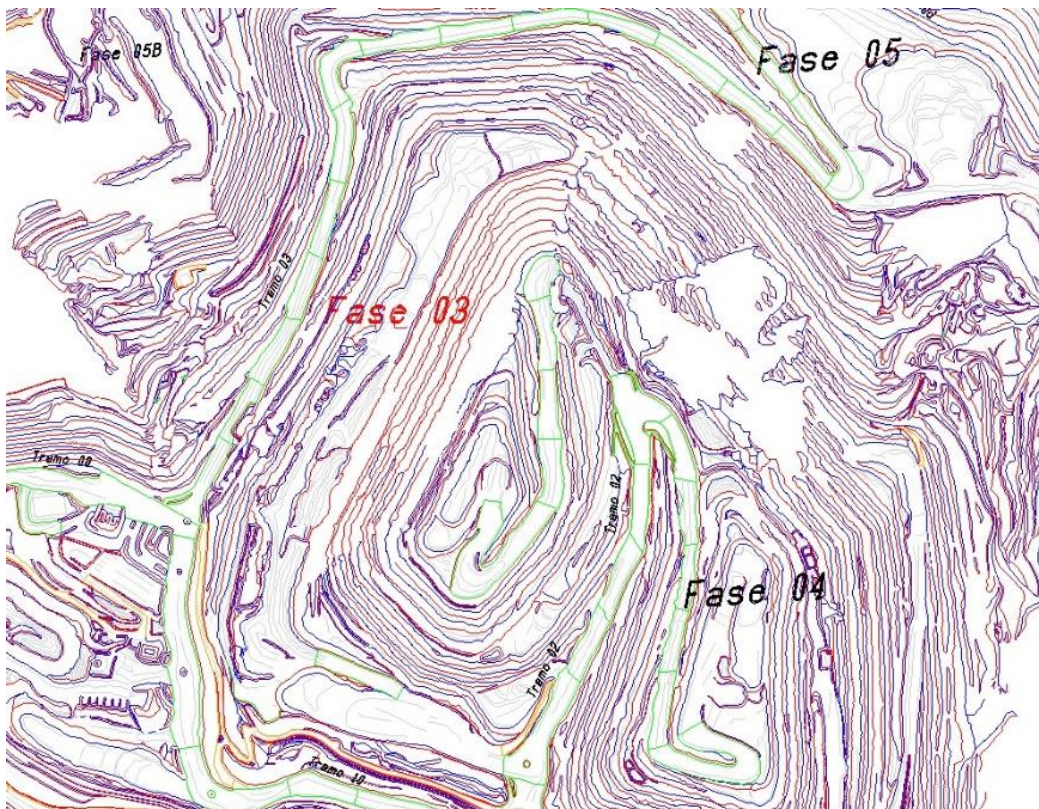


Figura 59. Ferrobamba Fase 3
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3

En la figura siguiente muestra el área donde se realizó la voladura.

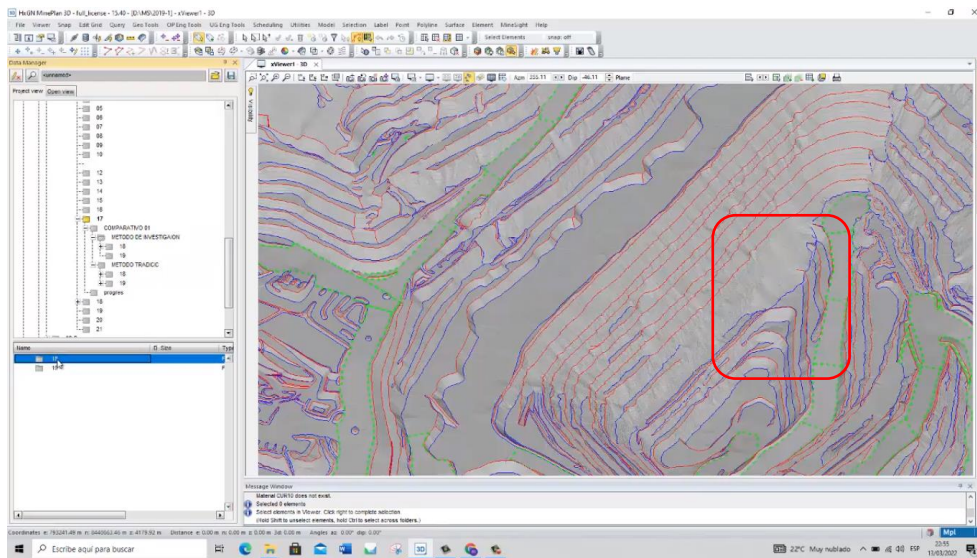


Figura 60. Área minada
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajío Ferrobamba Fase 3

En la siguiente figura muestra el esponjado esto ocurre después de la voladura, tal como se muestra en la figura siguiente.

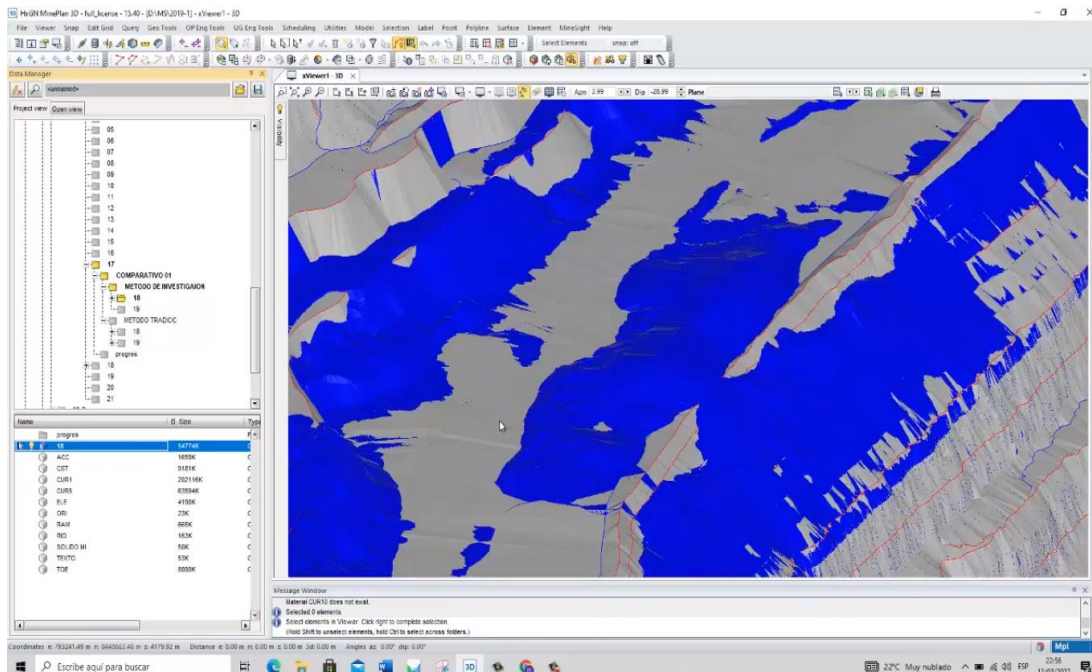
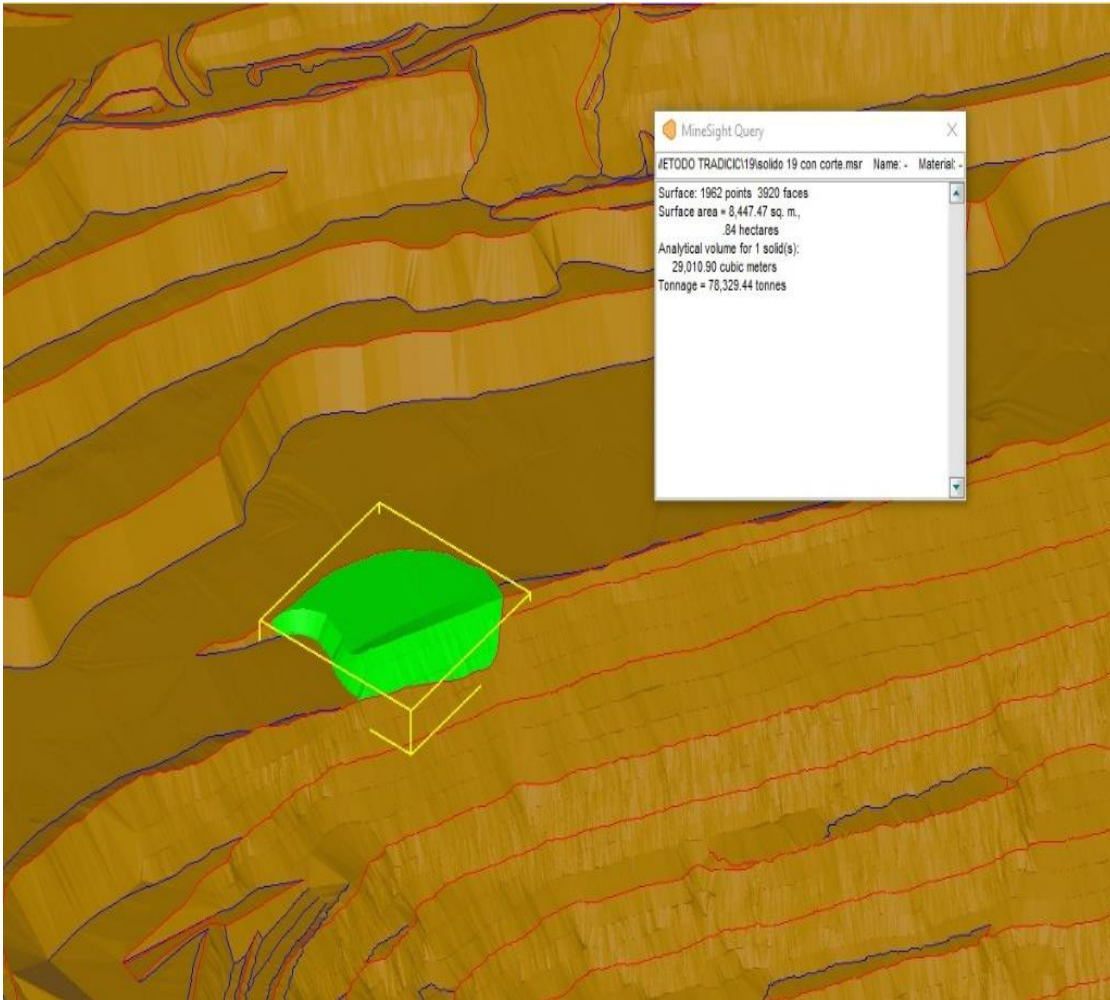


Figura 61. Esponjado
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajío Ferrobamba Fase 3

En la figura siguiente muestra un total de 78,329.44 toneladas el cual fue realizado con el método de tradicional.



**Figura 62. Tonelaje Obtenido - Método Investigación
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

En la figura siguiente muestra un total de 85,132.14 toneladas de materiales minado, en el método de investigación.

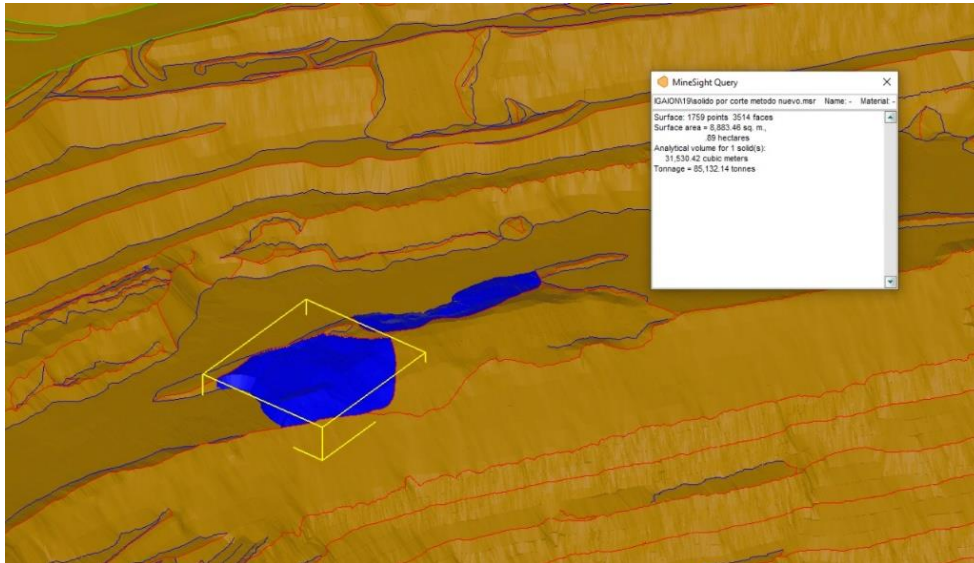


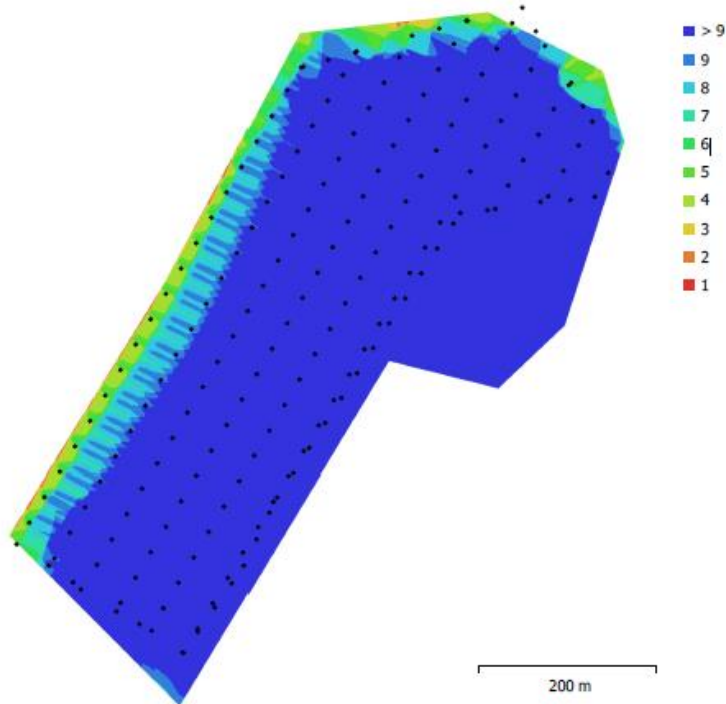
Figura 63. Tonelaje obtenido - método tradicional
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3

e) Informe de procesamiento FASE 3



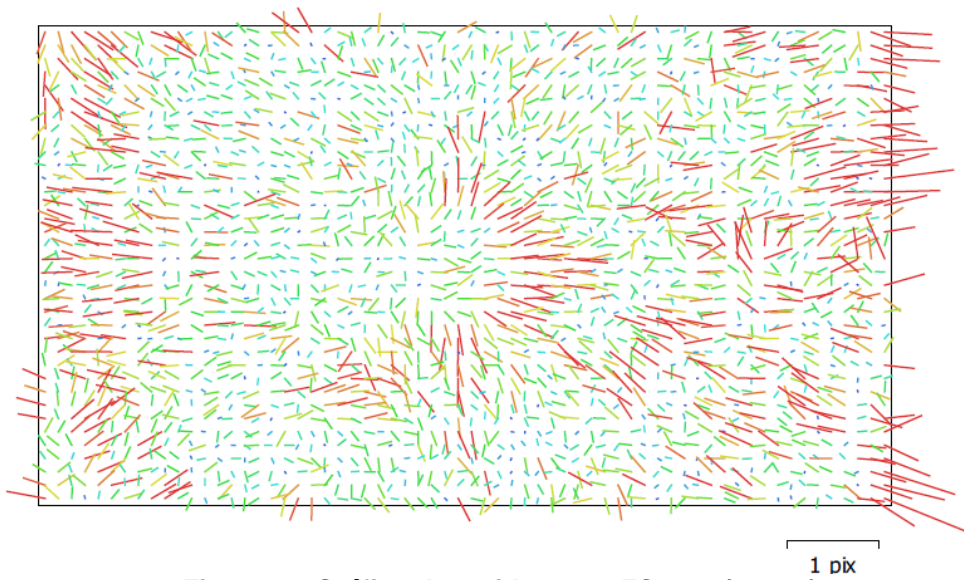
Figura 64. Informe fase 3
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3

f) Levantamiento de datos



**Figura 65. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

g) Calibración de cámaras



**Figura 66. Gráfico de residuos para FC6520 (15mm)
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3**

Tabla 6. Coeficientes de calibración y matriz de correlación

FC6520 (15mm)

186 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5280 x 2970** Distancia focal **15 mm** Tamaño de píxel **3.57 x 3.57 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	4570.5	0.19	1.00	-0.30	-0.08	0.28	-0.06	-0.11	0.11	-0.10	-0.06	-0.00
Cx	-26.0592	0.088		1.00	0.02	-0.15	0.02	-0.02	0.01	-0.01	0.90	0.00
Cy	32.1332	0.052			1.00	-0.05	-0.11	-0.01	0.02	-0.02	-0.01	0.80
B1	-18.8522	0.04				1.00	0.07	0.05	-0.04	0.04	-0.01	-0.03
B2	-0.293791	0.036					1.00	0.02	-0.01	0.01	-0.01	-0.03
K1	0.0104784	0.00013						1.00	-0.96	0.90	-0.00	0.01
K2	-0.0512334	0.00069							1.00	-0.98	-0.01	-0.01
K3	0.0706401	0.0011								1.00	0.01	0.02
P1	-0.000347699	6.6e-006									1.00	-0.01
P2	0.00107195	4.5e-006										1.00

Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3

h) Puntos de control terrestre



Figura 67. Puntos de control
Tomada de HxGN MinePlan 3D, tajo Ferrobamba Fase 3

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

Tabla 7. ECM de puntos de apoyo

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
9	0.675954	0.659475	0.762544	0.944363	1.21379

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Tabla 8. Puntos de apoyo

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
4	1.04993	-0.542624	-1.02951	1.56738	1.148 (9)
5	-0.0409438	0.137692	0.833853	0.846136	0.090 (9)
6	0.973305	-0.237272	0.579768	1.15748	0.091 (8)
7	0.381564	0.97791	0.815201	1.32908	0.087 (10)
1	-0.959795	0.730059	0.272876	1.23639	0.073 (20)
2	-0.253684	-0.0913405	0.0288556	0.271166	0.221 (13)
3	0.14712	-1.07226	-1.31559	1.70357	0.161 (24)
4	-0.754994	0.720523	-0.197469	1.06215	0.150 (22)
5	-0.58142	-0.614771	0.795181	1.16117	0.460 (14)
Total	0.675954	0.659475	0.762544	1.21379	0.362

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

i) Modelo digital de elevaciones

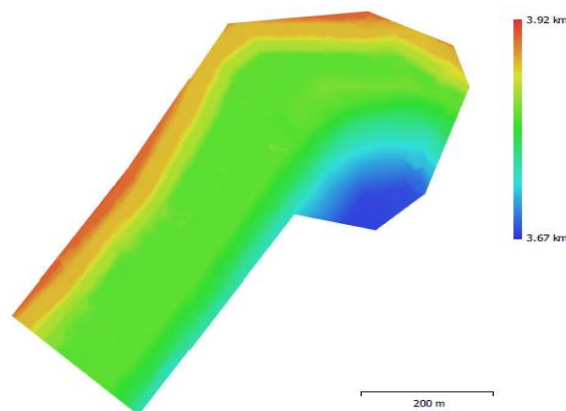


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 17.2 cm/pix
Densidad de puntos: 33.6 puntos/m²

Figura 68. Modelo digital de elevaciones

j) Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	186
Cámaras orientadas	186
Marcadores	9
Formas	
Polígonos	1
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Nube de puntos	
Puntos	124,347 de 157,832
RMS error de reproyección	0.183895 (1.25042 pix)
Error de reproyección máximo	4.67842 (32.3546 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	6.83954 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.87947
Parámetros de orientación	
Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	52 segundos
Tiempo de orientación	3 minutos 22 segundos
Parámetros de optimización	
Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	20 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838
Mapas de profundidad	
Número	186
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	6 minutos 18 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838
Nube de puntos densa	
Puntos	21,977,763
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	6 minutos 18 segundos
Parámetros de generación de la nube densa	
Tiempo de procesamiento	5 minutos 25 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838
Modelo digital de elevaciones	
Tamaño	7,261 x 7,509
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)

Generales	
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	31 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838
Ortomosaico	
Tamaño	8,106 x 9,195
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Tiempo de procesamiento	57 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838
Software	
Versión	1.5.2 build 7838
Plataforma	Windows 64

4.2 Mediciones geodésicas

4.2.1 Reconocimiento del área de trabajo

El día 13-02-2018 se realizó el reconocimiento del proyecto y ubicación de los puntos geodésicos con apoyo del Sr. Toribio Cruz, representante de Planeamiento Mina.

4.2.2 Establecimiento del control horizontal y vertical del proyecto

a) Control horizontal

Considerando la ubicación y estado de operatividad de las ERP con referencia al proyecto, se determinó como puntos de control a las ERP de Abancay (AP01), Cusco (CS01) y Chumbivilcas (CS02) para la georreferenciación de los puntos orden B.

Para la georreferenciación de los puntos orden C, se estableció como punto de control al punto APU-06015, considerando que este punto es la ERP actual de Las Bambas.

b) Control vertical

Los puntos para el control vertical de los puntos orden B son los mismos puntos del control horizontal con sus respectivas alturas elipsoidales registradas en las fichas técnicas del IGN de febrero 2016.

Para los puntos orden C, el control vertical es el punto APU-06015.

c) Método

El levantamiento geodésico se ejecutó por el método ESTÁTICO diferencial, que consistió en el registro de señales de satélite con los receptores Trimble R10 estacionados sobre trípodes de madera, y para el caso del punto APU-06015 se realizó las mediciones con la antena Zephyr Geodetic 2 de la NetR9 instalada en el perno fijo del pilar de concreto.

d) Control de las mediciones

El registro de datos satelitales en los puntos de orden “B” se realizó por más de 48 horas continuas, y en los puntos orden “C” por más de 2 horas, con un intervalo de registro de 1 segundo y máscara de elevación de 10°.

Durante el tiempo de mediciones con GNSS se pudo verificar que los valores de PDOD fueron menores que 3.

4.3 Procesamiento de datos geodésicos

4.3.1 Post-proceso de puntos orden “B”

La información registrada con los receptores GNSS se procesó mediante el software Trimble Business Center 4.00, el cual se configuró con sistema de coordenadas UTM WGS84 18 SUR y modelo geoidal EGM2008.

Se definió como puntos de Control tres (03) ERP del IGN con códigos “AP01” ubicado en Abancay, “CS01” ubicado en Cusco, “CS02” ubicado en

Chumbivilcas, con sus respectivas coordenadas geodésicas y altura elipsoidal registradas en Ficha Técnica de fecha febrero 2016.

El procesamiento de líneas base se realizó con data registrada durante 1d 23 h 59 m 55 s, con intervalo de procesamiento de 5 segundos, 34560 épocas, y con datos de satélites de GPS y Glonass captadas mediante frecuencias L1 y L2, definida por la data proveniente de las ERP del IGN.

Además de la data anterior, se usaron efemérides finales IGS para GPS y Glonass, lográndose soluciones de tipo FIJA, y precisiones horizontales y verticales mejores que 7 mm y 21 mm, respectivamente.

4.3.2 Ajuste de red geodésica de puntos orden B

A continuación del procesamiento de las líneas base, se realizó el ajuste de red considerando como estaciones fijas las tres ERP y como puntos a posicionar los puntos orden "B" (APU-06015 y APU-06016), alcanzándose resultados con Prueba Chi cuadrado (95%) Aprobado, precisiones 2D y 3D relativas entre 1:1295933 y 1/21551028.

Con los resultados del ajuste de red se procedió a realizar el reporte de coordenadas geográficas y coordenadas UTM en sistema WGS84, así como las alturas Elipsoidales.

Con el mismo software y empleando el modelo Geoidal EGM2008 con resolución de 1"x1" se determinaron las alturas Geoidales (elevaciones).

Con los resultados obtenidos se elaboró el informe para la certificación de puntos geodésicos de orden B por parte del IGN Perú.

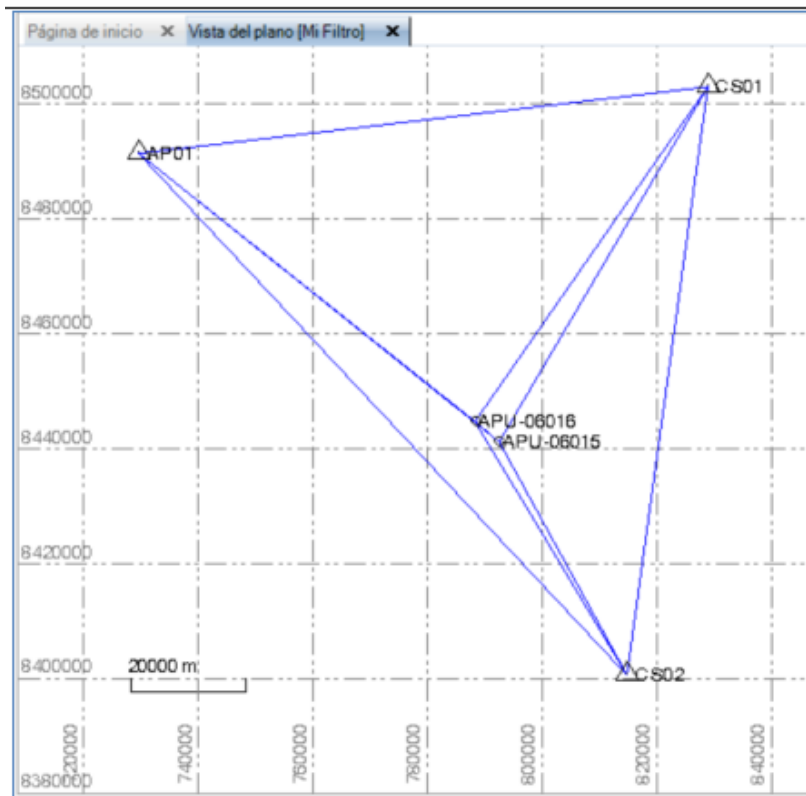


Figura 69. Red de puntos de orden B

4.3.3 Post-proceso de puntos orden “C”

Tabla 9. Puntos de orden “C”

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN EGM2008
APU06015	792430.723	8441104.854	4288.239
APU06016	788209.094	8444644.246	4528.198

4.3.4 Coordenadas geodésicas de puntos orden B

Tabla 10. Geodésicas de puntos orden B

PUNTO	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ALTURA ELIPSOIDAL
APU06015	14°05'08.78037"	72°17'31.07173"	4333.253
APU06016	14°03'15.26410"	72°19'53.03737"	4573.175

4.3.5 Postproceso de puntos orden “C”

El procesamiento se realizó mediante el software Trimble Business Center 4.00.4, con las mismas configuraciones del proceso de puntos orden B.

Para el procesamiento se estableció como punto de Control el punto APU-06015 (orden “B”), con sus respectivas coordenadas y altura elipsoidal determinada en el ajuste de red de puntos orden B.

El procesamiento de líneas base se realizó con data registrada durante más de 2 horas, con intervalo de procesamiento de 1 segundos y con datos de satélites de GPS, Glonass, Galileo y Beidou captadas mediante frecuencias múltiples.

Asimismo, se usaron efemérides finales IGS para GPS y Glonass.

Los resultados alcanzaron soluciones tipo FIJA y precisiones horizontales mejores que 5 mm y precisiones verticales del orden de 15 mm.

A continuación, se procedió a realizar el reporte de coordenadas geográficas y coordenadas UTM en sistema WGS84, así como las alturas Elipsoidales.

Con el mismo software y empleando el modelo Geoidal EGM2008 con resolución de 1”x1” se determinaron las alturas Geoidales (elevaciones).

Con los resultados obtenidos se elaboró el informe para la certificación de puntos geodésicos de orden C por parte del IGN Perú.

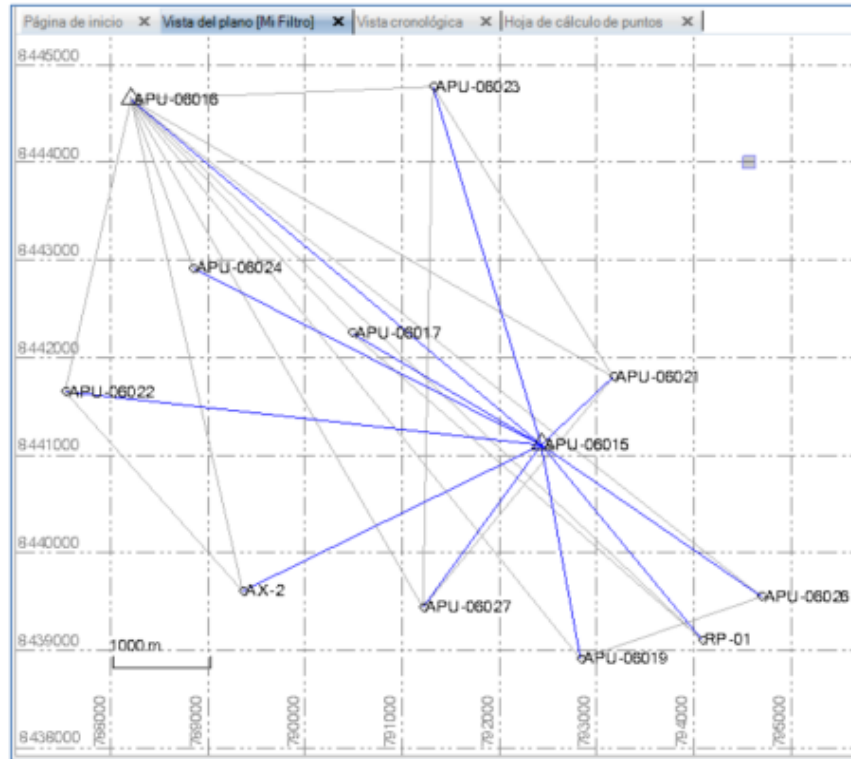


Figura 70. Líneas base de puntos orden "C"



Figura 71. Ubicación de puntos geodésicos

4.3.6 Coordenadas UTM de puntos orden "C"

Tabla 11. *Coordenadas UTM WGS84 18 SUR*

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN EGM2008
APU06017	790481.106	8442252.514	4275.707
APU06019	792835.441	8438910.674	4064.644
APU06021	793171.011	8441802.232	4323.491
APU06022	787529.823	8441649.596	4311.494
APU06023	791317.270	8444775.978	4373.040
APU06024	788849.608	8442916.543	4376.081
APU06026	794700.151	8439549.329	4066.856
APU06027	791212.605	8439437.726	4150.348

4.3.7 Coordenadas Geodésicas de puntos orden "C"

Tabla 12. *Coordenadas geodésicas WGS84*

PUNTO	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ALTURA ELIPSOIDAL
APU06017	14°04'32.19162"	72°18'36.45316"	4320.697
APU06019	14°06'19.97092"	72°17'16.74694"	4109.612
APU06021	14°04'45.82824"	72°17'06.68001"	4368.544
APU06022	14°04'52.88682"	72°20'14.53480"	4356.388
APU06023	14°03'09.83077"	72°18'09.56288"	4418.122
APU06024	14°04'11.20497"	72°19'31.05022"	4421.039
APU06026	14°05'58.50368"	72°16'14.87384"	4111.883
APU06027	14°06'03.44147"	72°18'11.01180"	4195.291

4.3.8 Ajuste de red topográfica

Con el fin de mejorar los resultados del ajuste de poligonal y adicionando a los cálculos las mediciones redundantes de la poligonal, se realizó el ajuste de red con el uso del software TBC por el método de mínimos cuadrados, considerando como estaciones fijas los puntos A1 (APU06021) y A2

(APU06026), alcanzándose resultados con Prueba Chi cuadrado Aprobado (nivel de confianza 95%), precisiones relativas 2D y 3D entre 1:56993 y 1/161012

Las coordenadas asignadas a los puntos fijos de la red (A1 y A2) son las coordenadas UTM WGS84 18 SUR del procesamiento de puntos orden C.

Tabla 13. Coordenadas locales de ajuste de red topográfica

ID de punto	Este	Norte	Elevación	Código
A1	793171.001	8441802.247	4323.352	APU-06021
A2	794700.151	8439549.329	4066.867	APU-06026
3	792835.447	8438910.655	4064.603	APU-06019
4	792099.729	8439207.860	4184.812	AUX-1
5	791212.561	8439437.689	4150.238	APU-06027
6	789358.273	8439606.322	4038.860	AUX-2
7	787529.669	8441649.649	4311.316	APU-06022
8	788849.537	8442916.635	4375.912	APU-06024
9	788209.047	8444644.435	4527.971	APU-06016
10	791317.309	8444776.064	4372.927	APU-06023
11	790481.073	8442252.572	4275.517	APU-06017
12	792429.031	8441099.990	4285.587	AUX-3
15	792430.707	8441104.857	4288.129	APU-06015
100	794089.898	8439102.811	3770.214	RP-01

4.3.9 Coordenadas locales o topográficas de la red

Para la determinación de estas coordenadas, minera Las Bambas a definido el punto RP-01 como punto de origen horizontal y vertical del proyecto; por lo que los resultados del ajuste de red topográfica han sido referenciados al punto RP-01 con coordenadas UTM WGS84 determinadas en el año 2018.

Tabla 14. Coordenadas locales año 2018

Coordenadas locales año 2018			Observaciones
Punto	Este	Norte	
APU-06015	792430.760	8441104.847	
APU-06016	788209.100	8444644.425	
APU-06017	790481.126	8442252.562	
APU-06019	792835.500	8438910.645	
APU-06021	793171.054	8441802.237	
APU-06022	787529.722	8441649.639	
APU-06023	791317.362	8444776.054	
APU-06024	788849.590	8442916.625	
APU-06026	794700.204	8439549.319	
APU-06027	791212.614	8439437.679	
AUX-1	792099.782	8439207.850	
AUX-2	789358.326	8439606.312	
AUX-3	792429.084	8441099.980	
RP-01	794089.951	8439102.801	Referencia 2018

4.3.10 Nivelación trigonométrica

Con el fin de reducir los efectos de curvatura y refracción y mejorar la determinación de niveles, se realizó mediciones con el método de nivelación trigonométrica compuesta entre vértices de la poligonal, creando una línea de nivelación cerrada similar al recorrido de la poligonal, con inicio y fin en el punto APU-06019 (punto 3 en la poligonal).

Las mediciones ópticas de ángulos y distancias se realizaron con el empleo de una estación total robótica Trimble S8 de 1" y prismas estándar estacionadas sobre tribach y trípodes, registrando datos con enfoque en directa e inversa con 4 repeticiones como mínimo.

El cómputo de ángulos verticales medios reportó desviaciones estándar menores a 2 segundos sexagesimales y para distancia inclinada menores a 2mm.

El cálculo de niveles de los puntos de la red muestra un error de cierre vertical de 21mm en 23734 m de línea de nivelación, que representa una precisión vertical de 1/1130233, dicho error de cierre se compensó de forma proporcional a la distancia horizontal y vertical de cada lado de la poligonal.

Usando la diferencia de niveles compensados se determinó la Elevación nivelada de los puntos referenciada al punto RP-01 con elevación geoidal determinada en el año 2018.

Tabla 15. Resumen de nivelación trigonométrica - Línea de nivelación con inicio y final en el punto APU-06019

Punto inicio	Punto final	Elevación	Desnivel
		Calculada	Trigonométrico
RP-01		3770.262	Referencia
RP-01	APU-06019	4064.632	294.370
APU-06019	AUX-1	4184.840	120.208
AUX-1	APU-06027	4150.289	-34.551
APU-06027	AUX-2	4038.911	-111.378
AUX-2	APU-06022	4311.341	272.430
APU-06022	APU-06024	4375.956	64.615
APU-06024	APU-06016	4528.015	152.059
APU-06016	APU-06023	4372.978	-155.037
APU-06023	APU-06017	4275.619	-97.359
APU-06017	AUX-3	4285.669	10.050
AUX-3	APU-06021	4323.451	37.782
APU-06021	APU-06026	4066.887	-256.564
APU-06026	APU-06019	4064.653	-2.234
APU-06019	RP-01	3770.283	-294.370

Punto	Factor de compensación			Valor a compensar	Desnivel ajustado	Elevación ajustada	Error Compensado
	Vertical	Horizontal	Promedio				
RP-01						3770.262	
PU-0601					294.370	4064.632	
AUX-1	0.091	0.034	0.063	0.001	120.207	4184.839	-0.001
PU-0602	0.026	0.039	0.032	0.001	-34.552	4150.287	-0.002
AUX-2	0.085	0.078	0.082	0.002	-111.380	4038.907	-0.004
PU-0602	0.207	0.116	0.162	0.003	272.427	4311.334	-0.007
PU-0602	0.049	0.077	0.063	0.001	64.614	4375.948	-0.008
PU-0601	0.116	0.078	0.097	0.002	152.057	4528.005	-0.010
PU-0602	0.118	0.131	0.124	0.003	-155.040	4372.965	-0.013
PU-0601	0.074	0.112	0.093	0.002	-97.361	4275.604	-0.015
AUX-3	0.008	0.095	0.051	0.001	10.049	4285.653	-0.016
PU-0602	0.029	0.043	0.036	0.001	37.781	4323.434	-0.017
PU-0602	0.195	0.115	0.155	0.003	-256.567	4066.867	-0.020
PU-0601	0.002	0.083	0.042	0.001	-2.235	4064.632	-0.021
RP-01					-294.370	3770.262	
PU-0601					2.542	4288.195	
Error vertical	1.000	1.000	1.000	0.021		0.000	
AUX-3			APU-06015		4288.211		2.542
Error de cierre vertical					0.021		

Reporte de DATA procesada en TBC

Tabla 16. Compensación de la línea de nivelación

4.3.11 Elevación nivelada de puntos de la red Las Bambas

La elevación nivelada de los puntos de la red se ha determinado usando los resultados de desniveles de la nivelación trigonométrica referenciada al punto RP01 con su respectiva elevación geoidal determinada en el año 2018.

Tabla 17. Elevación nivelada año 2018

Punto	Elevación	Observación
APU-06015	4288.195	
APU-06016	4528.005	
APU-06017	4275.604	
APU-06019	4064.632	
APU-06019	4064.632	
APU-06021	4323.434	
APU-06022	4311.334	
APU-06023	4372.965	
APU-06024	4375.948	
APU-06026	4066.867	
APU-06027	4150.287	
AUX-1	4184.839	
AUX-2	4038.907	
AUX-3	4285.653	
RP-01	3770.262	Referencia 2018

4.3.12 Sistema de coordenadas local Las Bambas

Con los resultados de las mediciones geodésicas y topográficas se procede a generar un sistema de coordenadas local Las Bambas con el empleo del software TBC, que permitirá compatibilizar las mediciones con equipos GNSS y equipos ópticos (estación total y niveles).

Las coordenadas GNSS y locales usados en el proceso de calibración de obra son las siguientes:

Tabla 18. Coordenadas GNSS para calibración de obra

Coordenadas UTM WGS84 18 SUR - 2018

Punto	Este	Norte	Altura elipsoidal
APU-06015	792430.723	8441104.854	4333.253
APU-06016	788209.094	8444644.246	4573.175
APU-06017	790481.106	8442252.514	4320.697
APU-06019	792835.441	8438910.674	4109.612
APU-06021	793171.011	8441802.232	4368.544
APU-06022	787529.823	8441649.596	4356.388
APU-06023	791317.270	8444775.978	4418.122
APU-06024	788849.608	8442916.543	4421.039
APU-06026	794700.151	8439549.329	4111.883
APU-06027	791212.605	8439437.726	4195.291
AX-2	789358.367	8439606.375	4083.898
RP-01	794089.951	8439102.801	3815.264

Tabla 19. Coordenadas locales Las Bambas - 2018

Punto	Este	Norte	Elev. nivelada
APU-06015	792430.760	8441104.847	4288.195
APU-06016	788209.100	8444644.425	4528.005
APU-06017	790481.126	8442252.562	4275.604
APU-06019	792835.500	8438910.645	4064.632
APU-06021	793171.054	8441802.237	4323.434
APU-06022	787529.722	8441649.639	4311.334
APU-06023	791317.362	8444776.054	4372.965
APU-06024	788849.590	8442916.625	4375.948
APU-06026	794700.204	8439549.319	4066.867
APU-06027	791212.614	8439437.679	4150.287
AX-2	789358.326	8439606.312	4038.907
RP-01	794089.951	8439102.801	3770.262

4.4 Información precisa aplicando Drone.

Una vez obtenida la información de la cantidad de tonelaje en frente minado, se realiza el análisis de datos volumétricos, el cual alcanza los objetivos y puedan tomar decisiones acertadas de alto valor, el uso de este método representa una ventaja significativa porque permite conocer la información precisa de la unidad minera Las Bambas.

4.5 Tiempo de levantamiento topográfico aplicación de Drone

Los resultados de los datos obtenidos en tonelajes, gracias a la aplicación de *Drone*, para elaborar modelos digitales en frentes de minado, donde el tiempo para la obtención de información es unidad minera las bambas.

El *Drone* tiene incorporado una cámara y un software para retransmitir imágenes hacia el piloto en tiempo real para que pueda tomar decisiones en el acto, a cualquier situación.

Tabla 20. Tiempo de levantamiento topográfico con la aplicación de drone

SALIDA		Vuelo de Drone					RETORNO	
Origen de Salida	lugar de llegada	Instalación de punto de control	Programación de vuelo	Inicio de vuelo	Fin de vuelo	Desntalacion de Drone	Origen de Salida	lugar de llegada
Campamento Antawasi	Tajo Ferrobamba						Tajo Ferrobamba	Campamento Antawasi
07:30	07:45	07:45	07:53	07:55	08:00	08:02	08:03	08:16

Tabla 21. Tiempo total de levantamiento topográfico con Drone

Descripción	Tiempo
Levantamiento topografico efectivo	00:05 min
Tiempo total de levantamiento topográfico desde la instalación hasta la desinstalación de Drone.	00:17 min

Tabla 22. Tiempo de levantamiento topográfico con GPS

SALIDA		ACCIONES						RETORNO	
Origen de Salida	lugar de Llegada	Instalación GPS	Autorización de DISPATCH	Maniobra de Retiro de la Pala del Frente de Cargio	Inicio de Levantamiento	Termino de levantamiento Topografico	Desinstalación GPS	Origen de Salida	lugar de Llegada
Campamento Antawasi	Frente Minado							Frente Minado	Campamento Antawasi
07:30	07:45	07:46	07:56	07:58	07:59	08:05	08:06	08:07	08:20

Tabla 23. Tiempo total de levantamiento topográfico con GPS

Descripción	Tiempo
Levantamiento topografico efectivo	00:06 min
Tiempo total de levantamiento topográfico desde la instalación hasta la desinstalación de GPS	00:20 min

Como resultado del levantamiento topográfico se tiene una gran diferencia de 30 min. Como también se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 24. Tiempo de levantamiento topográfico con GPS y Drone

Levantamiento topografico	Tiempo
Con drone	00:17 min
Con GPS	00:20 min
Diferencia	00:03 min

4.6 Riesgos y peligros aplicando Drone

Dentro de la unidad minera MMG Las Bambas, se está utilizando modernos desarrollos tecnológicos para potenciar la supervisión de la seguridad mediante el uso de Drone, el cual es un vehículo aéreo no tripulado, que haciendo levantamiento topográfico identificamos los riesgos y peligros que existe en MMG

Las Bambas, es así que con la tecnología láser se establecieron modelos digitales en tres dimensiones (3D). por lo que este ofrece una perspectiva óptima

para analizar magnitudes físicas y realizar la evaluación de riesgos y estimación de impactos.

La metodología asume como nivel de riesgo aceptable como máximo el comentado en el punto d (insignificante o leve). A continuación, la matriz de evaluación de riesgo de seguridad.

Tabla 25. Probabilidad del riesgo - gravedad del riesgo

Probabilidad del riesgo	Gravedad del riesgo				
	Catastrófico	Peligroso	Importante	Leve	Insignificante
	A	B	C	D	E
Frecuente 5	5A	5B	5C	5D	5E
Ocasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
Remoto 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
Sumamente improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

- ✓ Color verde: aceptable
- ✓ Color amarillo: inaceptable bajo las condiciones existentes actuales
- ✓ Color rojo: inaceptable

4.7 Zonas de acceso con la aplicación de *Drone*

La unidad minera MMG Las Bambas utiliza el *Drone* en sus tareas de supervisión, de zonas de difícil acceso, al incorporar imágenes de la cámara de *Drone* se obtiene los reportes de accesos seguro, para la intervención e implementación de un modelo de riesgos para planear la supervisión de las actividades mineras, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 72. Zonas de difícil acceso

4.8 Costo de la aplicación de *Drone*

Para este proyecto de investigación se evaluó y calculó los principales impactos económico en MMG Las Bambas. Asimismo, se presentando los resultados de la estimación del impacto económico, el cual beneficia al estado

peruano, municipios locales y gobiernos regionales mediante el canon minero dentro del ámbito del Perú.

Por lo que se puede observar en la tabla 21 “Costo de Levantamiento topográfico con GPS” se tiene un costo económico de S/ 1,094.00 y la tabla 22 “Costo de Levantamiento topográfico con DRONE” se tiene un monto de S/ 1,633.00, al día, teniendo así una diferencia de S/ 539.00

Por lo que podemos decir que con el levantamiento topográfico con *Drone* reduce el tiempo y los costos. La captura de datos topográficos con un *Drone* es hasta cinco veces más rápido que con el levantamiento topográfico con GPS.

Utilizar el *Drone* requiere menos mano de obra. En última instancia, entrega los resultados de tu levantamiento topográfico más rápido y a un menor costo. Por lo que también reduce el riesgo del personal y la producción de la flota de camiones mineros y la pala hídrica continua sin parar.

Por otro lado, el levantamiento topográfico con GPS se realiza paradas por levantamiento topográfico en frente minado el cual demanda 10 min de parada de producción.

Tabla 26. Costo de levantamiento topográfico con GPS
Costo de levantamiento topográfico con GPS.

	Unidad de medida	cantidad	Costo Unitario (S/.)	Total
EQUIPO				S/ 380.00
Alquiler de GPS Diferencial.	Unidad	1	S/ 350.00	S/ 350.00
Alquiler de Equipo de computo	Unidad	1	S/ 30.00	S/ 30.00
SOFTWARES				S/ 28.00
Alquiler de HxGN MinePlan 3D	Días	1	S/ 28.00	S/ 28.00
PERSONAL				S/ 350.00

Operario (topógrafo)	Unidad	1	S/ 200.00	S/ 200.00
Ayudante	Unidad	1	S/ 150.00	S/ 150.00
SERVICIOS				S/ 336.00
Impresión de plotter	Unidad	4	S/ 9.00	S/ 36.00
Transporte	Días	1	S/ 300.00	S/ 300.00
Total				S/ 1,094.00

Tabla 27. Costo de Levantamiento topográfico con Drone

Costo de levantamiento topográfico con DRONE				
	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Total
EQUIPO				S/ 750.00
Alquiler GPS Diferencial.	Unidad	1	S/ 350.00	S/ 350.00
Alquiler de Drone	Unidad	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Alquiler de equipo de computo	Unidad	1	S/ 150.00	S/ 150.00
SOFTWARES				S/ 63.00
Alquiler HxGN MinePlan 3D	Unidad	1	S/ 28.00	S/ 28.00
Alquiler Agisoft Metashape	Unidad	1	S/ 35.00	S/ 35.00
PERSONAL				S/ 350.00
Operario (topografo)	Unidad	1	S/ 200.00	S/ 200.00
Ayudante	Unidad	1	S/ 150.00	S/ 150.00
SERVICIOS				S/ 470.00
Impresión de plotter	Unidad	4	S/ 35.00	S/ 140.00
Vanner de piso (puntos de control)	Unidad	4	S/ 20.00	S/ 80.00
Transporte	Dias	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Total				S/ 1,633.00

CONCLUSIONES

1. Se comprobó que la aplicación del *drone* permite elaborar modelos digitales de alta precisión, el cual es considerado muy bueno, a partir de este modelamiento digital permite calcular el volumen de mineral fragmentado en frente de carguío en menor tiempo, costo y altamente seguro.
2. Se determino que la precisión entre los niveles de los puntos de la red muestra un error de cierre vertical de 21mm en 23734 m de línea de nivelación, que representa una precisión relativa vertical de $1/1130233$ lo que permite tener un control altimétrico para la generación de los modelos digitales de calidad.
3. Se determinó que el tiempo de levantamiento topográfico con *drone* esta en un tiempo de 15 a 20 min para la toma de datos de campo el cual permite elaborar modelos digitales de alta precisión
4. Se verificó que los riesgos del personal encargado del levantamiento topografico fueron reducidos a cero, debido al uso de modernas tecnologías para optimizar la seguridad mediante el uso de *drone* lo que permite generar modelos digitales tridimensionales en las zonas de movimiento de materiales.

RECOMENDACIONES

1. Se enfatiza el uso de *drone* para realizar levantamientos topográficos de precisión, por otro lado, la manipulación es segura tanto para el personal, equipos e infraestructura; del mismo modo, reduce tiempos en comparación con otros equipos, ya que el ciclo productivo no se ve afectado
2. De acuerdo a la precisión alcanzada tanto planimétrica como altimétrica lo que permite elaborar modelos digitales de calidad, se enfatiza su uso y aplicación para realizar levantamientos topográficos.
3. Se enfatiza el uso de *drone*, debido al menor tiempo que se emplea para realizar levantamientos topográficos y generar modelos digitales en tiempo real sin paralizar la producción, movimiento de materiales y reducir los costos
4. Se enfatiza el uso del *drone*, ya que permita sustituir al ser humano en la ejecución de levantamientos topográficos de zonas altamente riesgosas que involucran movimientos de materiales, operación de equipos y maquinaria pesada entre otros, debido que esta tecnología tiene la capacidad de llegar con facilidad a espacios de difícil acceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. VERGARA, Lukas. Fotogrametría aérea para topografía en terreno. Trabajo de titulación (Título de Técnico Universitario en Proyectos de Ingeniería). Viña del Mar - Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2019, 42 pp.
2. CLAROS, Rene, GUEVARA, Alex y PACAS, Nelson. Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados. Tesis (Título de Ingeniero Civil). San Miguel - El Salvador: Universidad de El Salvador, 2016, 319 pp.
3. FUENTES, Jose. *Topografía*. México: Red Tercer Milenio S. C., 2012, 99 pp. ISBN: 978 - 607 - 733 - 036 - 3
4. GLOBAL, Mediterranea. *Drones y topografía la combinación perfecta*. [en línea]. Valencia España : Global Mediterranea Geomática, 2018. [fecha de consulta: 14 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
5. REYES, Bryan, MARÍA, Jessica y CASTILLO, Leydi. *El uso de drone en levantamientos de información topográfica*. Santo Domingo: INTEC, 2017.
6. FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. *Los drones y sus aplicaciones a la Ingeniería*. [en línea] Madrid : Graficas Arias Montano, 2015. [fecha de consulta: 7 de enero de 2022]. Disponible en: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf>
7. AGUIRRE, Roberto. Levantamiento topográfico para la construcción de 372m lineales de carretera de pavimento flexible ubicado del edificio de radiología hasta el kínder en el recinto universitario Rubén Darío (unan Managua). Seminario de Graduación (Título de Técnico Superior en Ingeniería Civil). Unan-Managua: Nicaragua , 2015, 72 pp.

8. CRANES AND MACHINERY. *Levantamiento_fotogrametrico_con_drones*. [en línea]. España : Gruasyaparejos, 2017. [fecha de consulta: 9 de enero de 2022]. Disponible en: <https://gruasyaparejos.com/topografia/fotogrametria-con-drones/>
9. FILMORA. *Análisis completo del DJI Phantom 2 Visión +*. [en línea] 2021 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2021.] Disponible en: <https://filmora.wondershare.es/drones/dji-phantom-2-vision-plus-review.html>
10. HINOZTROZA, Pablo. Evaluación de errores maximos permisibles entre levantamiento topografico empleando dron y sistema de posicionamiento global diferencial. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2021, 97 pp.
11. QUESADA, Eddy, SUAREZ, Dagoberto y QUINTANA, Carlos. Métodos de cálculo de volumen en modelos de bloques utilizando dominios. *Havana : Geoinfo*. Junio - 2015.
12. TURNER, Keith. *Three-dimensional modeling with geoscientific information systems*. Estados Unidos : Springer Science & Business Media, 1992, 463 pp. ISBN-10: 9401051283
13. QUESADA, Eddy. Algoritmo para el cálculo del tonelaje en modelos de bloques con restricciones gemétricas. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Mexico : Universidad de Ciencias Informáticas, 2014, 65 pp.
14. NTC-001-2015 - Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia.[en línea] Miniestrio de Transportes y Comunicaciones [fecha de consulta: 8 de enero de 2022]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390602/NTC__RPAS__texto__.pdf

15. CONSORCIO DE EDUCACIÓN DE BARCELONA. *Drones, el cielo está al alcance de todos*. [en línea] Noviembre de 2013. [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: https://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf.
16. QUIROZ, Elia. *Introducción a la fotogrametría y cartografía*. México : Caceres, 2014. ISBN: 978 - 84 - 697 - 1317 - 4.
17. GARCIA, Fernando. *Curso básico de topografía*. México : Arbol Editoria, 1994. ISBN: 968-461-003-3.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿Cuál es el resultado de la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado, unidad minera Bambas 2021?	Evaluar el resultado de la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado, minera Bambas 2021	La aplicación de Drone permite realizar levantamientos topográficos para hacer modelos digitales de calidad de frentes minado, Las Bambas 2021.	Independiente Aplicación de Drone
				Dependiente: Modelos digitales
Específicos	a) ¿Cuál es la precisión de la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado?	a) Calcular la precisión de la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado.	a) La aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes de minado con precisión.	
	b) ¿Cuál es el tiempo con la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado?	b) Determinar el tiempo con la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado.	b) La aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes de minado, se efectúan en menor tiempo en relación a otros equipos.	
	c) ¿Cuáles son los riesgos del personal con la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado?	c) Identificar los riesgos del personal con la aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes minado.	c) La aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frentes de minado permiten minimizar los riesgos del personal.	

	Concepto	Dimensión	Indicador
Variable independiente	Un vehículo robótico, en general. Un vehículo aéreo que vuela sin tripulación. Su nombre se deriva del inglés Drone que en español significa "abeja macho"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precisión ▪ Tiempo ▪ Riesgos personales ▪ zonas de difícil acceso ▪ Costos 	<p>EMP hr Seguridad S/U \$</p>
Variable dependiente	Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Creación de modelos físicos (incluyendo creación de mapas de relieve). Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satélites ser menor que el resto, usándose cordón detonante de alto gramaje, solo o en combinación de cartuchos de explosivo de pequeño calibre.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo digital de elevaciones ▪ Modelo digital planimétricos ▪ Modelo digital altimétricos ▪ 	<p>EMP EMP</p>

Anexo 2
Fotografías



Vista del tajó abierto mina las Bambas



Vista del tajó abierto mina las Bambas