

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Aplicación del Software MineSight para el modelamiento del diseño del tajo trapiche en la Unidad Minera el Molle Verde SAC - Apurímac, 2023

Presentado por:

Ruben Rea Lupa

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

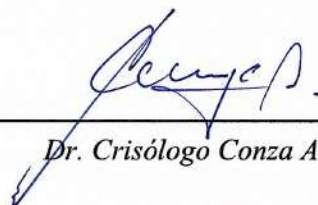
"APLICACIÓN DEL SOFTWARE MINESIGHT PARA EL MODELAMIENTO DEL
DISEÑO DEL TAJO TRAPICHE EN LA UNIDAD MINERA EL MOLLE VERDE SAC -
APURÍMAC, 2023"

Presentado por **Ruben Rea Lupa**, para optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 02 de setiembre del 2024, ante el jurado:

Presidente:




Dr. Crisólogo Conza Ancaypuro

Primer Miembro:



Mtro. Edgar Crispin Huacac Farfán

Segundo Miembro:



Mgt. Dariensko Ronald Bustos Villena

Asesor:



Mtro. Feliciano Escobedo Silva





CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 153-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada "**Aplicación del Sólftware MineSight para el Modelamiento del Diseño del Tajó Trapiche en la Unidad Minera El Mólle Verde SAC - Apurímac, 2023**", presentado por el Bach. **Ruben Rea Lupa**, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (14%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 29 de agosto del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC
Dr. Linoel Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N° 608



Agradecimiento

A Dios por darme sabiduría, fuerza y ser la luz de mi camino, a mi apu imponente Choq'uemarca, a mi madre, mi hermana, que gracias a ellas salí adelante, por darme su apoyo incondicional y la fuerza de seguir cumpliendo mis mestas.

A mi alma mater, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a la facultad de Ingeniería y en especial a mi escuela profesional de Ingeniería de Minas por permitir mi formación profesional en sus aulas.

Expreso mi gratitud a todos los docentes de Ingeniería de Minas por sus consejos y recomendaciones en mi formación profesional, a todas las personas que me brindaron su apoyo para seguir adelante.

A la empresa El Molle Verde SAC – Cia. de Minas Buenaventura y a sus Ing. Rubén Valer Cruces Gerente, Ing. Franz Inga Contreras Geólogo de Exploraciones del proyecto Trapiche, por haberme permitido realizar mi proyecto de tesis y brindarme la información para el desarrollo y elaboración de mi proyecto.



Dedicatoria

*A mi madre **Natividad Lupa Gutiérrez**, por el sacrificio, la voluntad y valentía que tuvo por sacarme adelante como padre y madre a pesar de las adversidades con su apoyo incondicional.*

A mi hermana Rosa Rea Lupa, a mi compañera de vida verónica y a mis sobrinas, por su apoyo y consejo en cada paso de mi vida.

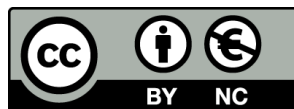
A mi Hatun Papay Zacarias Lupa que desde el cielo guía mi camino y por las enseñanzas que me dio en vida.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis familiares, amigos, por brindarme su apoyo y extender las manos en momentos difíciles.



Aplicación del Software MineSight para el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche en
la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023
Línea de investigación: minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Enunciado del problema.....	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
1.3.1 Justificación.....	5
1.4 Delimitaciones	6
1.4.1 Ubicación.....	6
1.4.2 Accesibilidad	7
1.5 Alcance y limitaciones	8
1.5.1 Alcance.....	8
1.5.2 Limitaciones	8
CAPITULO II	9
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	9
2.1 Objetivos de la investigación	9
2.1.1 Objetivo general.....	9
2.1.2 Objetivos específicos	9
2.2 Hipótesis.....	9
2.2.1 Hipótesis general.....	9
2.2.2 Hipótesis específica	10



2.3	Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III.....		11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL		11
3.1	Antecedentes.....	11
3.1.1	Antecedentes internacionales	11
3.1.2	Antecedentes nacionales	13
3.2	Marco teórico.....	15
3.2.1	Planeamiento de mina	15
3.2.2	Aplicación del software Minesight en planeamiento de mina.....	16
3.2.3	Operaciones con datos de perforación diamantina	21
3.2.4	Estimación de los recursos en el planeamiento	24
3.2.5	Cálculo de reserva en el planeamiento.....	25
3.2.6	La geoestadística en el Planeamiento.....	26
3.2.7	Parámetros de un tajo.....	27
3.3	Marco conceptual.....	28
3.3.1	Historia del proyecto Trapiche	28
3.3.2	Definición de términos.....	30
CAPÍTULO IV		32
METODOLOGÍA		32
4.1	Tipo y nivel de investigación.	32
4.2	Diseño de investigación.	32
4.3	Población y muestra.....	32
4.3.1	Población.....	32
4.3.2	Muestra.....	33
4.4	Procedimiento.....	33
4.5	Técnicas e instrumentos	34
4.5.1	Técnicas.....	34
4.5.2	Instrumentos	35
CAPÍTULO V		36
RESULTADOS Y DISCUSIONES		36



5.1	Análisis de resultados.....	36
5.1.1	Generación de las tablas de la base de datos	36
5.1.2	Creación del Proyecto minero Trapiche.....	38
5.1.3	Creación de la estructura de base de datos para el software Minesight.....	39
5.1.4	Conversión de la data a formato ASCII.....	40
5.1.5	Cargado de Taladros a la base del software Minesigth.....	43
5.1.6	Validación de data	43
5.1.7	Importación de sondajes en el Visualizador.....	44
5.1.8	Modelamiento geológico de Trapiche.....	44
5.1.9	Topografía del proyecto Trapiche e importación al MineSight	47
5.1.10	Geomecánica del proyecto trapiche.....	48
5.1.11	Compositación de Taladros.....	49
5.2	Modelo de Bloques del proyecto Trapiche	52
5.2.1	Parámetros del modelo de bloques para el proyecto minero Trapiche	52
5.2.2	Creación del archivo 3d Block Model o Archivo Tra15.....	53
5.2.3	Evaluación Estadística de la data.....	55
5.2.4	Evaluación Geoestadística de la data.....	56
5.3	Estimación de recursos y reservas.....	62
5.3.1	Estimación de recursos.....	62
5.3.2	Método de Kriging.....	62
5.3.3	Definición de los bloques de evaluación.....	62
5.3.4	Interpolación de las leyes con el procedimiento de Kriging	62
5.3.5	Clasificación de recursos.....	64
5.3.6	Codificación de recursos	65
5.3.7	Estimación de Reservas.....	67
5.3.8	Creación de un modelo de superficie.....	67
5.3.9	Creación del Pit Optimo (Lerchs Grossman)	69
5.3.10	Determinación de la vida económica de la mina	70
5.3.11	Planeamiento del Pit por años	72
5.3.12	Diseño de botadero	73
5.3.13	Componente geométrico del tajo Trapiche	75
5.4	Discusión.....	77



CAPÍTULO VI	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.5 Conclusiones.....	79
5.6 Recomendaciones	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Accesibilidad al proyecto Trapiche	7
Tabla 2 — Operacionalización de variables.....	10
Tabla 3 — Sondajes de exploración	21
Tabla 4 — Resumen Histórico (2001 - 2014) Perforación Diamantina.....	33
Tabla 5 — Información obtenida de los Taladros	36
Tabla 6 — Inclinación y azimut de los taladros	37
Tabla 7 — Leyes con las cuales se va a trabajar	37
Tabla 8 — Indican las litologías del yacimiento	37
Tabla 9 — Relación del modelo geológico de Trapiche	45
Tabla 10 — Parámetros usados en el sistema de clasificación geomecánica RMR.....	48
Tabla 11 — Clasificación Geomecánica de macizo rocoso de Trapiche según sus índices de RMR.....	49
Tabla 12 — Clasificación Geomecánica de macizo rocoso de Trapiche.....	49
Tabla 13 — Label, mínimo, máximo y precisión	50
Tabla 14 — Parámetros para el modelo del proyecto Trapiche	52
Tabla 15 — Reporte de la cantidad de mineral y desmonte a explotar por año y su relación de stripping.....	73
Tabla 16 — Cantidad de desmonte a almacenar por año	74
Tabla 17 — Parámetros geométricos del tajo Trapiche	75



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Ubicación de proyecto.....	8
Figura 2 — Diseño de tajo con MineSight.....	18
Figura 3 — Composición de un sondaje	19
Figura 4 — Procedimiento para el modelamiento del pit final de Trapiche.....	19
Figura 5 — Superficie económicamente explotable del pit final de Trapiche.....	20
Figura 6 — Procedimiento Interactivo de Minesight para el pit final de Trapiche.....	21
Figura 7 — Paleta geológica del Proyecto Trapiche	23
Figura 8 — Modelo de bloques a tajo abierto	25
Figura 9 — Componentes geométricos de un tajo.....	28
Figura 10 — Límites del Proyecto Minero Trapiche.....	38
Figura 11 — Creación del PCF y parámetros	39
Figura 12 — Límites y precisión del archivo Assay o archivo Tra11	40
Figura 13 — Procedimiento convert collar, survey, assay files	40
Figura 14 — Importación del collar	41
Figura 15 — Importación del Survey	41
Figura 16 — Importación del assay	42
Figura 17 — Importación de la litología.....	42
Figura 18 — Cargado del archivo dat201.ai.	43
Figura 19 — Validación de la data	43
Figura 20 — Visualizador de los taladros del Proyecto Minero Trapiche.....	44
Figura 21 — El modelo geológico de Trapiche	45
Figura 22 — Cuerpo mineralizado después de la importación del modelo geológico	46
Figura 23 — Verificación de errores del solido	47
Figura 24 — Topografía de la superficie y el sólido en 3D.....	48
Figura 25 — Procedimiento Bench compositing	50
Figura 26 — Composición a 10 metros	51
Figura 27 — Visualización de los sondajes compositados	51
Figura 28 — Resultado los sondajes Compositados a cada 10 m	52

Figura 29 — Visualización del bloque de acuerdo al tamaño de 20m x 15 m x 10m.....	53
Figura 30 — Items del modelo de bloques	53
Figura 31 — Codificación de los sólidos.....	54
Figura 32 — Modelo de bloques de Trapiche.....	54
Figura 33 — Histograma Normal para leyes de Cobre.....	55
Figura 34 — Reporte de resultados para leyes del Cobre.....	56
Figura 35 — Parámetros usados para la creación del variograma unidireccional en el MineSight.....	57
Figura 36 — Parámetros usados para la creación de variograma unidireccional en el Minesight.....	57
Figura 37 — Variograma unidireccional	58
Figura 38 — Parámetros usados para la creación de los variogramas en el MineSight.....	59
Figura 39 — Parámetros usados para la creación de variograma en el MineSight.....	59
Figura 40 — Lista total de los variogramas	60
Figura 41 — Variograma 3D Manager.....	61
Figura 42 — Elipsoide en Minesight.....	61
Figura 43 — Procedimiento Ordinary Kriging	62
Figura 44 — Parámetros para el krigging ordinario.....	63
Figura 45 — Parámetros para el krigging ordinario.....	63
Figura 46 — Parámetros para el krigging ordinario.....	64
Figura 47 — Resultados del krigging ordinario.....	64
Figura 48 — Box Plot en función a la distancia.....	65
Figura 49 — Multi Run con el procedimiento User Calcs.....	66
Figura 50 — Parámetros para la confiabilidad.....	66
Figura 51 — Recurso medido, indicado e inferido.....	67
Figura 52 — Límites y precisión del modelo de superficie	68
Figura 53 — Modelo bloque y el modelo de superficie	68
Figura 54 — Ejemplo de envolvente económica óptima.....	69
Figura 55 — Utilización del método Lerchs Grossman	69
Figura 56 — Pit optimo sensibilizado con el método Lerchs Grosman	70
Figura 57 — Sólidos del material a producir por los 18 años de vida de Trapiche	72
Figura 58 — Botadero, plantas chancado y el Pit Trapiche.....	74
Figura 59 — Parámetros geométricos del tajo Trapiche.....	76
Figura 60 — Plano del Tajo Trapiche.....	89

Figura 61 — Sondajes ejecutados en el proyecto Trapiche	90
Figura 62 — Carta de presentación de la Comunidad de Mollebamba a la empresa El Molle Verde SAC	91
Figura 63 — Vista de frontal del futuro tajo Trapiche	92
Figura 64 — Vista de planta del futuro tajo Trapiche	92
Figura 65 — Vista de perfil del futuro tajo Trapiche	93
Figura 66 — Reconocimiento de la ubicación de sondajes de perforación	93
Figura 67 — Perforación diamantina realizado por Sierra Drilling	94
Figura 68 — Perforación diamantina realizado por Sierra Drilling	94



INTRODUCCIÓN

En la industria minera, la planificación y diseño adecuado de los tajos mineros son esenciales para asegurar una extracción eficiente y segura de los recursos minerales. En este sentido, el uso de los softwares especializados se ha consolidado como una herramienta invaluable para el modelado y diseño de tajos, permitiendo una evaluación precisa de diversos escenarios y la optimización de parámetros operativos.

Este estudio abordó el desafío específico del diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC, situada en la región de Apurímac. Con el objetivo de mejorar la eficiencia y rentabilidad de la operación minera.

MineSight ha demostrado su valía en la industria minera al ofrecer capacidades para análisis geológicos, geométricos y económicos, lo que permitió evaluar diversas alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada según los objetivos y restricciones de la mina. Su interfaz intuitiva y sus potentes algoritmos de optimización brindaron una plataforma sólida para el diseño de tajos mineros.

Durante la investigación realizada, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la geología y geotecnia de la Unidad Minera El Molle Verde SAC, obteniendo una descripción precisa del yacimiento. Posteriormente, se utilizó el software MineSight para modelar y diseñar el Tajo Trapiche.

Los resultados obtenidos a través de la aplicación de MineSight proporcionaron una base sólida para la toma de decisiones en la planificación minera, lo que permitió maximizar la recuperación de los recursos minerales, minimizar los riesgos geotécnicos y optimizar los costos operativos. Además, los hallazgos de este estudio contribuyeron al conocimiento y aplicación de herramientas computacionales avanzadas en el ámbito minero, generando nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones mineras en la región de Apurímac y más allá.



RESUMEN

La minería es una de las actividades con mayor interés e impacto económico en el Perú, es así que El Molle Verde S.A.C, empresa subsidiaria de Buenaventura viene trabajando en el desarrollo del Proyecto de cobre de tajo abierto. En la unidad minera el modelamiento y diseño adecuado del tajo minero desempeña un papel crucial, por el cual se desarrolló la presente investigación titulada "Aplicación del Software MineSight para el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023". Que tuvo por objetivo general, aplicar de manera efectiva el Software MineSight para modelar el diseño del tajo, mientras que los objetivos específicos incluyeron la identificación de parámetros fundamentales, la evaluación de la influencia del modelo de bloques y el cálculo de reservas. El estudio de la investigación experimental constó de 302 sondajes de exploración, data que fue contenida en el grupo de tablas Collar, Survey, Assay y Litología, los datos obtenidos fueron procesados en un formato ASCII, importados en el software, validados y visualizados en 3D. Se procedió a realizar la composición de sondajes a 10 m (altura de banco del Tajo Trapiche). Seguidamente se creó el modelo de bloques y el cálculo de reservas. En el modelamiento del Tajo Trapiche se utilizó los métodos de planificación del diseño de tajo, Kriging Ordinario y el Lerchs Grossmann, integrando procedimientos de modelo de bloques y Cálculo de reservas. Se obtuvo 8'512,092 bloques con leyes de 0.52% de Cu. Estos datos fueron fundamentales para calcular las reservas del Proyecto Trapiche obteniendo una estimación de 283'200,000.00 TM. Dichas reservas están planificadas para ser extraídas durante un periodo de 18 años de vida útil de la mina, con fases de minado establecidas para cada año de vida útil. Este estudio proporcionó una contribución valiosa al Proyecto Minero Trapiche, demostrando la eficacia del Software MineSight en la planificación y diseño de tajos mineros. Los resultados obtenidos serán esenciales en la mejora de la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras similares en el futuro y subrayan la importancia de la aplicación de tecnología avanzada en la industria minera para optimizar los procesos de planificación y diseño.

Palabras clave: *MineSinght, modelamiento, bloques, tajo, sondajes.*



ABSTRACT

Mining is one of the activities with the greatest interest and economic impact in Peru. As such, El Molle Verde S.A.C., a subsidiary of Buenaventura, is working on the development of an open-pit copper project. In the mining unit, proper pit modeling and design play a crucial role, which led to the development of this research titled "Application of MineSight Software for Modeling the Design of the Trapiche Pit in the El Molle Verde SAC Mining Unit - Apurímac, 2023." The general objective was to effectively apply MineSight software to model the pit design, while the specific objectives included identifying key parameters, evaluating the influence of the block model, and calculating reserves. The experimental research study consisted of 302 exploration drill holes, data that was contained in the Collar, Survey, Assay, and Lithology tables. The obtained data was processed in an ASCII format, imported into the software, validated, and visualized in 3D. Drill hole compositing was carried out at 10 m (bench height of the Trapiche Pit). Subsequently, the block model and reserve calculation were created. In the modeling of the Trapiche Pit, pit design planning methods, Ordinary Kriging, and Lerchs-Grossmann were used, integrating block model procedures and reserve calculation. A total of 8,512,092 blocks with grades of 0.52% Cu were obtained. These data were fundamental for calculating the reserves of the Trapiche Project, obtaining an estimate of 283,200,000.00 metric tons. These reserves are planned to be extracted over a period of 18 years of mine life, with mining phases established for each year of mine life. This study provided a valuable contribution to the Trapiche Mining Project, demonstrating the effectiveness of MineSight software in mine pit planning and design. The results obtained will be essential in improving the efficiency and profitability of similar mining operations in the future and highlight the importance of applying advanced technology in the mining industry to optimize planning and design processes.

Keywords: *MineSight, modeling, blocks, pit, drill holes.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La tesis "Aplicación del Software MineSight para el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023" aborda un problema específico en el contexto de la minería a tajo abierto. El problema se relaciona con el diseño del tajo Trapiche en la mencionada unidad minera y la necesidad de utilizar herramientas de software especializadas para optimizar y mejorar este proceso.

El diseño de un tajo en la minería a tajo abierto es una etapa crucial en el desarrollo de un proyecto minero, ya que implica la planificación de la extracción del mineral de manera eficiente y segura. El tajo Trapiche es un tipo de diseño de tajo que se utiliza en ciertos contextos geológicos para maximizar la recuperación del mineral y minimizar los costos de operación.

Sin embargo, el diseño del tajo Trapiche requiere un análisis detallado de múltiples variables, como la topografía, la geología, la distribución del mineral y los aspectos técnicos de la excavación. Esto representa un desafío en términos de cálculos precisos, toma de decisiones y optimización del diseño.

El problema principal que se aborda en esta tesis es la necesidad de mejorar el proceso de diseño del tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC utilizando el software MineSight. La pregunta de investigación podría centrarse en cómo la aplicación de esta herramienta de software puede ayudar a optimizar el diseño del tajo Trapiche, considerando aspectos como la eficiencia de extracción, la estabilidad del talud, la distribución de la infraestructura minera y la seguridad de las operaciones.

En resumen, el problema que se aborda en esta tesis es la falta de una metodología efectiva y precisa para el diseño del tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC, y la necesidad de utilizar el software MineSight como una herramienta para mejorar y optimizar este proceso.



1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se modelará el diseño del Tajo Trapiche por medio de la aplicación de Software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo identificar los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023?
- ¿Cómo influencia el modelo bloques en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023?
- ¿Cómo calcular los recursos y reservas con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación

La aplicación del software MineSight para el modelamiento y diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac se justifica por diversas razones fundamentales.

En primer lugar, la industria minera enfrenta constantemente el desafío de maximizar la eficiencia de las operaciones y optimizar la rentabilidad de los yacimientos. El diseño adecuado de los tajos mineros desempeña un papel crucial en este objetivo, ya que influye directamente en la extracción de los recursos minerales y en la gestión de los riesgos asociados. La aplicación del software MineSight permite realizar un modelamiento detallado del Tajo Trapiche, considerando aspectos geológicos, geotécnicos y económicos, lo que facilita la toma de decisiones informadas y optimizadas.

En segundo lugar, la Unidad Minera El Molle Verde SAC se encuentra en la región de Apurímac, una zona con un alto potencial minero. El desarrollo y uso

de tecnologías avanzadas en la planificación y diseño minero en esta región contribuirá no solo a la optimización de las operaciones en la Unidad Minera El Molle Verde SAC, sino también al avance y desarrollo sostenible de la industria minera en la región en su conjunto.

Además, el software MineSight ha demostrado ser una herramienta confiable y eficiente en la industria minera, siendo ampliamente utilizado en diversas operaciones mineras a nivel mundial. Su capacidad para realizar análisis geológicos y geotécnicos precisos, así como su funcionalidad de optimización, lo convierte en una opción idónea para el diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC. La aplicación de esta herramienta proporcionará resultados confiables y consistentes, mejorando la calidad de los diseños y permitiendo una planificación más efectiva de las operaciones mineras.

Adicionalmente, este estudio no solo contribuirá al conocimiento y aplicación del software MineSight en el contexto específico de la Unidad Minera El Molle Verde SAC, sino que también proporcionará aprendizajes y recomendaciones que podrán ser aplicados en otras operaciones mineras similares. Esto permitirá a otras empresas mineras beneficiarse de las lecciones aprendidas y las mejores prácticas obtenidas en este estudio, fomentando así la innovación y el progreso en la industria minera a nivel regional y nacional.

En conclusión, la aplicación del software MineSight para el modelamiento y diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac se justifica por su potencial para mejorar la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras, su relevancia en el contexto minero de la región, su fiabilidad y su capacidad de proporcionar resultados confiables. Este estudio contribuirá al avance de la industria minera en Apurímac y ofrecerá lecciones valiosas para futuras aplicaciones de tecnologías avanzadas en el diseño de tajos mineros.

1.4 Delimitaciones

1.4.1 Ubicación

El proyecto minero Trapiche se encuentra en el paraje de Qanqawani, Milloquchu, Mallayerbayoq de la comunidad campesina de Mollebamba, del distrito de Juan Espinoza Medrano, en la provincia de Antabamba, departamento



de Apurímac, el centro del proyecto con coordenadas UTM WGS84 en zona 18 sur la latitud del proyecto se encuentra en un rango de 3900 a 4650 msnm:

Este: 729,671; Norte: 8'395,001.

1.4.2 Accesibilidad

El proyecto es accesible por vía terrestre partiendo desde Lima asta Aparay para abordar el desvío a Caraybamba hasta llegar a Mollebamba. Finalmente, desde Molebamba se toma una vía acceso afirmando hasta llegar al proyecto luego de un recorrido de 40 min, el tiempo total de recorrido es de 18 horas.

De manera alternativa, se puede llegar al proyecto por vía área hacia Cusco y luego se prosigue por vía terrestre, siguiendo la ruta asfaltada Cusco – Abancay – Mollebamba y posteriormente afirmada hasta el proyecto. El tiempo total de recorrido es de 10 horas.

Tabla 1 — Accesibilidad al proyecto Trapiche

VIA	Km	TIEMPO	ESTADO
Lima – Aparay	819	13 h 30 min	Carretera asfaltada
Aparay - Mollebamba	75	3 h 20 min	Carretera asfaltada
Mollebamba – Proyecto Trapiche	13	40 min	Carretera afirmada
TOTAL	907	17 h	
Lima – Cusco		1 h	Via aérea
Cusco - Abancay – Mollebamba	405	9 h 20 min	Carretera asfaltada
Mollebamba – Proyecto Trapiche	13	40 min	Carretera afirmada
TOTAL	418	10 h	

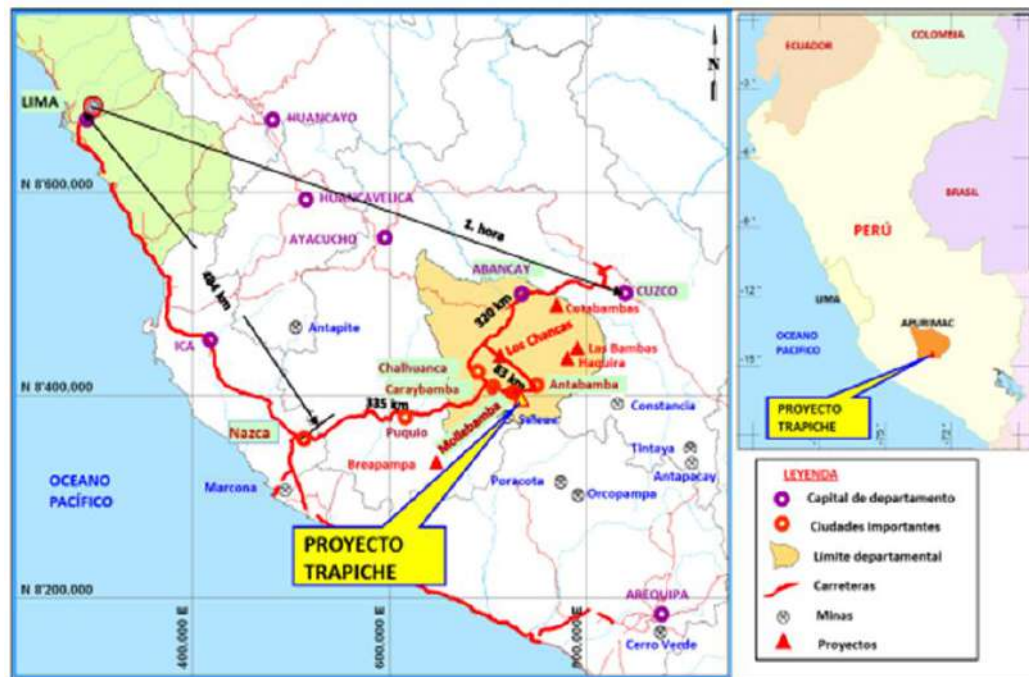


Figura 1 — Ubicación de proyecto
Extraído del área de Geología del Proyecto Trapiche.

1.5 Alcance y limitaciones

1.5.1 Alcance

Dicho proyecto de estudio se desarrollará exclusivamente mediante el software MineSight para lograr un modelamiento de diseño de tajo Trapiche.

1.5.2 Limitaciones

EL desarrollo de este proyecto es de naturaleza descriptiva y experimental aplicativo enfocado en la aplicación del software MineSight a los datos reales del proyecto Trapiche. Una de las principales limitaciones es que ciertos datos cruciales para el modelamiento son confidenciales debido a las políticas internas de la empresa. Se considera que los resultados sean optimos.

CAPITULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Modelar el diseño del Tajo Trapiche aplicando el software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.

2.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.
- Determinar la influenciara el modelo bloques en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.
- Calcular los recursos y reservas con el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

El modelamiento del tajo Trapiche queda diseñado por medio de la aplicación del software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.

2.2.2 Hipótesis específica

- La identificación los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche permite el uso adecuado de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.
- El modelo bloques en el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche es óptimo mediante la aplicación de software MineSight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.
- El cálculo de los recursos y reserva con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche es factible mediante la aplicacion del software MineSight en la unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurimac, 2023.

2.3 Operacionalización de variables

En la siguiente tabla 2, se describe el esquema metodológico utilizado en el análisis del trabajo de investigación del diseño de tajo Trapiche con el software MineSight. La variable independiente es el software MineSight y la variable independiente el modelamiento del diseño del tajo Trapiche.

Tabla 2 — Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
X: Variable Independiente Modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación del software Minesight	Modelamiento.	Eficiencia del Software	horas
		Precisión	mm
		Confiabilidad de los resultados	%
Y: Variable dependiente • Parámetros fundamentales de diseño. • Modelo de bloques. • Cálculo de recursos y reservas.	Leyes, azimut, inclinación longitud de DDH y litologías	Longitud DDH	m
		Azimut e inclinación	grados
	Cubicación en 3D	Recursos y reservas	TM
	Recursos y reservas	Dimensiones Leyes	m3 %



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Según (CASTILLO, 2009), en su proyecto de tesis de grado magister titulado Modelos de Optimización para la Planificación Minera a Cielo Abierto concluye que el ejercicio realizado en este estudio consistió en definir, el pit final, las fases y el programa de producción para un modelo de bloques de 62,200 bloques de 20 m x20 m x 20 m con contenido de cobre y oro. Si bien en la planificación minera existen una variedad de criterios para definir el pit final, hemos comprobado que, a partir de una misma metodología de trabajo en cada uno de los softwares, el resultado de definición de pit final cambia, a pesar que en todos los casos ocupan conceptualmente el mismo algoritmo de Lerchs – Grossman. Existen consideraciones en que cada software tiene su metodología para definir los ángulos de talud, lo que implica a priori una diferencia en los tonelajes asociados, sin embargo, en nuestro caso de estudio, para las herramientas Whittle y NPV Scheduler, encontramos dos envolventes muy similares en tonelajes totales pero asociadas a revenue factor con una diferencia mayor al 10%. Además, tras realizar la prueba de consistencia del revenue factor concluimos que en NPV Scheduler no es posible recrear un mismo escenario económico mediante la utilización del revenue factor como un multificador del precio. En tanto que para Whittle y Pit Optimiser existen una consistencia en la metodología, por tanto, si es posible recrear un escenario mediante el revenue factor.

Según (ELISSETCHE, 2010), en su proyecto de tesis titulada Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Tipo Exótico concluye que, para determinar el potencial económico de un yacimiento existen herramientas y técnicas



geoestadísticas de evaluación y modelamiento de recursos tales como el Kriging o la simulación condicional. La primera permite hacer una estimación insesgada y precisa de las leyes, obteniéndose un modelo suavizado que no representa la variabilidad. La segunda posibilita realizar un estudio de la incertidumbre de los valores involucrados en los atributos geológicos-minero-metalúrgico y tener análisis de riesgos a considerar para la toma de decisiones.

Según (RUMINÓ, 2021), En relación a las técnicas de optimización de planes mineros, el estudio permitió verificar innovaciones recientes en tecnologías y modelo matemáticos aplicables a casos reales para el estudio de incertidumbre geológica en planes mineros. Por su parte, la metodología de Agendamiento Directo de Bloques (DBS por su sigla en inglés) es la técnica base para realizar los análisis estocásticos. Esta técnica ha tenido resultados satisfactorios gracias al advenimiento de hardware y software que soportan la arquitectura 64-bit, permitiendo resolver problemas más complejos, de gran volumen y capturar un importante valor cautivo en algunas operaciones y proyectos, donde la práctica actual de planificación minera no puede develar este valor, puesto que el algoritmo para determinar el rajo final y la secuencia minera es básico y no utiliza en sus cálculos el valor del dinero en el tiempo. La técnica DBS, en cambio, obtiene un plan minero computacional directamente a partir del modelo de bloques. Esto representa un gran avance, si se compara con la serie de procesos batch que requiere la práctica estándar.

Según (FRANCO, y otros, 2011), en su artículo científico titulado Modelamiento de un yacimiento hipotético de carbón utilizando el software MineSight concluye que, El empleo de software en la industria minera es fundamental para abordar de manera completa los problemas presentes en la actividad minera a lo largo del tiempo.

Según (FRANCO, y otros, 2011), en su artículo titulada el Modelamiento de un yacimiento hipotético de carbón utilizando el software MineSight define que el MineSight puede brindar a la minería colombiana una gran ayuda para el desarrollo de proyectos teniendo un alto grado de exactitud en los diseños de



proyectos además de realizar simulaciones en varios escenarios económicos posibles, ya que cuenta con un sistema integrado de planificación.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Según (CARPIO, 2018), en su trabajo de tesis titulada, “Aplicación De Software Minero MineSight Al Planeamiento De Corto Plazo En Minería A Tajo Abierto” concluye que la optimización del proceso de trabajo utilizando las herramientas disponibles en el Programa MineSight ha logrado mejorar la eficiencia y confiabilidad en la elaboración de los planes de minado. Esto se debe a que se ha reducido considerablemente el riesgo de errores que suelen ocurrir al transferir información entre diferentes programas. Como resultado de esta optimización, se ha conseguido acelerar la realización de las tareas, permitiendo un trabajo más ágil y confiable. Al eliminar la necesidad de transferir datos entre programas, se ha minimizado el potencial de generación de errores y se ha logrado mantener la integridad y precisión de la información a lo largo de todo el proceso de planificación y ejecución del minado. En definitiva, la utilización de las herramientas del Programa MineSight ha facilitado un flujo de trabajo más eficiente y ha contribuido a la mejora del desempeño en términos de velocidad y confiabilidad en la realización de los planes de minado.

Según (YANA, 2014), en su proyecto de tesis titulada “Planeamiento de Minado a Mediano y Largo Plazo Empresa Minera Santa Luisa S.A. Proyecto Mina Atalaya” concluye que el proceso de planificación minera, es sin duda un proceso iterativo el cual tiene como punto de partida el modelo de bloques, el cual tiene como uno de sus principales ítems las leyes de los elementos los cuales deben ser interpolados por un buen método que permita obtener resultados lo más cercano a la realidad ya que solo así se trabajará sobre una buena base lo que permitirá obtener un buen planeamiento de minado.

Según (TOLENTINO, 2019), en su trabajo de investigación titulado “Estimación De Recursos Y Reservas Con El Uso De Software Minero Para La Explotación Del Proyecto Minero - DON J AVI ER” concluye que el



cálculo de recursos y reservas en el software minero MineSight tiene una aceptación alta debido a la exactitud de sus programas y la confiabilidad de datos.

Según (CONDORI, 2019), en su tesis que titula Implementación de un planeamiento de minado a cielo abierto con uso del software MineSight para alcanzar la producción óptima mediante la evaluación de las características geotécnicas en la unidad minera María 2 - Moquegua. Concluye que, el uso de herramienta del Software MineSight ha sido muy útil para el procesamiento de los datos de información necesario una vez teniendo los resultados de evaluación de características geotécnicas para su posterior implementación de planeamiento de minado a Cielo Abierto y este permite alcanzar las producciones óptimas diarias o de acuerdo al requerimiento del mercado.

Según (GUTIERREZ, 2022), en su proyecto de tesis titulada Software minero Mineplan y su influencia en el diseño de plan de minado de la concesión minera New Mining - Huancavelica – 2020, concluye que el software minero Mineplan influye de manera positiva en el diseño y generación de plan de minado de la concesión minera New Mining.

Según (YANA, 2014), en su proyecto de tesis titulada “Planeamiento de Minado a Mediano y Largo Plazo Empresa Minera Santa Luisa S.A. Proyecto Mina Atalaya” concluye que se desarrolló el planeamiento de minado a mediano y largo plazo con apoyo de un software minero en el proyecto minero Atalaya lo cual permitió obtener resultados de una manera más rápida y precisa, lo que permitirá mejorar la explotación de los recursos mineros mediante la realización y optimización de programas de producción.

Según (GONZALES, 2013), en su proyecto de tesis titulada el “Planeamiento de Minado del Tajo Alpamarca” concluye que el tajo operativo ha sido diseñado en base al Shell óptimo obtenido de acuerdo al algoritmo de Lerchs–Grossman en el software Minesight. Según el código NI-43-101 y el código JORG las reservas de mineral en tajo operativo es de 4’222,200 TM con una ley de 3.09 Oz/TM de Ag, 1.83 % de Pb, 1.83 % de Zn y 0.16 % de Cu.



Según (TELLO, 2017), en su trabajo de tesis titulada, Optimización Del Secuenciamiento Del Plan De Minado A Corto Plazo Con El Software Minesight En El Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017, concluye que las características geométricas del yacimiento se relacionan principalmente con su tamaño, consideraciones geomecánicas, relación de minado y tamaño de los equipos utilizados. Sin embargo, en operaciones mineras a gran escala, como las de cobre y oro, se está observando una tendencia a estandarizar las operaciones en base a una altura de banco típica de 15 metros y el uso de equipos de capacidad similar, tales como camiones, palas y equipos de perforación. Esta estandarización tiene como objetivo mejorar la eficiencia y reducir costos. Por otro lado, en yacimientos de tamaño mediano o pequeño, se observa una mayor variabilidad en las consideraciones y enfoques utilizados debido a las particularidades propias de cada yacimiento.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Planeamiento de mina

Según (CONDORI, 2019) el tema de planeamiento de minado, son los métodos de aplicación de planificación con el fin de hacer cumplir las producciones programadas a minar por la operación minera.

3.2.1.1 Tipos de planeamiento

Con descripción al tiempo, periodo del planeamiento, existen tres tipos:

- **Planeamiento a corto plazo:** De acuerdo a su tesis de (CARPIO, 2018) Típico y a responsabilidad del ingeniero de operación, comprende un periodo hasta de 1 año, en los cuales es característico los planeamientos mensuales, trimestrales y anuales.
- **Planeamiento a mediano plazo:** En su trabajo de tesis de (CONDORI, 2019) define que la planificación cuyo horizonte abarca de uno a tres años, dependiendo del tamaño de la operación y/o las políticas de la empresa. Esta actividad se inserta en la planificación de largo plazo, en el contexto de lograr cumplir con la estrategia allí delineada, siendo la base de la estimación y evaluación económica de la empresa, puesto que las decisiones

que se adopten para este horizonte, tendrán una flexibilidad a los cambios limitada.

- **Planeamiento a largo plazo:** De acuerdo a su tesis de (CARPIO, 2018) define Como información de entrada para la planificación de largo plazo es necesario conocer la composición geológica del mineral que posee la mina. Esto se logra mediante un modelo de bloques que consiste en realizar una grilla teórica de la mina, en cubos de dimensiones dependientes de la geografía de la mina y del detalle del sondaje efectuado. Para cada bloque se detallan tonelajes, leyes de los diferentes minerales que los componen (cobre, molibdeno, oro, zinc, etc.) y otras características geológicas (mineralogía, litología, etc.).

La planificación de largo plazo responde secuencialmente a decisiones tales como el diseño del pit o tajo final, diseño de fases, orden y precedencias de fases y bancos a ser extraídos, metas de ritmos de producción y llenado de planta, leyes de mineral, inversiones en capacidades de planta, requerimientos y disponibilidad de equipos, etc. Finaliza con la evaluación económica del proyecto.

3.2.2 Aplicación del software Minesight en planeamiento de mina

En su trabajo de investigación (YANA, 2014) define que el MineSight es un software geológico-minero creado en 1970 por la empresa Mintec Inc. Cuyo fundador es el señor Fred Banfield, el Minesight es un software especializado de mayor uso en la industria minera debido a su eficacia y rapidez, el cual nos permite realizar trabajos como análisis de datos, modelamiento, cálculo de reservas, diseño, planificación y producción de minas tanto a tajo abierto como subterráneas, su misión es entregar a sus clientes un servicio integral que les permita maximizar los beneficios de tecnología de software moderno y asegurarles que sus proyectos se mantengan competitivos y rentables.

De acuerdo a (Goslinga, 2014), en su publicación de Innova Mine, menciona que, MineSight es un software minero ampliamente utilizado en la industria para el diseño, modelado y planificación de operaciones mineras a cielo abierto

y subterráneas. Fue desarrollado por Hexagon Mining y ofrece una variedad de herramientas y funcionalidades para diversas etapas del ciclo minero.

El software Minesight se centra en los siguientes conceptos clave:

- **Modelado geológico:** MineSight permite la creación de modelos geológicos en 3D utilizando datos geológicos y de exploración. Estos modelos ayudan a comprender la distribución espacial de los depósitos minerales, la variabilidad geológica y otros aspectos relevantes.
- **Diseño de tajos abiertos:** El software proporciona herramientas para el diseño detallado de tajos abiertos, incluyendo la creación de bancos, taludes, rampas y caminos de acceso. Permite optimizar la forma y secuencia de extracción, considerando la estabilidad geotécnica, la eficiencia operativa y los requisitos de seguridad.
- **Planificación subterránea:** MineSight también ofrece capacidades para el diseño y la planificación de operaciones mineras subterráneas. Permite la creación de redes de galerías, accesos, chimeneas y otras infraestructuras relacionadas. Facilita la visualización y la planificación de la secuencia de desarrollo de la mina subterránea.
- **Estimación de recursos:** El software incluye herramientas para la estimación de recursos y reservas minerales utilizando diferentes métodos, como kriging, polígonos de corte y otros algoritmos de interpolación. Permite realizar cálculos volumétricos y generar informes precisos sobre la cantidad y calidad del mineral presente.
- **Programación y optimización:** MineSight ofrece capacidades avanzadas de programación y optimización de la producción minera. Permite la planificación detallada de las actividades mineras, la asignación de recursos y la optimización de la secuencia de trabajo. Además, ayuda a maximizar la eficiencia y la rentabilidad de la operación minera.
- **Visualización y análisis de datos:** El software proporciona herramientas de visualización 3D y análisis de datos para facilitar la comprensión y la toma de decisiones. Permite generar mapas, perfiles, secciones y otros gráficos para visualizar y analizar datos geológicos, topográficos y de producción.

MineSight es valorado en la industria minera por su capacidad para integrar datos de diversas fuentes, su enfoque en la optimización de la planificación minera y su capacidad para mejorar la productividad y la eficiencia en las operaciones mineras.

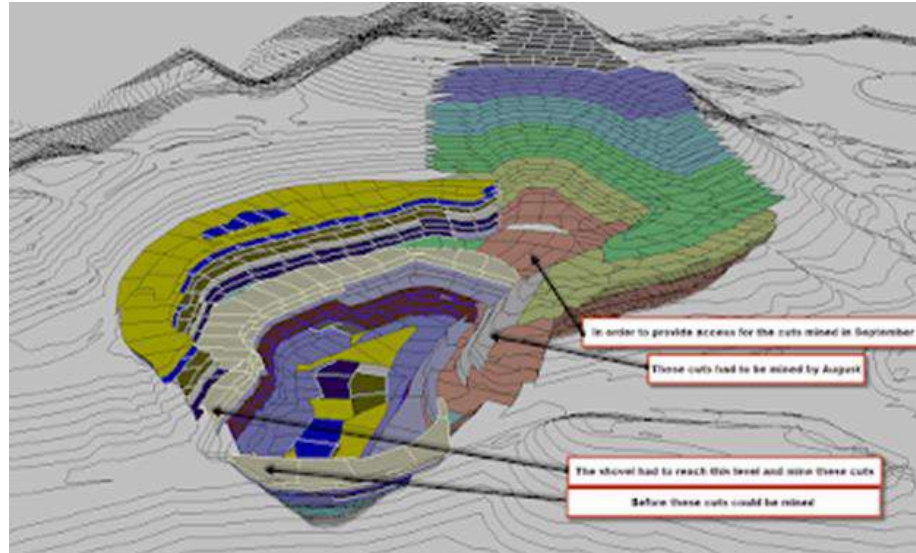


Figura 2 — Diseño de tajo con MineSight
Extraído de Publicación Unimaster 2023

3.2.2.1 Operaciones con compositos

Es un método para regularizar las leyes de los sondajes y resulta de la aplicación de la media ponderada de cierto tramo de los sondajes y está dada por la siguiente formula:

$$\text{Ley Media Ponderada} = \frac{\sum_1^N (T_i * L_i)}{\sum_1^N (T_i)}$$

Donde:

- T_i = Tramo i
- L_i = Ley del Tramo i
- N = Numero de tramos dentro de la distancia a compositar

Se composita a lo largo del taladro en su misma dirección verticalmente.

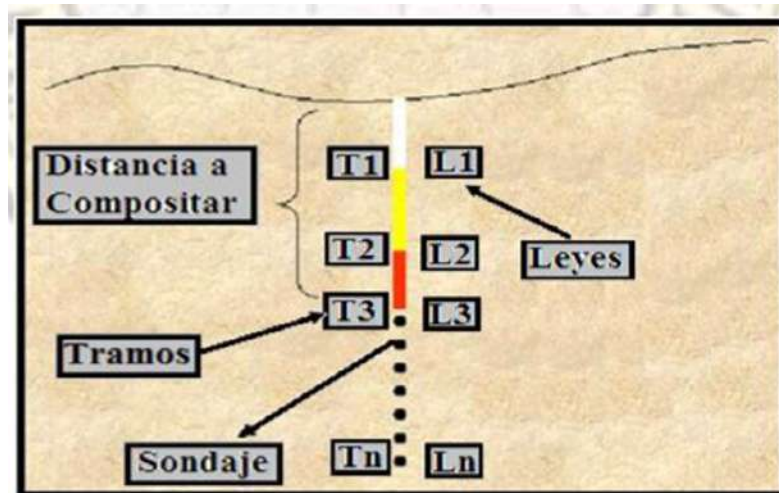


Figura 3 — Composición de un sondaje
Fuente: (YANA, 2014)

3.2.2.2 Operaciones de modelamiento

Según (TOLENTINO, 2019) define que los yacimientos pueden ser representados por un modelo de computadora, generalmente se usa un modelo en 3D de bloque para modelar yacimientos metálicos, los componentes horizontales se dividen en bloques que se relacionan a una unidad de producción que también se divide verticalmente en bancos, un bloque contendrá información de ley, código geológico, porcentajes topográficos, etc.

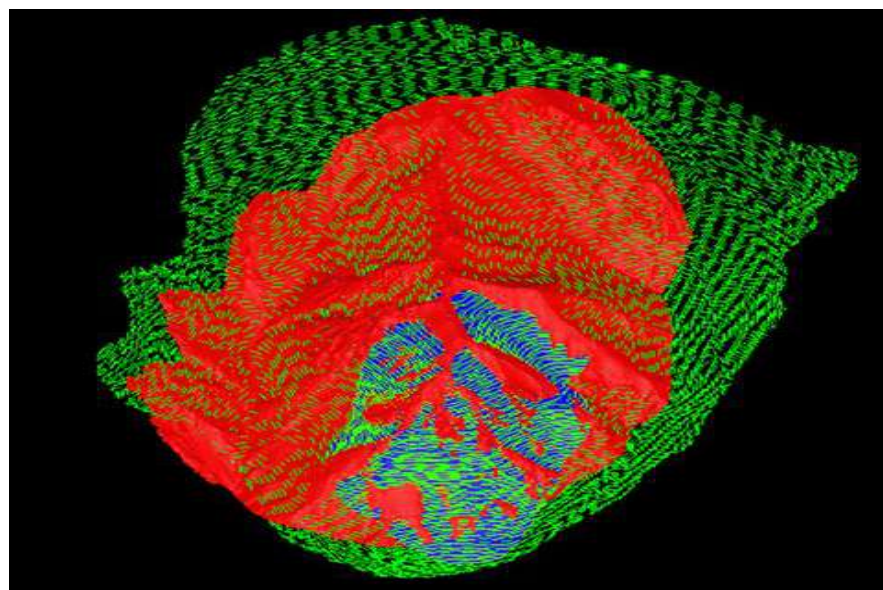


Figura 4 — Procedimiento para el modelamiento del pit final de Trapiche

3.2.2.3 Limite económico de un Pit

Se define según (YANA, 2014), este conjunto de rutinas trabaja en bloque desde el modelo en 3D y usa la técnica del cono flotante o Lerchs Grossmann para encontrar los límites económicos de los Pits, comúnmente se usa como material económico un ítem de ley, se ingresa los costos, valor neto del producto, Cutoff, talud final. Las reservas pueden ser calculadas para el ítem ley.

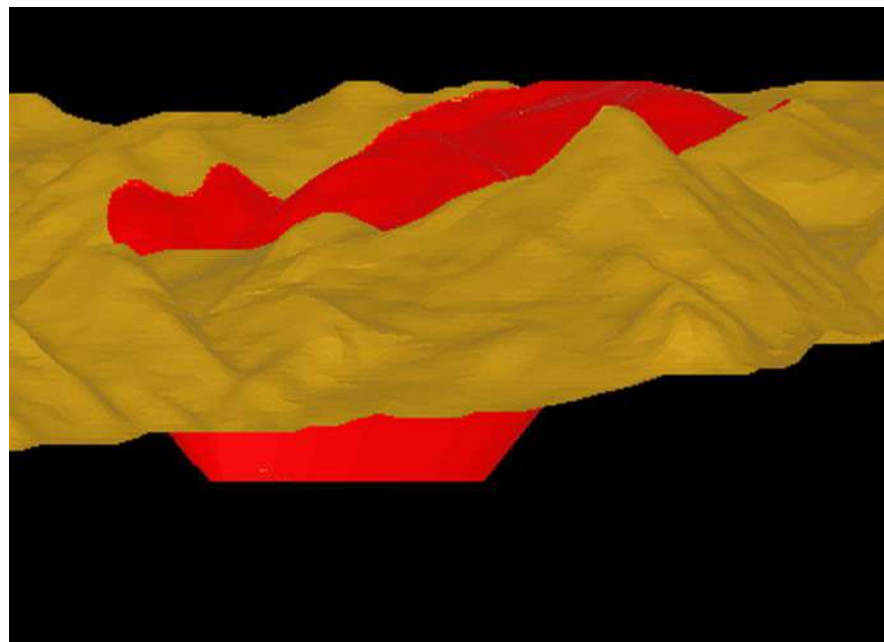


Figura 5 — Superficie económicamente explotable del pit final de Trapiche

3.2.2.4 Diseño de Pit interactivo

También define (YANA, 2014) Este conjunto de rutinas se usan para el

diseño geométrico del Pit, lo que incluye rampas, carreteras, expansiones y taludes de pared.

Las reservas para los Pits se evalúan a base de bloques parciales y se usan en el cálculo de la producción.

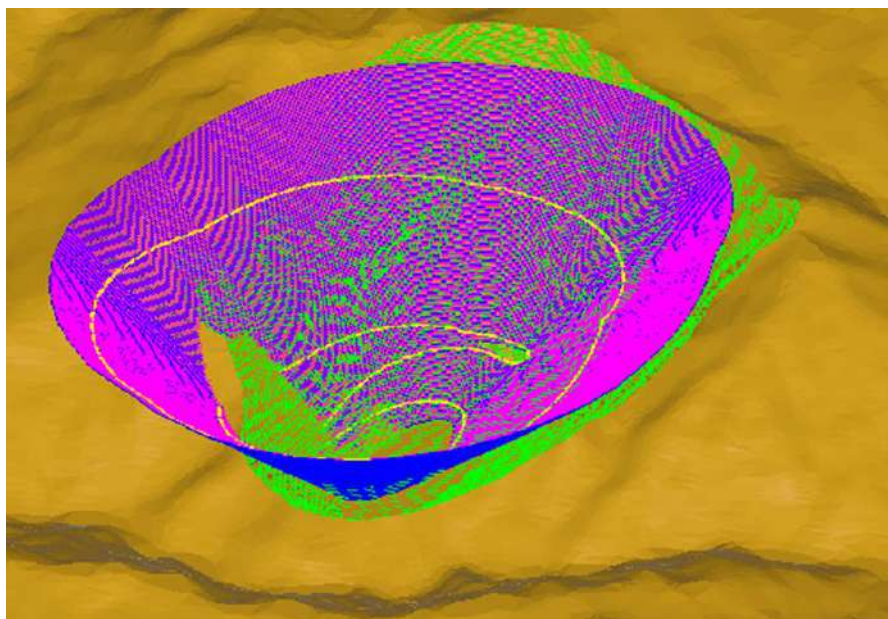


Figura 6 — Procedimiento Interactivo de Minesight para el pit final de Trapiche

3.2.2.5 Programación de producción

Este grupo de programas se usa para calcular los programas de producción a largo y mediano plazo, que se basan en los diseños y cálculos de reservas.

3.2.3 Operaciones con datos de perforación diamantina

Se define que el software se pueden almacenar gran variedad de datos de perforación diamantina como leyes, código geológico, coordenadas, características geomecánicas y orientación de taladros.

Esta fase exploratoria tiene varias etapas, desde la ejecución de sondajes exploratorios iniciales (2001-2009) hasta una exploración avanzada (2011-2014), en esta última se utilizaron otro tipo de sondeos, como geotécnicos, metalúrgicos e hidrogeológicos.

Tabla 3 — Sondajes de exploración

Campañas	Metraje (m)	Nº Sondajes
Exploración 2014	8328.90	36
Exploración 2013	26937.80	95
Exploración 2011 - 2012	22590.95	98
Exploración 2001 - 2009	31035.65	73
Total	88893.30	302

Fuente: Área de geología proyecto trapiche

3.2.3.1 Logueo geológico

El logueo geológico es una actividad importante que consiste en el registro detallado de las principales características geológicas tales como: litología, alteración, estructuras y mineralización. Estos registros geológicos han sido documentados en formatos especiales (hojas de logueo físico) que han sido elaborados según los patrones internacionales de hojas de logueo de depósitos tipo pórfidos y adaptados a las características geológicas del depósito.

El logueo geológico es esencial para toma de decisiones en exploración y explotación minera, permitiendo una evaluación precisa de la geología del yacimiento y los elementos del logueo son:

- **Descripción Litológica:** Identificación y descripción de las diferentes capas de roca (litología) atravesadas por el pozo. Esto incluye la clasificación de las rocas por tipo (sedimentarias, ígneas, metamórficas), textura, color, y otras características físicas.
- **Registro de Minerales y Alteraciones:** la identificación de minerales presentes y cualquier alteración en las rocas debido a procesos hidrotermales u otros.
- **Medición de Estructuras Geológicas:** Documentación de las estructuras como fracturas, fallas, pliegues y su orientación, que afectan el comportamiento del macizo rocoso.
- **Datos de Perforación:** Incluye la profundidad de cada capa, la recuperación de núcleo, y los intervalos donde se encuentran muestras significativas.
- **Información de Fluidización:** Observaciones de la presencia de agua o gases, flujo de lodo, y otros fluidos encontrados durante la perforación.

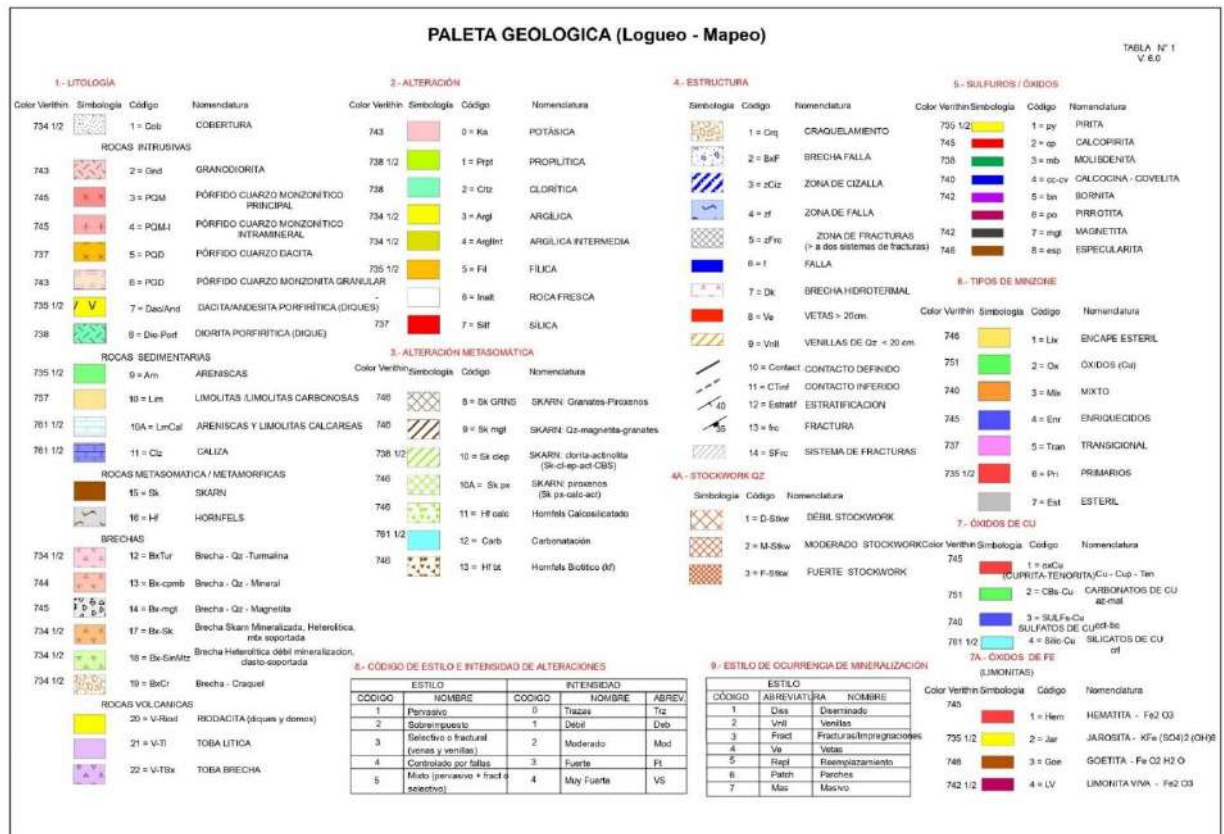


Figura 7 — Paleta geológica del Proyecto Trapiche
 Extraído de: Área de geología Proyecto Trapiche

3.2.3.2 Geomecánica

(Vergara, 2020), Evaluación geomecánica: Se realiza un estudio de la información geológica y geotécnica, utilizando datos de logueo y mapeo. Esto permite caracterizar el macizo rocoso y establecer el modelo geotécnico, que incluye modelos estructurales, geológicos, de macizos rocosos e hidrogeológicos.

La geomecánica en tajo abierto es una disciplina esencial en minería que estudia el comportamiento de las rocas y su estabilidad durante la explotación de minerales a cielo abierto. Su principal objetivo es asegurar la seguridad y eficiencia de la extracción, minimizando riesgos de fallas geotécnicas y optimizando el diseño de los taludes y sus componentes son:

- **Caracterización del Macizo Rocos:** Se evalúan las propiedades físicas y mecánicas de las rocas, como su resistencia y fracturamiento, usando sistemas como el RMR y el GSI.



- **Análisis de Estabilidad de Taludes:** Se estudia la estabilidad del terreno para prevenir deslizamientos, realizando simulaciones bajo diferentes condiciones.
- **Determinación de Parámetros Geotécnicos:** Se definen parámetros clave como el ángulo de talud y la altura de banco basados en estudios geotécnicos.
- **Monitoreo Continuo:** Se implementan sistemas para vigilar la estabilidad del talud, adaptando el diseño en tiempo real según los datos obtenidos.
- **Gestión del Riesgo Geotécnico:** Se identifican y mitigan los riesgos asociados a las condiciones geomecánicas.

3.2.4 Estimación de los recursos en el planeamiento

Según (RUMINÓ, 2021), en su proyecto de investigación define la estimación es una de las actividades claves en la evaluación de depósitos mineros, encargada de cuantificar la cantidad y calidad del recurso. El kriging es una técnica geoestadística de estimación que permite estimar la ley de un bloque de forma óptima, en el sentido que se minimiza la varianza de estimación y su resultado se conoce como la varianza de kriging.

Seguidamente también (ELISSETCHE, 2010) define entre las metodologías más comunes de estimación, se encuentran: inverso de la distancia y kriging. Este último resulta más preciso que los otros, dado que minimiza el error de estimación.

3.2.4.1 El método kriging

También (ELISSETCHE, 2010), define el término Kriging se aplica a un rango de métodos de estimación (puntual o de bloques) que dependen de la minimización de los errores de estimación, definidos comúnmente por el procedimiento de mínimos cuadrados. Se conoce como el mejor estimador lineal insesgado, o por su sigla BLUE (Best Linear Unbiased Estimator). Las principales propiedades son:

- **Interpolación exacta:** la estimación de un sitio con dato obtiene el medido en ese sitio.



- **Redundancia:** El kriging tiene en cuenta la redundancia de los datos. Muchos datos agrupados tienen casi el mismo peso que un dato en el centro de este argumento.
- **Suavizamiento:** La dispersión de los valores estimados es menor que la dispersión de los valores verdaderos. Esto está dado porque los promedios obtenidos para cada estimación tienen a subestimar valores altos y a sobreestimar valores bajos (por regresión).
- **Insesgo:** El kriging es insesgado a nivel global, sin embargo, puede contener sesgo condicional, el cual se ve reducido tomando muchos datos en la vecindad de kriging, sin embargo, aumenta la suavización.

3.2.5 Cálculo de reserva en el planeamiento

(GONZALES, 2010) El proceso de cálculo de reservas en una mina a tajo abierto involucra la aplicación de diversas herramientas en diferentes etapas. La información geológica y geotécnica juega un papel vital en todas las etapas del proyecto, desde el perfil inicial hasta la extracción del mineral. Esta información se procesa y se crean modelos de bloques que contienen datos sobre la geología, la geotecnia, las leyes de los metales, los contaminantes, la información metalúrgica y geometalúrgica, entre otros.

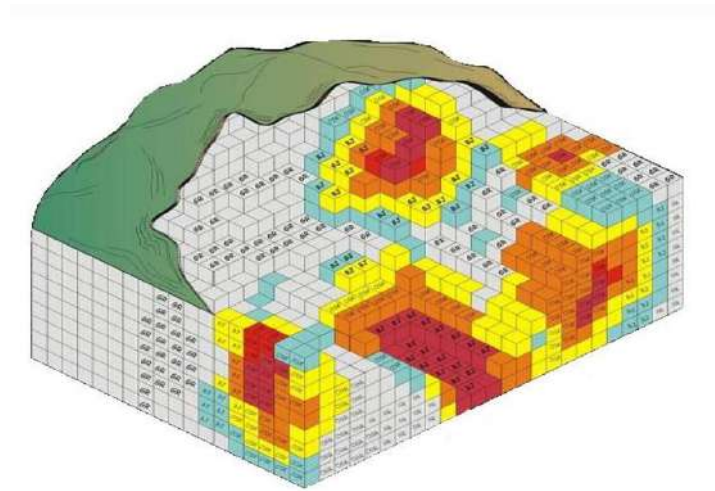


Figura 8 — Modelo de bloques a tajo abierto
Extraído de cursos geomín (Freites, 2019)

3.2.5.1 Modelo de Bloques

En las tesis de (Ruben Dario y Fernando Alonso) los modelos de bloques se utilizan generalmente en yacimientos metálicos de tipo masivo. el depósito se divide con paralelepípedos iguales en toda el

área, aunque existen variaciones dentro de esta modalidad, con bloques paralelepípedos con una o dos dimensiones variables que mantienen constante normalmente la tercera dimensión, que es la vertical y aunque no necesariamente, coincide con la altura de banco. El primer tipo de este modelo fue inicialmente utilizado a comienzos de los años 60 por Kennecott Koper Corporation en un depósito de pórfido cuprífero masivo la utilización de este tipo de modelo tiene algunas ventajas como son la mayor adaptación a los métodos de optimización automática de los límites finales del Pit.

3.2.5.2 El algoritmo de Lerchs – Grossman

Según (CASTILLO, 2009) Sin duda es el algoritmo más conocido y utilizado por las herramientas actuales es el algoritmo de grafos de Lerchs – Grossman (1965), su función objetivo busca maximizar el beneficio total de un Pit, basado en beneficio neto de cada bloque y su ubicación física en la mina, que no comprende el tonelaje de cada bloque. El beneficio neto de un bloque es la diferencia entre el valor total de extraer el bloque y el costo de extracción del material de la mina y el procedimiento del bloque en la planta. La ubicación física del bloque es importante porque los bloques bajo el nivel de la mina no pueden ser extraídos hasta que los bloques sobre estos sean removidos. El límite del pit final representa un límite estático de bloques que maximizan el valor no desconocido del mineral en el cuerpo mineralizado.

3.2.6 La geoestadística en el Planeamiento

Según (ELISSETCHE, 2010), la geoestadística se desarrolló originalmente para determinar la relación recursos/reservas de un yacimiento mineral. Se define como “la aplicación de la teoría de variables regionalizadas”, que consiste en un enfoque estadístico a la estimación que presenta algún grado de dependencia espacial entre la variable, en particular leyes de los depósitos minerales.



- **Histogramas**

Según (ELISSETCHE, 2010) se define que la distribución univariable o el histograma debe tener características similares que el histograma original desagrupado de los datos.

Seguidamente también (ELISSETCHE, 2010), define debe revisar la concordancia de las estadísticas principales como la media, mediana y varianza, además se debe reproducir la forma del histograma y mantener los rangos de valores extremos.

Para todas las realizaciones se espera que el promedio de las medias tienda a la media objetivo, al igual que la media de las varianzas tienda a la varianza objetivo.

- **Variogramas**

Según (ELISSETCHE, 2010), se define que se puede hacer una comparación entre el modelo teórico y los variogramas experimentales de las realizaciones.

3.2.7 Parámetros de un tajo

Según (Reyes, 2019) los componentes geométricos de un tajo minero permiten realizar el proceso de optimización y de diseño operativo del tajo, aspectos que son fundamentales a la hora de establecer un programa de producción y dar valor económico al negocio minero. Los componentes geométricos además de ser relevantes en términos económicos lo son también en términos de seguridad operativa, pues éstos están asociados a un criterio de aceptabilidad del diseño que permite conocer la estabilidad de los taludes del tajo.

- **Ángulo caro de banco:** Corresponde al ángulo que es formado entre el plano horizontal y la pared del banco.
- **Altura de banco:** Es la altura que típicamente debe adaptarse a las características del equipo de carguío que operará en mina.
- **Ancho de berma:** Es la distancia medida entre la pata del banco y la cresta del banco.
- **Ángulo inter-rampa:** ES el ángulo entre la pata del talud por donde pasa un segmento de rampa y el pie del banco inmediatamente superior.

- **Ángulo global de talud:** Es el ángulo medido entre la pata del banco más profundo del rajo y la cresta del banco que interseca la superficie topográfica original.
- **Altura de talud global:** Corresponde a la altura proyectada en el eje vertical entre la pata del banco más profundo del rajo y la cresta del banco que interseca a la superficie topográfica original.
- **Ancho de rampa:** Corresponde al ancho del segmento por donde circulan los equipos de transporte.

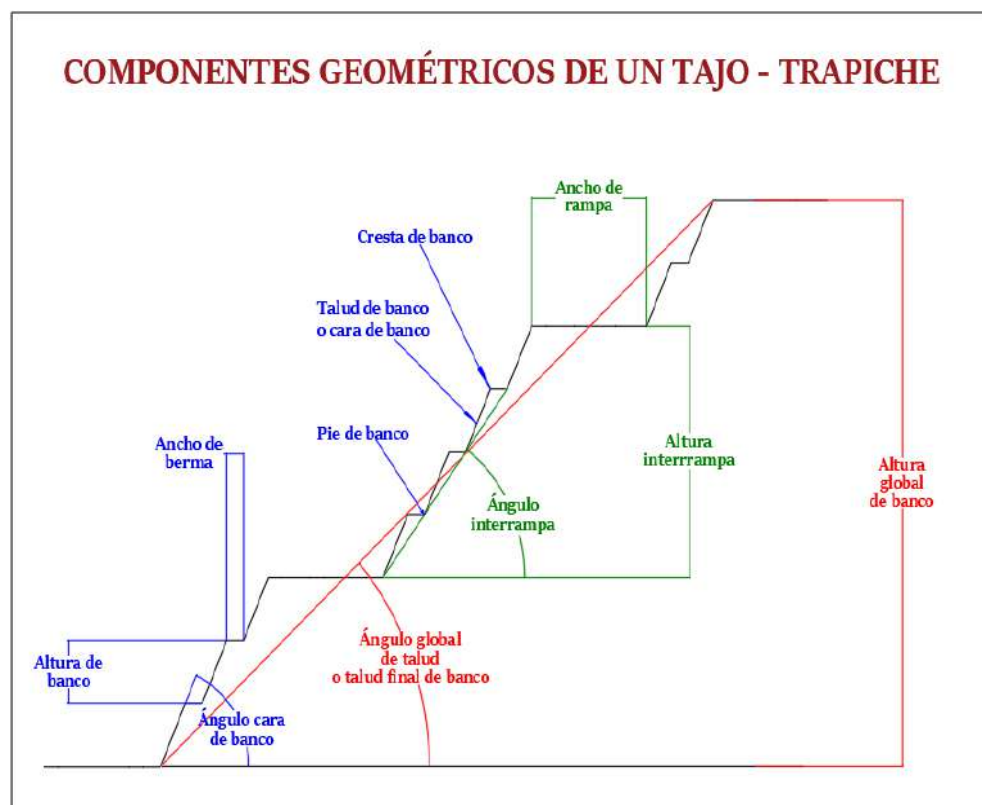


Figura 9 — Componentes geométricos de un tajo

3.3 Marco conceptual

3.3.1 Historia del proyecto Trapiche

Los trabajos de prospección geológica se iniciaron en 1996, prolongándose hasta el año 2000, consistentes en trabajos de prospección geoquímica (stream sediments), cartografiado y geoquímica de rocas, determinándose analogías de Cu y Mo que motivaron la continuidad de las exploraciones. En la campaña 2001 – 2002 se realiza una campaña de perforación diamantina con ejecución de 6 sondajes (2,192.95 m), los resultados fueron positivos conduciendo al



descubrimiento del pórfido Trapiche, con mineralización de sulfuros de Cobre y Molibdeno.

Se describe a continuación la secuencia de actividades realizadas desde el inicio de la prospección y exploración hasta la actualidad, es como sigue:

- **1996 – 1999:** Prospección geoquímica regional del stream sediment, y cartografiado geológico al 10K, realizado por CEDIMIN.
- **2000 – 2001:** Exploraciones superficiales, geoquímica de rocas y exploración diamantina con ejecución de 6 sondajes (2,192 m); los resultados condujeron al descubrimiento del pórfido Cu-Mo de Trapiche.
- **2002 – 2004:** Exploración geológica y geoquímica superficial de los sectores Millucucho y Aychu (extremos norte y sur de Trapiche).
- **2005 – 2007:** El proyecto pasa a cargo de CIA. DE MINAS BUENAVENTURA; en este periodo se reinicia las exploraciones en sectores Trapiche, Millucucho, con cartografiado detallado. Ejecución de 17,928 m de perforación diamantina, en 40 sondajes. Ejecución de prospección geofísica de 74 km de IP y 87 km de magnetometría, realizado por la empresa Cambior.
- **2008 – 2009:** Campaña de perforación diamantina, ejecución de 10,914 m, en 27 sondajes; investigaciones metalúrgicas de flotación y lixiviación, definición de recursos minerales a nivel inferido de \pm 490 millones de 0.48 % Cu.
- **2010 – 2011:** Negociaciones con la comunidad de Mollebamba, ejecución del convenio de servidumbre por 2,300 ha y por 30 años.
- **2011 – 2014:** Exploración avanzada con perforación diamantina agresiva, ejecución de 71,318 m de perforación, en 295 sondajes diamantinos, distribuidos en 228 sondajes exploratorios, 41 sondajes metalúrgicos, 18 sondajes hidrológicos, y 7 sondajes de esterilización. Adicionalmente se realizaron estudios y pruebas metalúrgicas en procesos de flotación y lixiviación. Dentro de este periodo también se realizaron también estudios especiales en la parte de procesos metalúrgicos, evaluación de recursos y trabajos preliminares de ingeniería básica.

- **2015 – 2016:** Se realizaron estudios de estimación de recursos del depósito Trapiche.
- **2017 – 2018:** Estudio conceptual de lixiviación de óxidos y sulfuros secundarios de todo el depósito.
- **2019 – 2023:** Reinicio de las actividades de perforación diamantina con programas de sondajes hidrogeológicos, geomecánicos, geometalúrgicos y geotécnicos; orientados a suministrar información para el estudio del EIA, mejorar el modelo geometalúrgico, confección del modelo geomecánico, geotécnico e hidrológico, y dar soporte al estudio de ingeniería básica y detallada para el estudio de pre-factibilidad y factibilidad del proyecto.
- **2019 – 2023:** Elaboración del estudio de impacto ambiental detallado (EIAd).
- **2024:** Admisibilidad y evaluación del EIAd.

3.3.2 Definición de términos

- a) Sondaje:** Son perforaciones que se realizan con diferentes diámetros y gran longitud que se efectúan para alcanzar zonas inaccesibles desde la superficie.
- b) Modelo geológico:** Se refiere a la identificación de los tipos de depósitos y/o composición de zonas litológicas factibles de encontrar en una región.
- c) Topografía:** Permite el procedimiento de medición y documentación de las características físicas de un emplazamiento minero.
- d) Composición de taladros:** Es un método para regularizar las leyes de los sondajes y resulta de la aplicación de la media ponderada de cierto tramo del sondaje.
- e) Estadística:** Es un método para determinar la obtención de resultados y el análisis de observaciones numéricas como en histogramas.
- f) Geoestadística:** Es un estudio de la estadística utilizada para analizar y predecir los resultados y/o valores a determinar con los variogramas.
- g) Modelo bloques:** Es la representación de un yacimiento en forma tridimensional mediante el cual el recurso es seccionado en cubos que representan a la mineralización, leyes de Cu, posición.



- h) Método Kriging:** Determina la inferencia espacial, el cual determina los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra.
- i) Algoritmo de Lerchs y Grossman:** El algoritmo genera un límite de tajo óptimo para un flujo de efectivo sin descontar, basado en un modelo de bloque económico de un cuerpo mineral y sus respectivos desechos circundantes. Como resultado entonces se obtiene una porción del modelo de bloques que garantiza el pit óptimo.
- j) Modelamiento de diseño de tajo:** En minería a cielo abierto consiste en crear un modelo 3D del tajo para planificar la extracción del mineral de manera eficiente, segura y rentable. Su objetivo es maximizar el valor económico del proyecto minimizando costos y riesgos.
- k) Ángulo de talud:** Es la inclinación promedio de las paredes de la mina, es crucial para garantizar la estabilidad a largo plazo del tajo, minimizando riesgos de deslizamientos, y optimizando la cantidad de material removido. Se determina considerando factores geotécnicos, económicos y normativos.
- l) Recurso:** Es la cantidad estimada de material de un yacimiento con potencial de ser extraído. Se clasifica en medido, indicado e inferido según su certeza. Para ser considerado reserva, debe ser rentable y técnicamente factible de extraer.
- m) Reserva:** Es la parte del recurso mineral que ha sido evaluada como económicamente rentable y técnicamente viable para extraer bajo las condiciones actuales de mercado y tecnología.
- n) Tajo:** Es una excavación a cielo abierto para extraer minerales, diseñada en etapas con bancos para acceder al mineral de manera segura y eficiente, considerando factores geotécnicos, económicos y ambientales.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación.

La investigación descrita en la tesis titulada "Aplicación del Software MineSight para el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023" se enmarca dentro de la categoría de investigación aplicada. En este caso, se utiliza el software MineSight para llevar a cabo el modelamiento del diseño del tajo Trapiche en una unidad minera específica. El objetivo principal es aplicar y evaluar el uso de esta herramienta tecnológica en el contexto minero real para mejorar el diseño del tajo y optimizar los procesos de extracción de recursos minerales.

4.2 Diseño de investigación.

El diseño de investigación correspondiente a esta tesis es un diseño de investigación experimental. En este caso, se aplica el software MineSight para realizar el modelamiento del diseño del tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac. Se manipulan variables y se recopila información específica para evaluar el impacto y los resultados de la aplicación del software en el diseño del tajo. Se busca obtener conclusiones y resultados con base en la comparación y análisis de los datos obtenidos antes y después de la aplicación del software, lo que permite realizar inferencias y tomar decisiones informadas sobre el diseño del tajo en la unidad minera.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población está conformada por los 302 sondajes de exploración del proyecto minero Trapiche realizadas en diferentes campañas de perforación, cada sondaje de perforación tiene un código. Esto permite la trazabilidad y el análisis de cada punto de perforación en el contexto del diseño del tajo Trapiche.



Tabla 4 — Resumen Histórico (2001 - 2014) Perforación Diamantina

Campañas de perforación DDH-Años	Sondajes exploración	
	Sondajes	Longitud (m)
2001 -2002	6	2192.95
2005	9	3788.95
2006	18	8493.3
2007	13	5646
2008-2009	27	10914.45
2011	3	465.6
2012	95	22125.35
2013	95	26937.8
2014	36	8328.9
TOTAL	302	88893.3

Extraído de: Área de Geología del Proyecto Minero Trapiche

4.3.2 Muestra

La muestra fue seleccionada de manera no probabilística, esto significa que se ha tomado del total de la población que fueron 302 sondajes, el total de los datos fue considerada como muestra de las siguientes tablas de Excel. que incluyen información crucial como:

- **Datos de collar:** ubicación y orientación de los puntos de perforación y profundidad en cada sondaje.
- **Survey:** levantamiento topográfico.
- **Assay:** Resultados de análisis químicos de las muestras perforadas.
- **Litologías:** Descripción geológica del subsuelo.

Estos datos se utilizaron para el diseño del tajo Trapiche dentro de la unidad Minera El Molle Verde SAC.

4.4 Procedimiento

Este proyecto de tesis contara con los siguientes procedimientos.

- a) **Revisión bibliográfica:** Realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el modelamiento del diseño de tajos mineros y el uso del software Minesight en aplicaciones similares.



- b) Definición de objetivos:** Establecer claramente los objetivos de la investigación, que podrían incluir es la eficiencia del software MineSight en el diseño del tajo Trapiche, optimizar la planificación minera y mejorar la extracción de recursos minerales.
- c) Recopilación de datos:** Obtener los datos necesarios para el modelamiento del diseño del tajo Trapiche, como datos topográficos, geológicos y de perforación existentes en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac.
- d) Diseño del estudio:** Definir la metodología de aplicación del software MineSight para el modelamiento del diseño del tajo Trapiche, incluyendo los parámetros a considerar, las restricciones operativas y los criterios de evaluación.
- e) Implementación del software:** Aplicar el software MineSight utilizando los datos recopilados y siguiendo el diseño del estudio previamente establecido.
- f) Análisis de resultados:** Evaluar los resultados obtenidos del modelamiento del diseño del tajo Trapiche utilizando el software MineSight. Comparar los resultados con los diseños anteriores y realizar análisis cuantitativos y cualitativos para determinar las mejoras logradas.
- g) Interpretación de resultados:** Interpretar los resultados del modelamiento y análisis para comprender su impacto en el diseño del tajo y su potencial para mejorar la eficiencia y eficacia de la operación minera.
- h) Conclusiones y recomendaciones:** Elaborar conclusiones basadas en los resultados obtenidos y proponer recomendaciones para la implementación efectiva del software MineSight en el diseño del tajo Trapiche y otras operaciones mineras similares.

4.5 Técnicas e instrumentos

4.5.1 Técnicas

- Levantamientos topográficos: Técnica utilizada para obtener datos precisos sobre la configuración del terreno en el área de estudio.
- Muestreo geológico: Técnica empleada para recolectar muestras de rocas y minerales con el fin de analizar su composición y características geológicas.



- **Análisis estadístico:** Técnica utilizada para analizar los datos recopilados y realizar comparaciones cuantitativas, incluyendo análisis de variabilidad espacial, pruebas de hipótesis y análisis de sensibilidad.
- **Evaluación económica:** Técnica utilizada para evaluar los diferentes diseños del tajo desde una perspectiva económica, analizando costos operativos, estimación de reservas minerales y rentabilidad económica.

4.5.2 Instrumentos

- **Software MineSight:** Herramienta principal utilizada para el modelamiento y diseño del tajo Trapiche, incluyendo la manipulación de datos geológicos y topográficos, la generación de modelos 3D y la simulación de escenarios de diseño.
- **Equipos topográficos:** Instrumentos utilizados para realizar levantamientos topográficos, como estaciones totales, receptores GNSS y nivelación.
- **Herramientas de visualización:** Instrumentos utilizados para presentar los resultados de manera visual y comprensible, como gráficos, diagramas y representaciones gráficas.
- **Software de análisis estadístico:** Programas informáticos utilizados para realizar análisis estadísticos de los datos recopilados y generar resultados cuantitativos.
- **Herramientas de evaluación económica:** Instrumentos utilizados para llevar a cabo la evaluación económica de los diferentes diseños del tajo, como hojas de cálculo y software especializado en análisis económico minero.

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Generación de las tablas de la base de datos

En el proyecto minero Trapiche se generará a base de información obtenida en las perforaciones diamantinas de 302 sondajes (Tabla 4), derivan de las muestras de testigos y resultados obtenidos por los laboratorios químicos que la empresa El Molle verde SAC hizo analizar. Los archivos que contienen la base de datos de sondajes son:

- **Collar:** En la siguiente tabla de Excel los 369 datos que contiene la información de las coordenadas de los collares, altitud y de la longitud total de los taladros. Obtenemos el máximo y mínimo de las coordenadas y la altitud, distancia de cada coordenada, el número de bloques y (XP, YP, ZP).

Tabla 5 — Información obtenida de los Taladros

HOLEID	X	Y	Z	TD
A-47	730001.432	8395806.87	4590.99	275
AA-27	729000.005	8397095.52	4120.072	287.1
AA-29	729099.947	8397101.24	4133.915	229.85
B-25	728899.452	8395847	4344.48	272.7
B-25A	728899.544	8395843.51	4344.741	204.25
B-27	729001.32	8395850.14	4371.099	110.75
B-33	729301.867	8395850.97	4443.761	218
B-33A	729299.54	8395852.55	4443.885	270.7
BB-23	728784.929	8397155.54	4051.469	165.45

Extraído de: Área de Geología del proyecto Trapiche

- **Survey:** En la siguiente tabla de Excel los 54,007 datos que contiene información de la inclinación y azimut de los taladros.



Tabla 6 — Inclinación y azimut de los taladros

HOLEID	FROM	TO	AZIMUTH	DIP
A-47	0	0	180	-50
A-47	0	110	180.2	-50.7
A-47	110	165	179.4	-51
A-47	165	220	180.3	-51.8
A-47	220	275	181.2	-51.7
AA-27	0	0	0	-52
AA-27	0	62	1.8	-52.6
AA-27	62	107	3	-52.6
AA-27	107	152	4	-52.4

Extraído de: Área de Geología del proyecto Trapiche

- **Assay:** En la siguiente tabla de Excel los 115,650 datos que contiene información de las leyes de Cu los elementos con los cuales se va a trabajar es el corazón del proyecto.

Tabla 7 — Leyes con las cuales se va a trabajar

HOLEID	FROM	TO	AI	CU
A-47	0	6	6	0.50
A-47	6	12	6	0.20
A-47	12	18	6	0.57
A-47	18	24	6	0.49
A-47	24	30	6	0.53
A-47	30	36	6	0.56
A-47	36	42	6	0.60
A-47	42	48	6	0.63
A-47	48	54	6	0.67

Extraído de: Área de Geología del proyecto Trapiche

- **Litología:** En la siguiente tabla de Excel los 11,765 datos que contiene información de las litologías del proyecto con las que se va a importar.

Tabla 8 — Indican las litologías del yacimiento

HOLEID	FROM	TO	ROCK	ROCKA
A-47	0	1.1	1	Cob
A-47	1.1	1.7	1	MetaM
A-47	1.7	2.9	1	SedClast
A-47	2.9	22.6	1	MetaM
A-47	22.6	30.35	1	MetaM
A-47	30.35	52	1	SedClast
A-47	52	62.8	1	MetaM

Extraído de: Área de Geología del proyecto Trapiche

5.1.2 Creación del Proyecto minero Trapiche

Para la creación del proyecto del modelamiento de diseño de tajo Trapiche se debe proceder a crear un listado de trabajo, donde se cargarán todos los datos y se guardarán la información creada por el software MineSight, las tablas ingresadas deben estar en un formato delimitado por comas (*.CSV).

Iniciamos el programa MineSight e ingresar los límites del proyecto Trapiche detallamos en (Figura 10).

	Minimum	Maximum	Cell Size	Extent
Easting:	727700.00	732080.00	20.00	4380.00
Northing:	8391285.00	8398395.00	15.00	7110.00
Elevation:	3960.00	4780.00	10.00	820.00

Units: Metric (m.)
 Imperial (ft.)

Initialize from existing project Initialize from existing PCFs

OK Cancel

Figura 10 — Límites del Proyecto Minero Trapiche

Creamos el archivo de control del proyecto (PCF), es el archivo matriz gobernante del MineSight en donde se inicia una sola vez es el archivo Tra10, para luego crear nuestro proyecto Trapiche en ms compass teniendo como base el PCF creado.



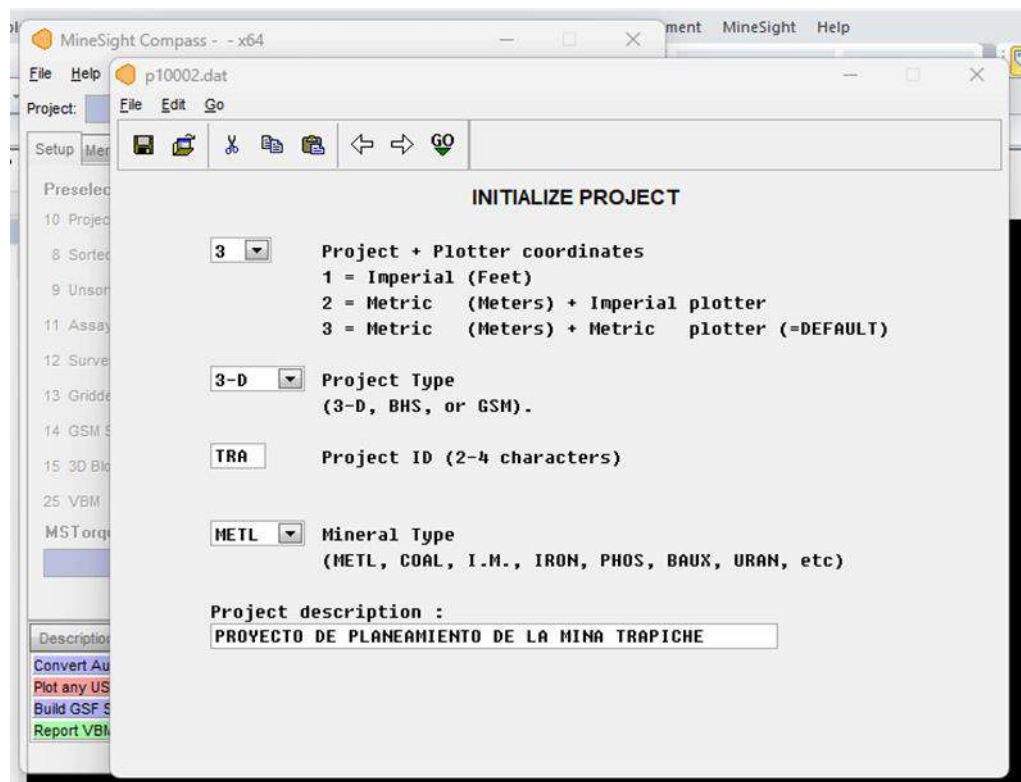


Figura 11 — Creación del PCF y parámetros

5.1.3 Creación de la estructura de base de datos para el software Minesight

La creación del archivo Tra12 conocido también como survey, este archivo contendrá la información de las coordenadas de los taladros contenida en la tabla collar, también del azimut y dip contenido en la tabla Survey, de la misma forma se creará el archivo Tra11 conocido también como archivo assay que contendrá la información la ley del Cu incluidas los rangos de entrada de la data, precisión y el tipo de data con el cual se va a trabajar ya sea numérico a alfanumérico para poder trabajar en el MineSight se tiene que configurar dichos archivos que son el Tra12 que es el survey y el archivo Tra11 que es el assay y se procede a configurar y alimentar los parámetros como se muestra en la Figura 12.

SPECIFY THE ITEMS FOR THE 3-D MODEL

Item	Minimum	Maximum	Precision	Item Description
1. TOPO	3500.	4780.	0.01	Block % below TOPOG
2. ZONE	0.	18.	1.	2nd model item
3. LITHO	0.	18.	1.	3rd " "
4. ORTYP	0.	1000.	1.	4th " "
5. TONE	0.	00000.	0.01	5th " "
6. CUIDW	0.	100.	0.001	6th " "
7. CUPLY	0.	100.	0.001	7th " "
8. CUKRG	0.	100.	0.001	8th " "
9. EQU	0.	50.	0.001	9th " "
10. DIST	0.	500.	1.	10th " "
11. NCOMP	0.	370.	1.	11th " "
12. CONF	0.	20.	1.	12th " "
13. NHOLE	0.	370.	1.	13th " "
14. UARY	0.	10.	0.01	14th " "
15.				15th " "

Figura 12 — Límites y precisión del archivo Assay o archivo Tra11

5.1.4 Conversión de la data a formato ASCII

Los formatos “CSV” deberán ser unificados y convertidos a un formato ASCII que es el formato que el software MineSight lo va a reconocer, este procedimiento es por “convert collar, survey, assay files” que están dentro del ms compas el cual crea un archivo denominado dat201.ia.

Description	Name	Operation
Convert Collar, Survey, Assay files	concsa.dat	Data Convert
Create Geologic Symbols or Discs	geosym.dat	Data Convert
Reformat L.A.S. files for input	lascnv.dat	Data Convert
Set Plan Map Area	p1plan.dat	User

Figura 13 — Procedimiento convert collar, survey, assay files

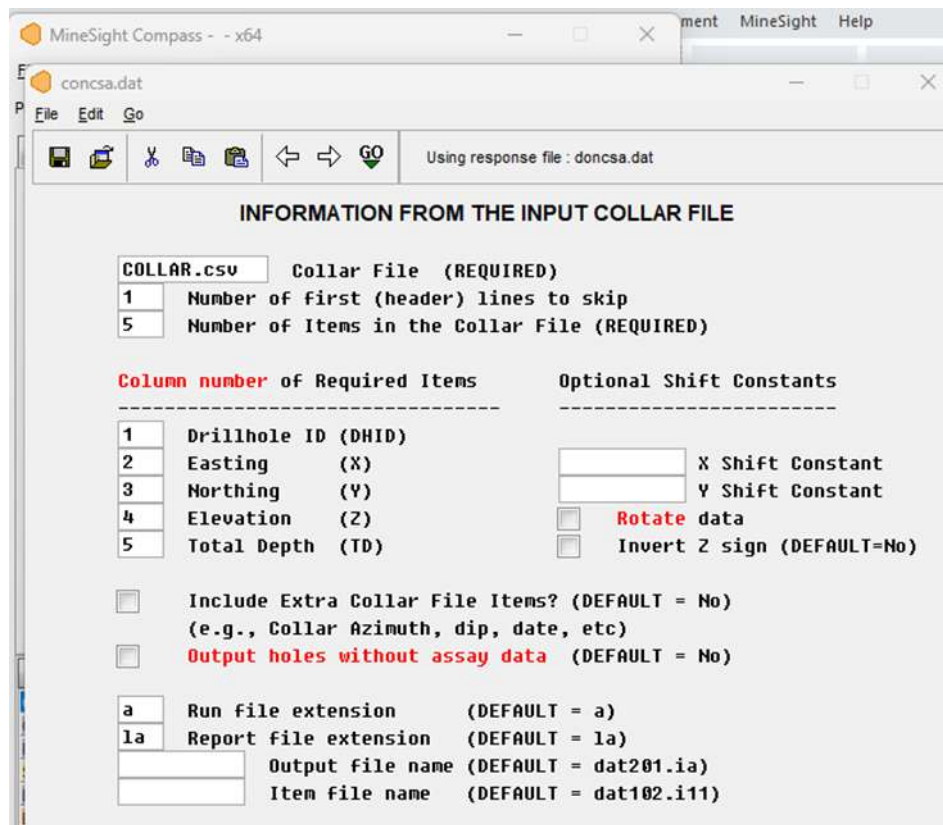


Figura 14 — Importación del collar

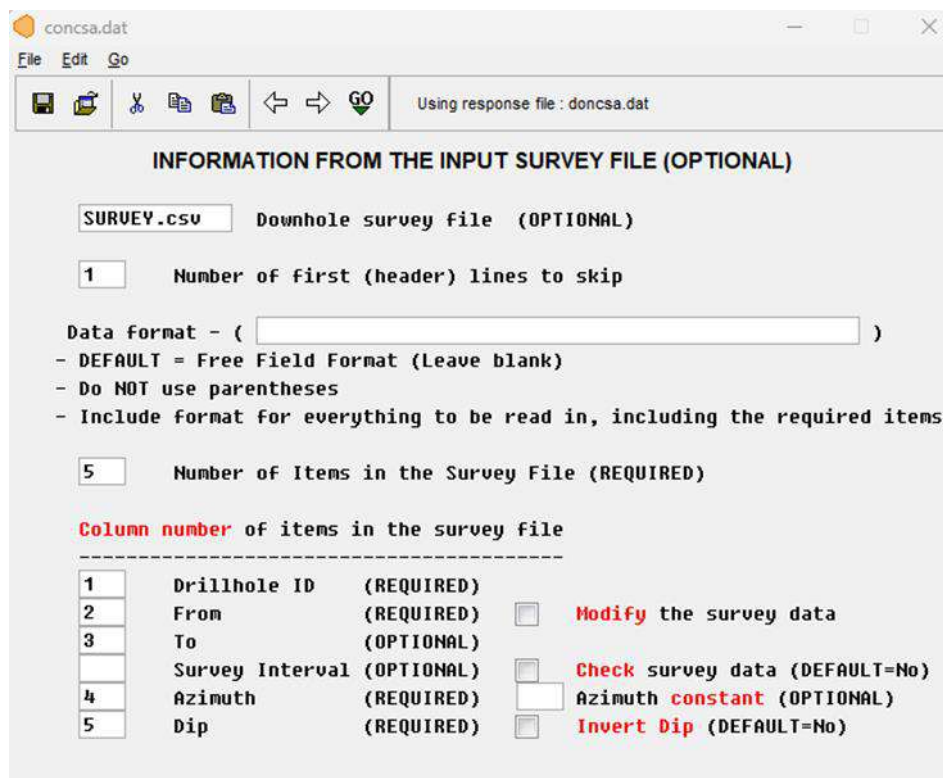


Figura 15 — Importación del Survey



concsa.dat

File Edit Go

Using response file : doncsa.dat

INFORMATION FROM THE INPUT ASSAY FILE

1 Assay Filename (REQUIRED)
2 Assay Filename (OPTIONAL)
3 Assay Filename (OPTIONAL)

Number of first (header) lines to skip
All Assay files must have the same header length

Number of Items in the Assay File (REQUIRED)
Include the 3 required items + all Optional Grade items

Column number of Required Items in the assay file

1 Drillhole ID (REQUIRED)
2 From (REQUIRED)
3 To (REQUIRED)
4 Assay Interval (OPTIONAL) - program will calculate an AI if it is not specified.

Output Warning Messages

Number of Decimal Places for From/To/AI output
(leave blank to use DEFAULT = 2)
NOTE: From/To/AI will be output in F8.xxx format.

Figura 16 — Importación del assay

concsa.dat

File Edit Go

Using response file : doncsa.dat

INFORMATION FROM THE INPUT GEOLOGY FILE(S) - (OPTIONAL)

Up to 4 **Geology files** can be used. Split Assays at geology.

Geology file -#lines to skip- **Column number** of Required Items

Geology file	#lines to skip-	Column number	of Required Items
LITO.csv	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	DHID (REQUIRED)
		<input type="text" value="2"/>	From (REQUIRED) * GEOLOGY FILE 1
		<input type="text" value="3"/>	To (OPTIONAL)

	<input type="text"/>	<input type="text"/>	DHID (REQUIRED)
		<input type="text"/>	From (REQUIRED) * GEOLOGY FILE 2
		<input type="text"/>	To (OPTIONAL)

	<input type="text"/>	<input type="text"/>	DHID (REQUIRED)
		<input type="text"/>	From (REQUIRED) * GEOLOGY FILE 3
		<input type="text"/>	To (OPTIONAL)

	<input type="text"/>	<input type="text"/>	DHID (REQUIRED)
		<input type="text"/>	From (REQUIRED) * GEOLOGY FILE 4
		<input type="text"/>	To (OPTIONAL)

Number of Items =

Figura 17 — Importación de la litología

5.1.5 Cargado de Taladros a la base del software Minesigth

Ya teniendo generado el archivo dat201.ai se procede a cargar este archivo a la base de datos del MineSight (Figura 18) lo cual se logró con apoyo del procedimiento Load ASCII DH Data.

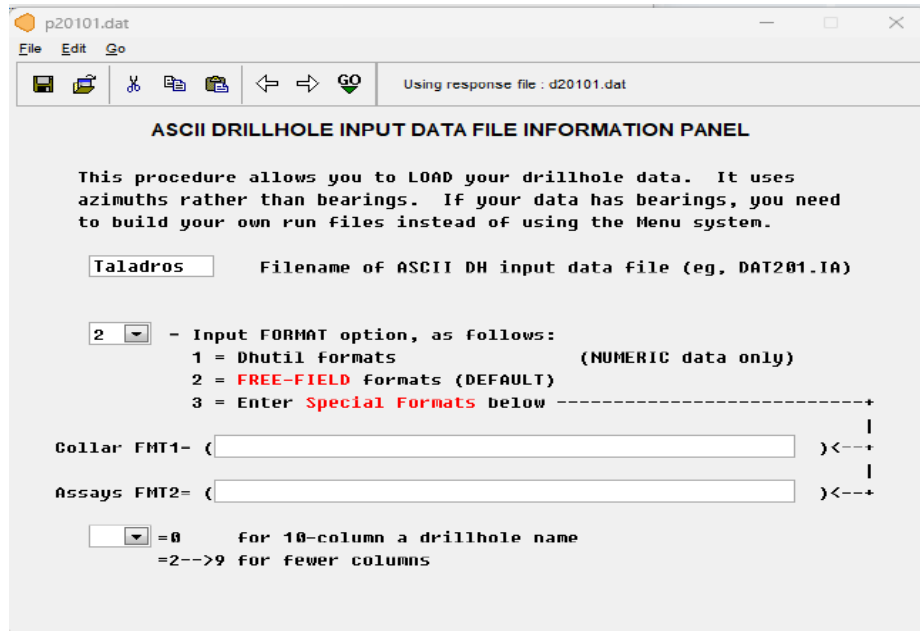


Figura 18 — Cargado del archivo dat201.ai.

5.1.6 Validación de data

Luego de cargar el archivo dat201.ai al MineSight muestra un mensaje de reporte de errores si hubiese, en nuestra validación de data nos muestra correcto es decir cero (0).

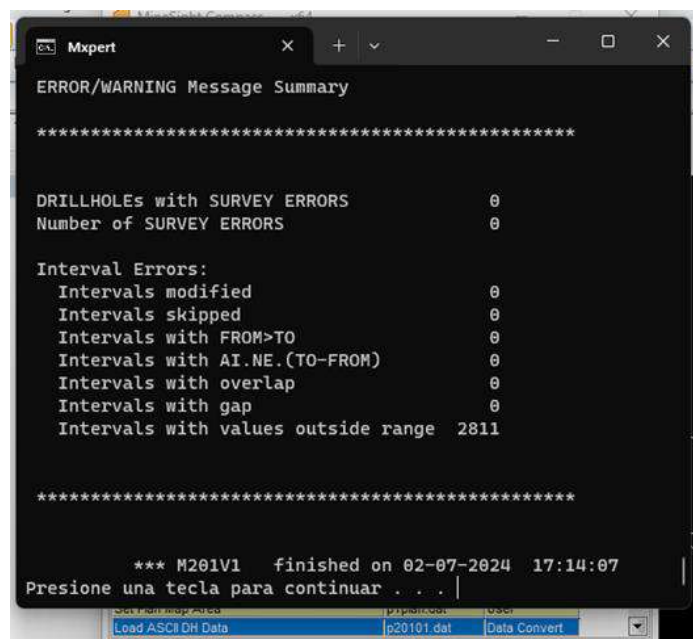


Figura 19 — Validación de la data

5.1.7 Importación de sondajes en el Visualizador

Después de la validación de errores se procede a visualizar los taladros en el visualizador del MineSight para analizar y ver la forma y utilizarlos el modelo geológico de Trapiche.

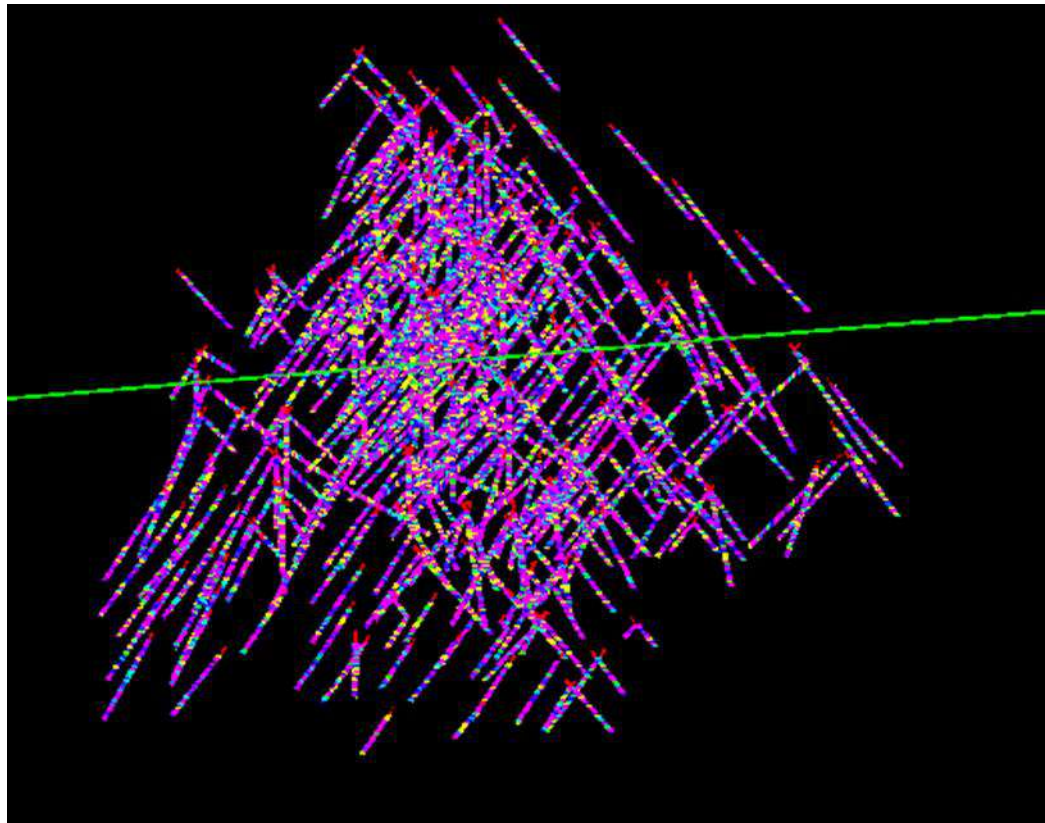


Figura 20 — Visualizador de los taladros del Proyecto Minero Trapiche

5.1.8 Modelamiento geológico de Trapiche

5.1.8.1 Importación del Modelo geológico

De acuerdo a los estudios realizados por la empresa El Molle Verde SAC, importamos con las de la información obtenida que se encuentra en formato DXF al software MineSight los modelos geológicos proporcionado por el área de Geología del proyecto Trapiche y poder visualizar y analizar la información de la data, podemos observar los modelos geológicos en la Figura 21.

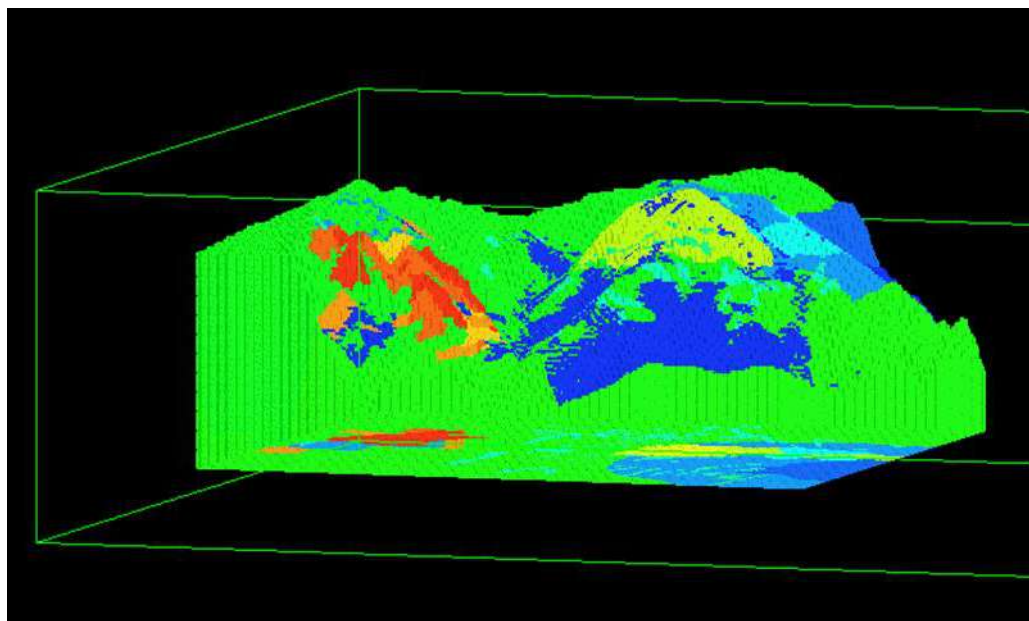


Figura 21 — El modelo geológico de Trapiche

Tabla 9 — Relación del modelo geológico de Trapiche

MODELO GEOLOGICO DE TRAPICHE	
Código	Nomenclatura
1 = Cob	COBERTURA
ROCAS INTRUSIVAS	
2 = Gnd	GRANODIORITA
3 = PQM	PÓRFIDO CUARZO MONZONITICO PRINCIPAL
4 = PQM-I	PÓRFIDO CUARZO MONZONITICO INTRAMINERAL
5 = PQD	PÓRFIDO CUARZO DACITA
6 = PGD	PÓRFIDO CUARZO MONZONITA GRANULAR
7 = Dac/And	DACITA/ANDECITA PORFERÍTICA (DIQUE)
8 = Dio-Porf	DIORITA PORFERÍTICA (DIQUE)
ROCAS SEDIMENTARIAS	
9 = Arn	ARENISCAS
10 = Lim	LIMOLITAS / LIMOLITAS CARBONOSAS
10A = LmCal	ARENISCAS Y LIMOLITAS CALCAREAS
11 = Ciz	CALIZA
ROCAS METASOMATICAS / METAMORFICAS	
15 = Sk	SKARN
16 = Hf	HORNFELS

BRECHAS	
12 = BxTur	Brecha - Qz -Turmalina
13 = Bx-cpmb	Brecha - Qz - Mineral
14 = Bx-mgt	Brecha - Qz - Magnetita
17 = Bx-Sk	Brecha Skarn Mineralizada, Heterolitica
18 = Bx-Sin Mtz	Brecha Heterolitica débil mineralización
19 = BxCr	Brecha - Craquel
ROCAS VOLCANICAS	
20 = V-Riod	RIODACITA (diques y domos)
21 = V-TI	TOBAS LITICAS
22 = V-TBx	TOBAS BRECHA

Extraído de: Área de Geología del Proyecto Trapiche

5.1.8.2 Creación del cuerpo mineralizado a partir de secciones

Se procede a crear el cuerpo mineralizado de Trapiche a partir de las secciones con ayuda de las herramientas de linkeo del MineSight.

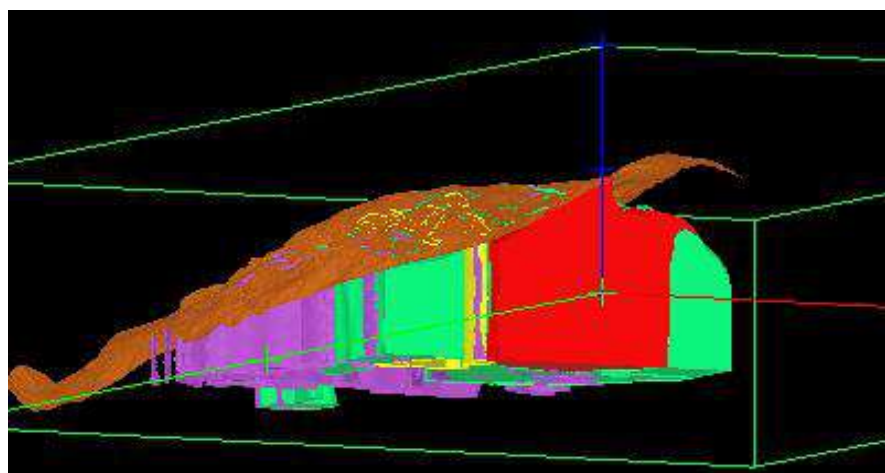


Figura 22 — Cuerpo mineralizado después de la importación del modelo geológico

5.1.8.3 Verificación del sólido

Después de crear el sólido del cuerpo mineralizado se procede a verificar y ver que este no presente errores como:

- Abertura del sólido.
- Caras duplicadas.

- Intersección de caras.

Una vez reparado los errores del sólido, este será válido y estará listo para realizar operaciones ya que este representará un modelo digital del cuerpo mineralizado.

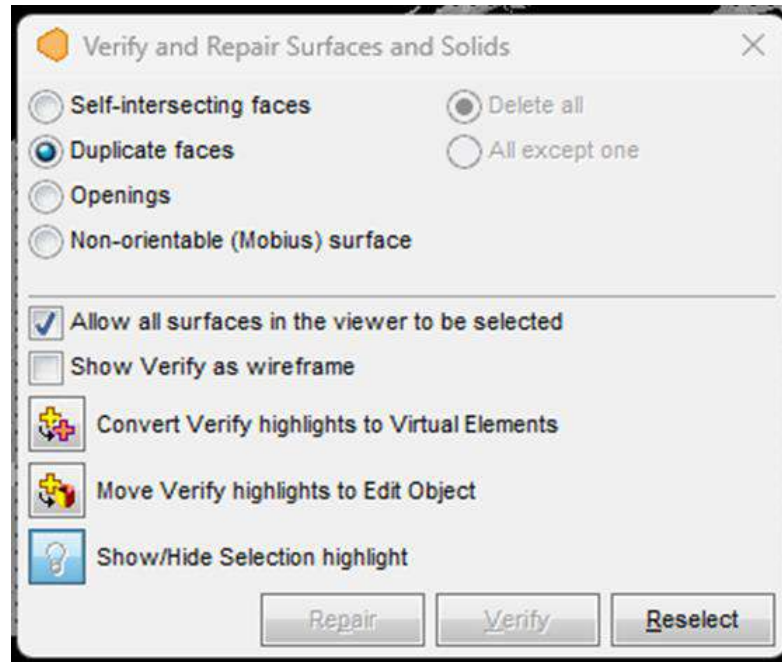


Figura 23 — Verificación de errores del sólido

5.1.9 Topografía del proyecto Trapiche e importación al MineSight

La topografía del proyecto Trapiche se realizó de la siguiente manera:

- **Planificar:** El objetivo es realizar el levantamiento topográfico del área del proyecto Trapiche.
- **Levantamiento:** Se procede a realizar el levantamiento topográfico con los instrumentos de estación total y GPS, drones del área designada.
- **Transferencia de datos:** Con todo el trabajo realizado se procede a exportar los datos a formatos compatibles como CSV y DXF.
- **Importación al software MineSight:** Se procede a importar la superficie del formato DXF proporcionada por el área de geología del proyecto trapiche para visualizar y ver el área de nuestro proyecto en el software MineSight.

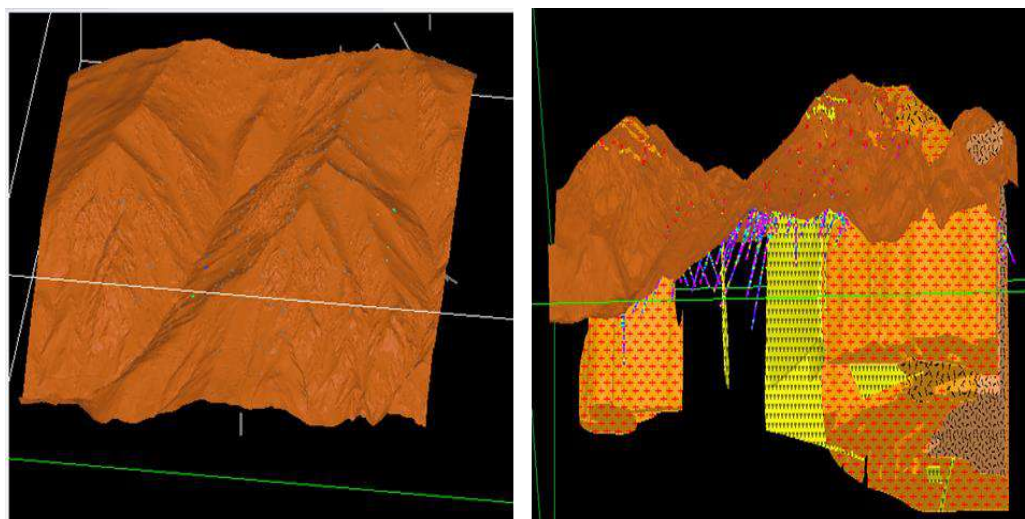


Figura 24 — Topografía de la superficie y el sólido en 3D
 Extraído de: Área de Geología del proyecto Trapiche.

5.1.10 Geomecánica del proyecto trapiche

La geomecánica desempeña un papel crucial en el diseño del tajo Trapiche, centrándose en la estabilidad de los taludes y en la seguridad operativa.

Este sistema RMR, se considera cinco parámetros de clasificación, la suma de estos parámetros permite el índice RMR, que para el caso de diseño del tajo Trapiche se recomienda. Los parámetros que intervienen en la clasificación del macizo rocoso fueron obtenidos de los ensayos realizados por el área de geomecánica del proyecto Trapiche.

Tabla 10 — Parámetros usados en el sistema de clasificación geomecánica RMR

Parámetros de Clasificación	Rango de valores
Resistencia a compresión simple	0 – 15
Designación de calidad de roca (RQD)	3 -20
Espaciamiento de discontinuidades	5 -30; 0 -25
Condiciones hidrogeológicas	0 -10

La clasificación del macizo rocoso de Trapiche se clasificará según RMR, con el fin de definir dominios geomecánicas con características o propiedades uniformes, en la estabilidad del tajo Trapiche siempre considerando los aspectos de estructura, geología, grado de fragturamiento, y propiedades de resistencia de roca intacta, discontinuidades.

Tabla 11 — Clasificación Geomecánica de macizo rocoso de Trapiche según sus índices de RMR

Indice RMR	Clase	Calidad del macizo rocoso
81 – 100	I	Roca muy buena
61 – 80	II	Roca Buena
41 – 60	III	Roca Regular
21 – 40	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

La zonificación del macizo rocoso fue dividida en los siguientes dominios geomecánicos: porfido cuarzo monzonítico (PQM), Pórfido cuarzo dacítico (PQD), Tufos volcánicos y Horfels (Hf), se presentan en resumen de los índices de calidad representativos de cada domio de yacimiento Trapiche

Tabla 12 — Clasificación Geomecánica de macizo rocoso de Trapiche

Dominio litológico	Yacimiento de Trapiche		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Pórfido cuarzo monzonítico (PQM)	16	63	50
Pórfido cuarzo dacítico (PQD)	22	55	46
Tufos volcánicos	35	70	54
Horfels (Hf)	24	74	56

- La decisión de establecer la altura de banco de 10 m se basó en factores geomecánicos y de seguridad en donde el macizo rocoso permitió seleccionar una altura de banco para una mejor estabilidad del talud y de los bancos.
- La determinación del ángulo final del talud de banco es de 45 grados basándose en propiedades del macizo rocoso considerado óptimo para las condiciones geomecánicas.

5.1.11 Composición de Taladros

Para ejecutar la composición se genera los ítems del archivo composito o también nombrado archivo Tra9 en donde se almacenará los datos compositados (Tabla 13).



Tabla 13 — Label, mínimo, máximo y precisión

#	Label	Minimo	Máximo	Precisión
1	REF#	0	1000	1
2	EAST	727700	732080	0.01
3	NORTH	8391285	8398395	0.01
4	ELEV.	3500	4780	0.01
5	TO	0	500	0.1
6	LNGTH	0	500	0.1
7	CU	0	6.5	0.01
8	ROCK	0	3	1
9	ROCKA	0	0	-1

Se utilizará el procedimiento de Bench Compositing del ms compass (Figura 25) para compositar la data.

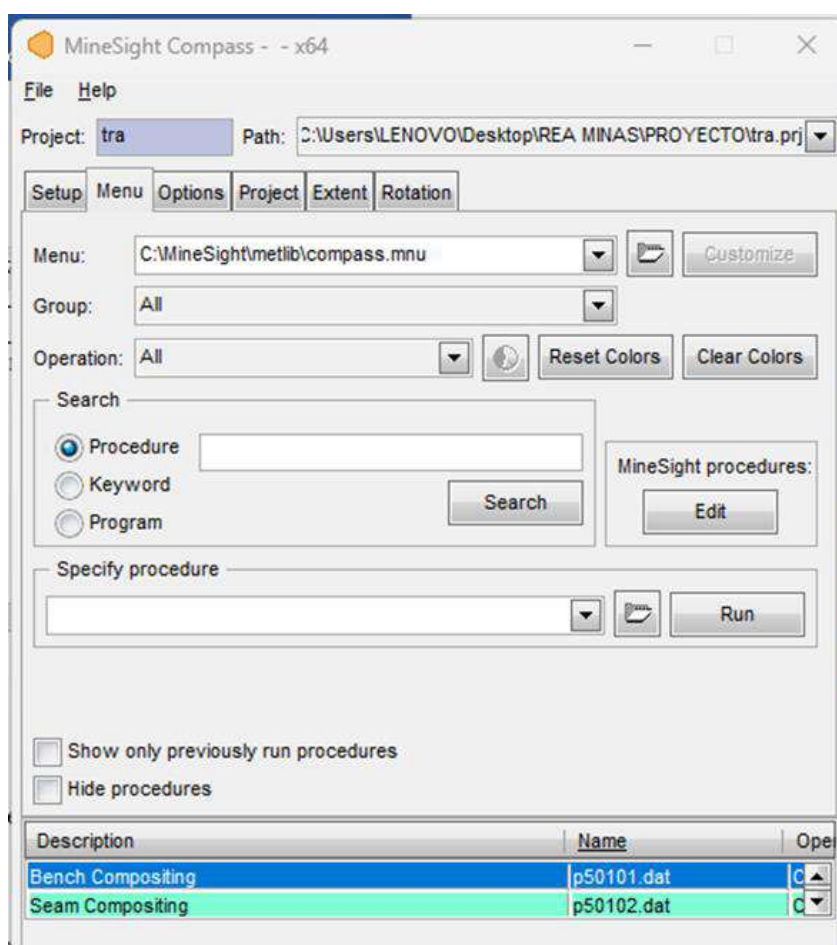


Figura 25 — Procedimiento Bench compositing

Se compositará a una altura de 10 metros que es la misma distancia de la altura de banco del proyecto Trapiche.

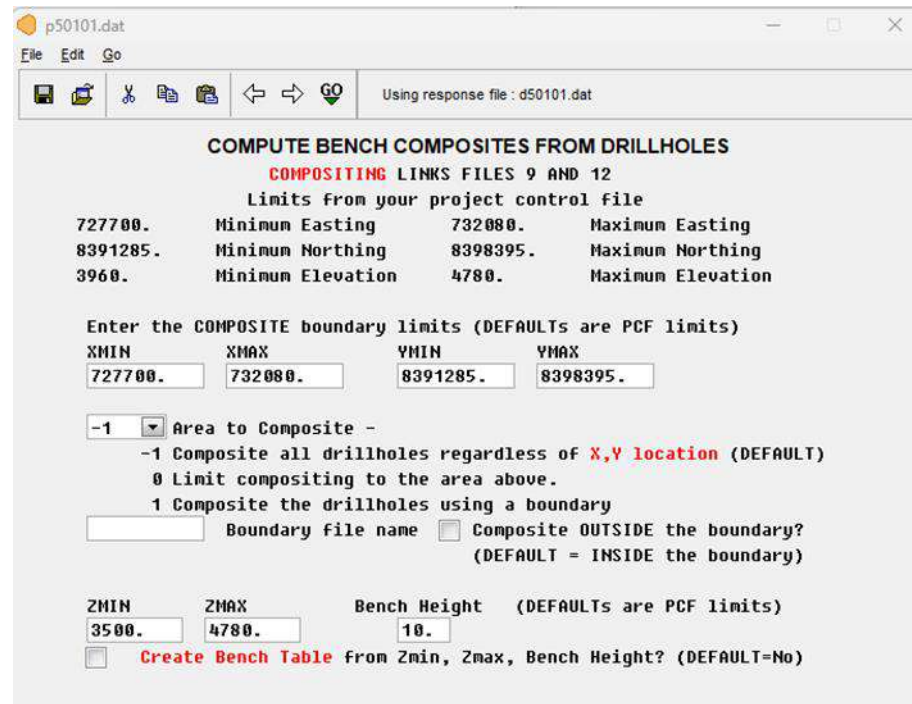


Figura 26 — Compositación a 10 metros

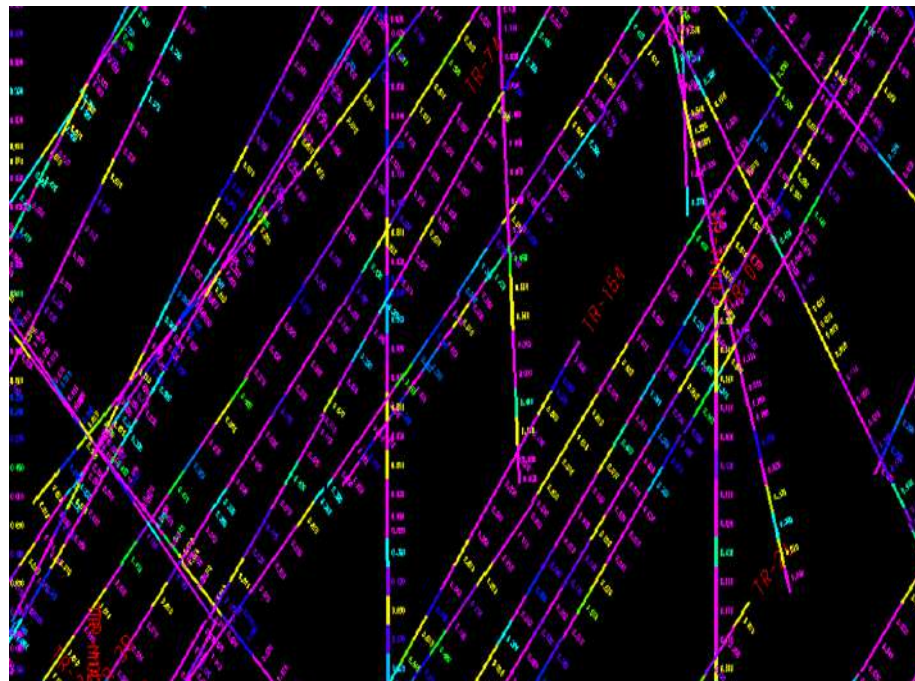


Figura 27 — Visualización de los sondajes compositados

```

** COMPOSITE DRILLHOLE DATA FROM TRA11.DAT TO TRA09.DAT **
HOLE#      UNIT#      EAST      NORTH      ELEV.      CU  ROCKA  LGTH  -TO-
A-47       1  730001.44  8395807.00  4590.00    0.20  B00.  1.0  1.3
A-47       2  730001.44  8395802.00  4580.00    0.27  B00.  10.0  14.3
A-47       3  730001.44  8395794.00  4570.00    0.01  B00.  10.0  27.3
A-47       4  730001.38  8395785.00  4560.00    0.04  B0  10.0  40.2
A-47       5  730001.38  8395777.00  4550.00    0.30  ^B01  10.0  53.2
A-47       6  730001.38  8395769.00  4540.00    0.05  @B9B  10.0  66.2
A-47       7  730001.38  8395761.00  4530.00    0.34  ^B01  10.0  79.2
A-47       8  730001.31  8395752.00  4520.00    0.02  ^B01  10.0  92.2
A-47       9  730001.31  8395744.00  4510.00    0.33  B00
10.0  105.2
A-47       10 730001.31  8395736.00  4500.00    0.18  B0$  10.0  118.2
A-47       11 730001.38  8395728.00  4490.00    0.14  ^F
* 10.0  131.0
A-47       12 730001.44  8395720.00  4480.00    0.02  B3N  10.0  143.8
A-47       13 730001.56  8395711.00  4470.00    0.57  Z0,  10.0  156.7
A-47       14 730001.62  8395703.00  4460.00    0.05  r0  10.0  169.6
A-47       15 730001.69  8395695.00  4450.00    0.21  @r0  10.0  182.2
A-47       16 730001.62  8395687.00  4440.00    0.15  B00%  10.0  195.0
A-47       17 730001.62  8395679.00  4430.00    0.28  B00.  10.0  207.7
A-47       18 730001.56  8395672.00  4420.00    0.23  BnB#  10.0  220.4
A-47       19 730001.44  8395663.00  4410.00    0.12  @r0  10.0  233.2
A-47       20 730001.25  8395656.00  4400.00    0.42  @r0  10.0  245.9
A-47       21 730001.12  8395648.00  4390.00    0.04  @r0  10.0  258.6
A-47       22 730000.94  8395640.00  4380.00    0.13  @r0  10.0  271.4
A-47       23 730000.81  8395635.00  4377.17    0.01  r0  2.8  275.0
    
```

Figura 28 — Resultado los sondajes Compositados a cada 10 m

5.2 Modelo de Bloques del proyecto Trapiche

5.2.1 Parámetros del modelo de bloques para el proyecto minero Trapiche

Es un punto crucial la construcción del modelo de bloques, para ejecución de un diseño óptimo de Trapiche, a partir de este modelo se proyectará de qué forma va a ser extraída el cuerpo mineral y permitirá realizar un mejor planeamiento al tener información con anterioridad la ejecución del determinado proyecto.

La ejecución del modelo de bloques del proyecto Trapiche se usará las dimensiones del bloque de 20 m x 15 m x 10 m. como se muestra en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14 — Parámetros para el modelo del proyecto Trapiche

LÍMITES	ESTE	NORTE	COTA
MÁXIMO	732080	8398395	4780
MÍNIMO	727700	8391285	3960
DISTANCIA	4380	7110	820
TAMAÑO BLOQUES	20	15	10
Nº BLOQUES	219	474	82



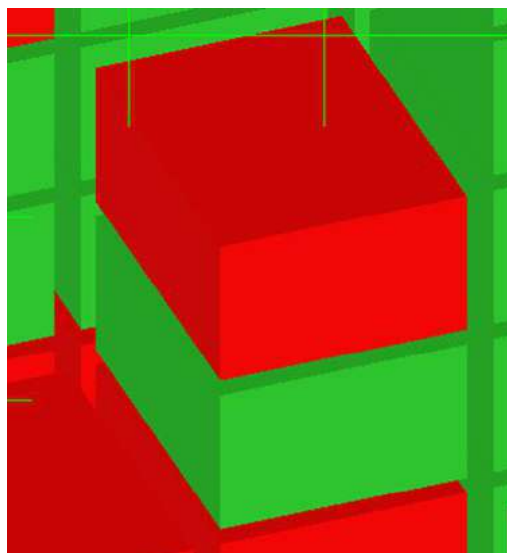


Figura 29 — Visualización del bloque de acuerdo al tamaño de 20m x 15 m x 10m

5.2.2 Creación del archivo 3d Block Model o Archivo Tra15

Para la creación del modelo de bloques del Proyecto Trapiche se procede a inicializar el archivo Tra15 del ms compass denominado 3d Block Model en donde se colocarán el nombre de todos los ítems que contendrán este modelo de bloques, así como sus valores mínimos, máximos que puede contener y su precisión, para posteriormente generar sus valores y visualizarlos en el ms3d en donde se visualizara un total de 8'512,092 bloques.

Item	Minimum	Maximum	Precision	Item Description
1. TOPO	500.0	4780.	0.01	Block % below TOPOG
2. ZONE	0.	18.	1.	2nd model item
3. LITHO	0.	18.	1.	3rd " "
4. ORTYP	0.	1000.	1.	4th " "
5. TONE	0.	00000.	0.01	5th " "
6. CUIDW	0.	100.	0.001	6th " "
7. CUPLY	0.	100.	0.001	7th " "
8. CUKRG	0.	100.	0.001	8th " "
9. EQU	0.	50.	0.001	9th " "
10. DIST	0.	500.	1.	10th " "
11. NCOMP	0.	370.	1.	11th " "
12. CONF	0.	20.	1.	12th " "
13. NHOLE	0.	370.	1.	13th " "
14. UARY	0.	10.	0.01	14th " "
15. FASE1	0.	10000.	0.1	15th " "

Figura 30 — Ítems del modelo de bloques

Posteriormente se procederá a codificar el modelo geológico creado anteriormente dándole un material cuyo valores de 1,2,3,418 y proceder a interceptarlo con el modelo de bloques para que este herede este valor solo en la parte que se intercepte dicho sólido como se muestra en la figura 31.

3D Geometry Set Editor

Object	Name	Elements	Material	Code	Override Code
3 LITOLOGIA1_COB_-_1_COB	-	Surfaces (1)	COB	1	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA2_GND_-_2_GND	-	Surfaces (1)	GND	2	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA10_LIM_-_10_LIM	-	Surfaces (1)	LIM	10	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA13_BX_CMP_-_13_BX_CMP	-	Surfaces (1)	BX	13	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA14_BX_MGT_-_14_BX_MGT	-	Surfaces (1)	BX-MGT	14	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA15_SK_-_15_SK	-	Surfaces (1)	SK	15	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA16_HF_-_16_HF	-	Surfaces (1)	HF	16	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA17_BX-SK_-_17_BX-SK	-	Surfaces (1)	BX-SK	17	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA18_BX-SINMTZ_-_18_BX-SINMTZ	-	Surfaces (1)	BX-SINMTZ	18	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA3_PQM_-_3_PQM	-	Surfaces (1)	PQM	3	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA5_PQD_-_5_PQD	-	Surfaces (1)	PQD	5	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA6_PGD_-_6_PGD_4	-	Surfaces (1)	PGD	6	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA7_DAC-AND_-_7_DAC-AND	-	Surfaces (1)	DAC	7	<input type="checkbox"/>
3 LITOLOGIA9_ARN_-_9_ARN	-	Surfaces (1)	ARN	9	<input type="checkbox"/>

Figura 31 — Codificación de los sólidos

Obteniendo un modelo de bloques de 8'512,092 bloques para mineral muestra en la Figura 32.

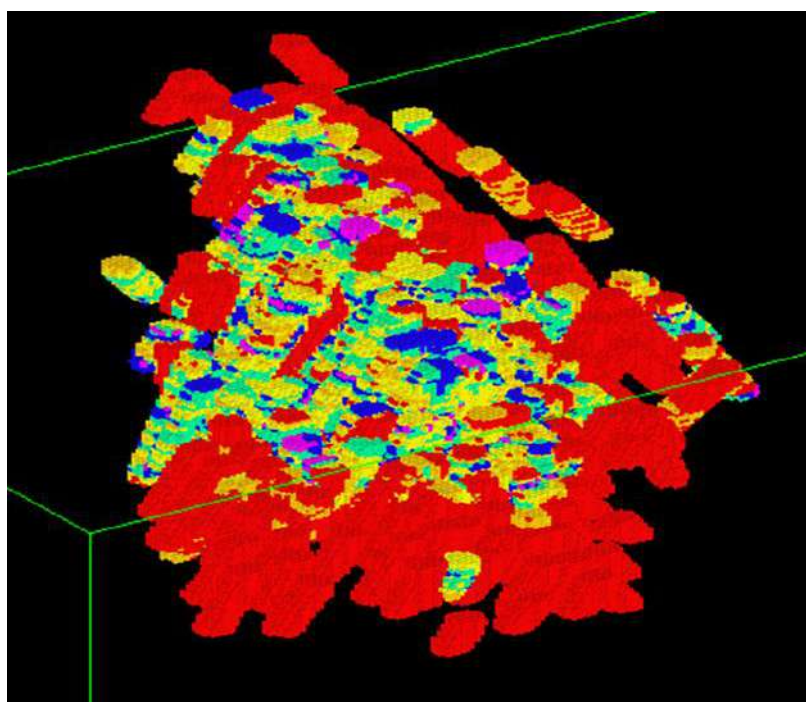


Figura 32 — Modelo de bloques de Trapiche

5.2.3 Evaluación Estadística de la data

5.2.3.1 Histogramas

Con la información obtenida de la composición se inicia la realización de operaciones estadísticas, como la creación de histogramas, que es una herramienta para determinar o identificar los valores atípicos (“outliers”) como los altos errores y posteriormente darles un reacomodo matemático y poder regresarlos la muestra porque estos valores deben ser considerados y no podrán ser eliminados de la muestra de lo contrario estaríamos perdiendo información por que estos valores podrían reflejar el comportamiento verdadero de la variable regionalizada y eliminarlo impediría predecir la ocurrencia de tales valores en las zonas no muestreadas. Se usará el Ms Compass (MSDA) para graficar el Histograma de distribución de Cu, para obtener parámetros estadísticos como varianza, la desviación estándar (para encontrar el acotamiento por altos erráticos), el valor máximo y mínimo, el coeficiente de variación, datos que serán mostrados también, primero nos dará un reporte de los resultados obtenidos para cada rango de ley como se muestra en la (Figura 33) para el Cu.

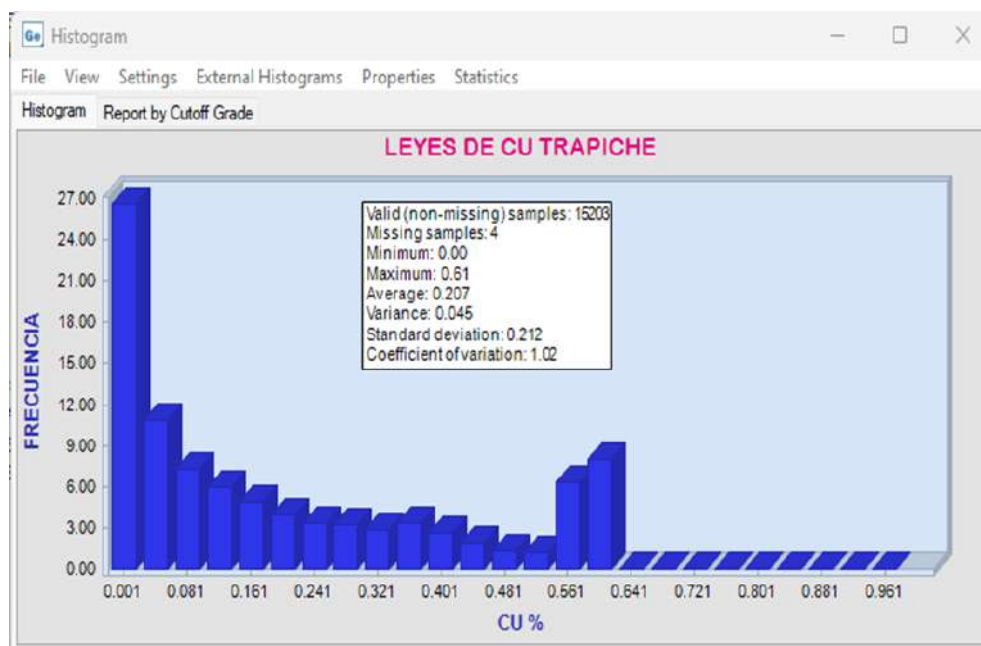


Figura 33 — Histograma Normal para leyes de Cobre

Ge Histogram

File View Settings External Histograms Properties Statistics

Histogram Report by Cutoff Grade

Cutoff (CU)	Item	Count	Percent	Average	Standard Deviation
0.00	CU	7009.00	99.32	0.209	0.144
0.04	CU	6154.00	87.20	0.235	0.135
0.08	CU	5314.00	75.30	0.262	0.126
0.12	CU	4532.00	64.22	0.289	0.117
0.16	CU	3845.00	54.48	0.314	0.108
0.20	CU	3211.00	45.50	0.340	0.101
0.24	CU	2628.00	37.24	0.365	0.093
0.28	CU	2070.00	29.33	0.392	0.087
0.32	CU	1526.00	21.62	0.423	0.081
0.36	CU	1070.00	15.16	0.457	0.074
0.40	CU	720.00	10.20	0.493	0.064
0.44	CU	515.00	7.30	0.521	0.054
0.48	CU	337.00	4.78	0.552	0.041
0.52	CU	232.00	3.29	0.574	0.028
0.56	CU	135.00	1.91	0.595	0.014
0.60	CU	43.00	0.61	0.610	0.000
0.64	CU	0.00	0.00	0.000	0.000

Figura 34 — Reporte de resultados para leyes del Cobre

5.2.4 Evaluación Geoestadística de la data

5.2.4.1 Creación de variogramas

Primero, creamos el variograma unidireccional para ver el comportamiento del mineral y con los resultados obtenidos en los Histogramas se procede a crear los variogramas para lo cual se considera un lag distance de 50 m, tolerancia de lag distance de 25 m, número de lags 24 y para las direcciones se usó un incremento (step size) de 30° con tolerancia (window) de 90° y numero de saltos (azimuths) de 1 por ser unidireccional, parámetros que serán ingresados al software MineSight para la creación de los variogramas.

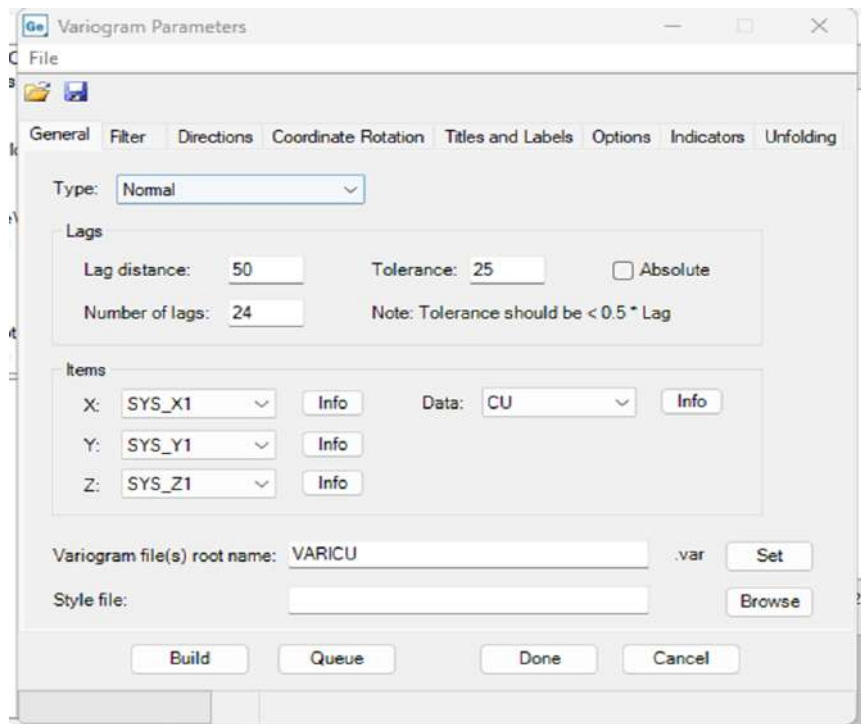


Figura 35 — Parámetros usados para la creación del variograma unidireccional en el Minesight

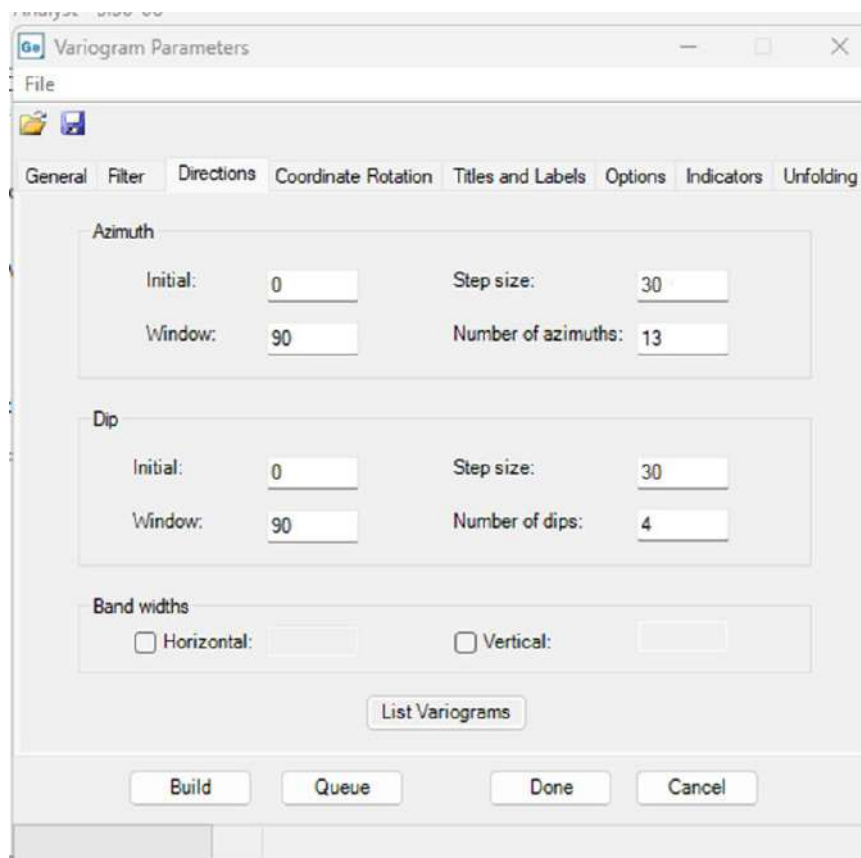


Figura 36 — Parámetros usados para la creación de variograma unidireccional en el Minesight.

Obtenidos una varianza de 0.01296 y un alcance máximo (Range) de 352.2.

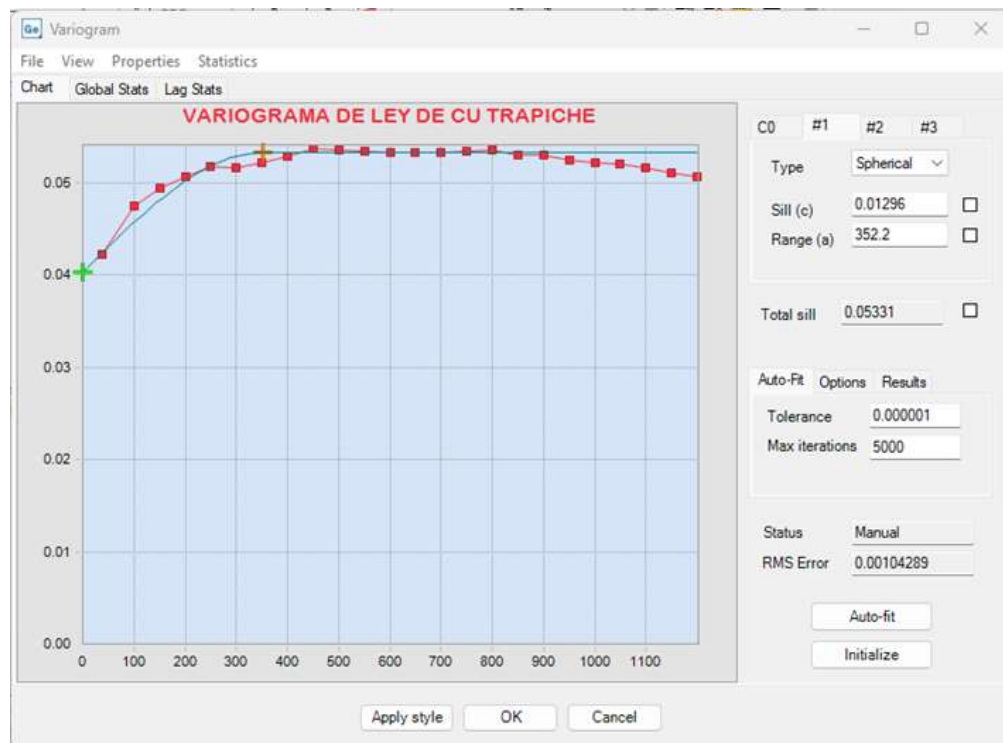


Figura 37 — Variograma unidireccional

Segundo se genera una serie de variogramas experimentales en todas las direcciones del espacio, de tal forma se considera un lag distance de 50 m, tolerancia de lag distance de 25 m, número de lags 24 y para las direcciones se usó un incremento de step size de 30° con tolerancia (window) de 30° y número de saltos (azimuths) de 13 para todas las direcciones, parámetros que serán ingresados al software MineSight para la creación de los variogramas. (Figura N° 38 y Figura N° 39).

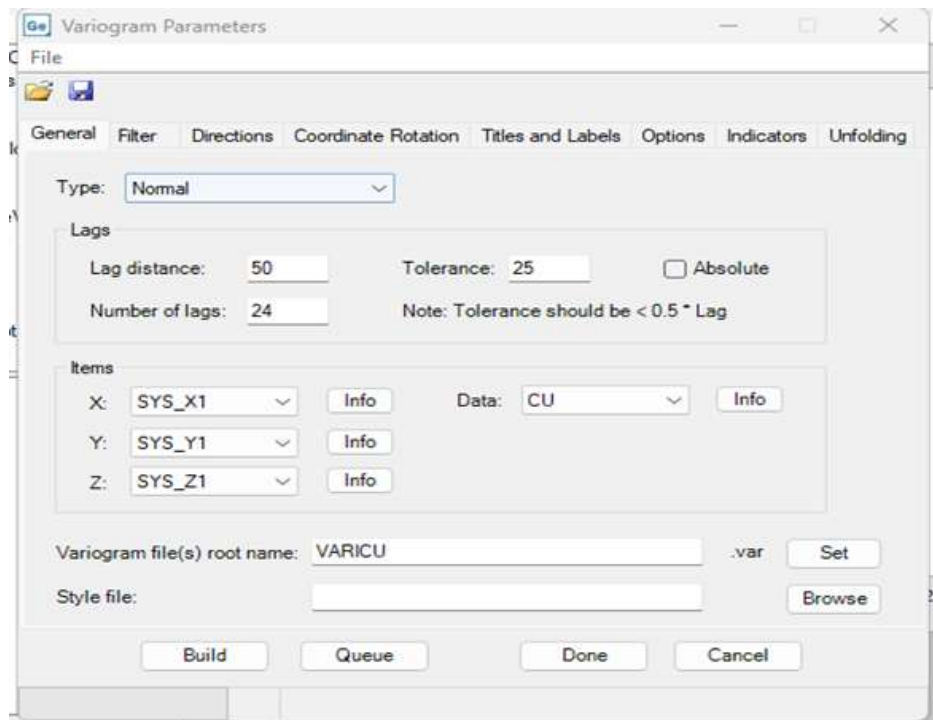


Figura 38 — Parámetros usados para la creación de los variogramas en el MineSight

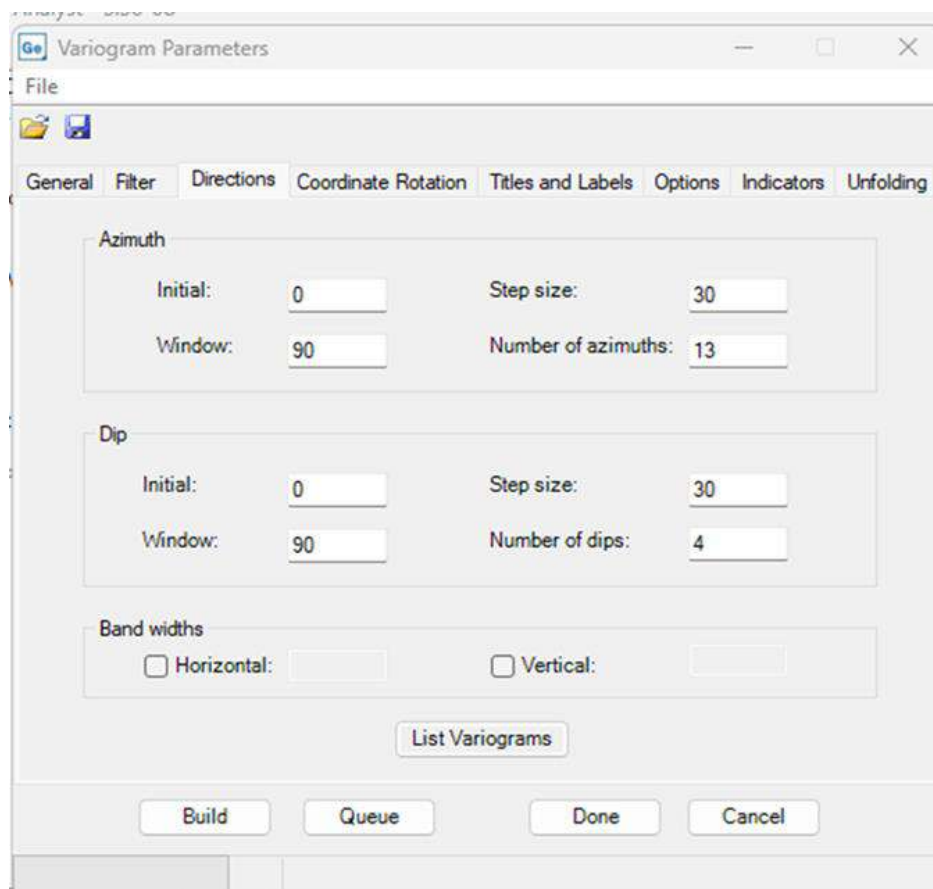


Figura 39 — Parámetros usados para la creación de variograma en el MineSight.

Se generará un total de 54 semivariogramas como resultado de combinación de los diferentes ángulos (horizontales y verticales) como se observa en la (Figura 40).

Ge Current Variogram List

File

Root Name	Azimuth (PCS)	Dip (PCS)	Azimuth (RCS)	Dip (RCS)
VARICU_0_0_var	0.0	0.0	0.0	0.0
VARICU_0_30_var	0.0	30.0	0.0	30.0
VARICU_0_60_var	0.0	60.0	0.0	60.0
VARICU_0_90_var	0.0	90.0	0.0	90.0
VARICU_120_0_var	120.0	0.0	120.0	0.0
VARICU_120_30_var	120.0	30.0	120.0	30.0
VARICU_120_60_var	120.0	60.0	120.0	60.0
VARICU_120_90_var	120.0	90.0	120.0	90.0
VARICU_150_0_var	150.0	0.0	150.0	0.0
VARICU_150_30_var	150.0	30.0	150.0	30.0
VARICU_150_60_var	150.0	60.0	150.0	60.0
VARICU_150_90_var	150.0	90.0	150.0	90.0
VARICU_180_0_var	180.0	0.0	180.0	0.0
VARICU_180_30_var	180.0	30.0	180.0	30.0
VARICU_180_60_var	180.0	60.0	180.0	60.0
VARICU_180_90_var	180.0	90.0	180.0	90.0
VARICU_210_0_var	210.0	0.0	210.0	0.0
VARICU_210_30_var	210.0	30.0	210.0	30.0
VARICU_210_60_var	210.0	60.0	210.0	60.0
VARICU_210_90_var	210.0	90.0	210.0	90.0
VARICU_240_0_var	240.0	0.0	240.0	0.0
VARICU_240_30_var	240.0	30.0	240.0	30.0
VARICU_240_60_var	240.0	60.0	240.0	60.0
VARICU_240_90_var	240.0	90.0	240.0	90.0
VARICU_270_0_var	270.0	0.0	270.0	0.0
VARICU_270_30_var	270.0	30.0	270.0	30.0
VARICU_270_60_var	270.0	60.0	270.0	60.0
VARICU_270_90_var	270.0	90.0	270.0	90.0

Figura 40 — Lista total de los variogramas

Luego del variograma unidireccional de varianza de 0.01296 y de un alcance máximo (Range) de 352.2, se procede a seleccionar de los 54 variogramas, el variograma con mayor alcance, pero con la varianza de 0.01296, para luego seleccionar los variogramas perpendiculares.

Se realiza el elipsoide con los variogramas seleccionados para luego visualizar los detalles del elipsoide (alcance y direcciones) en el variograma 3D Manager.



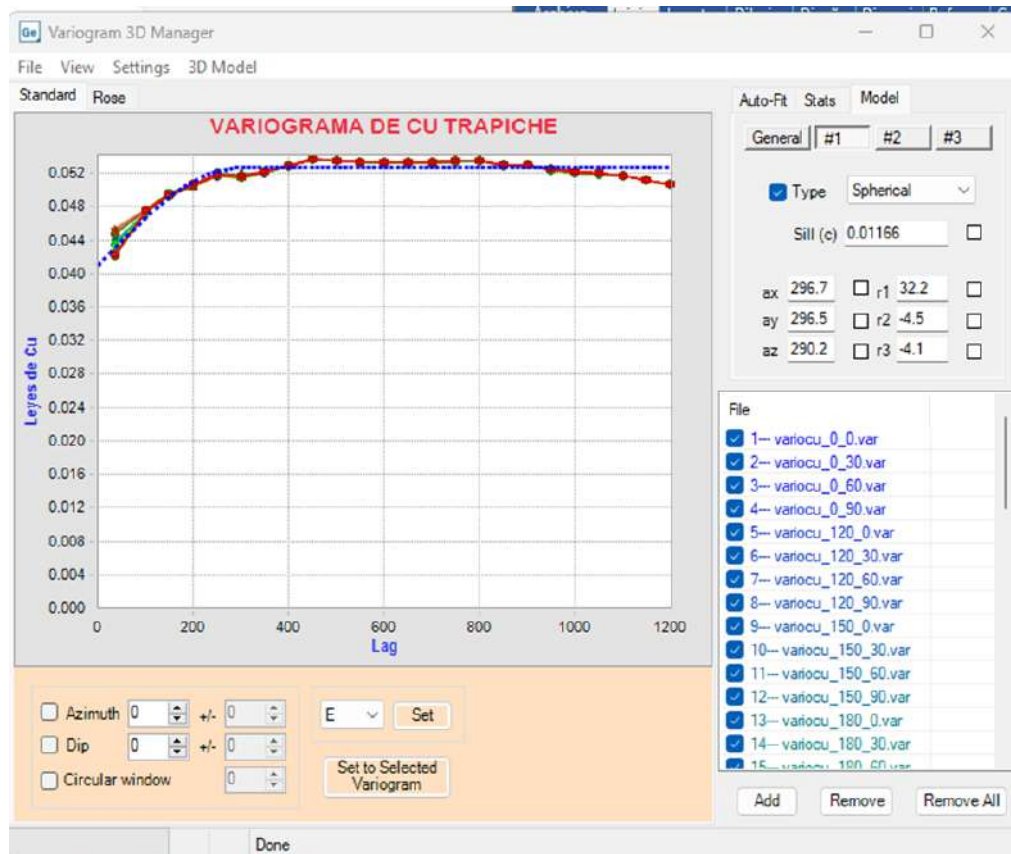


Figura 41 — Variograma 3D Manager

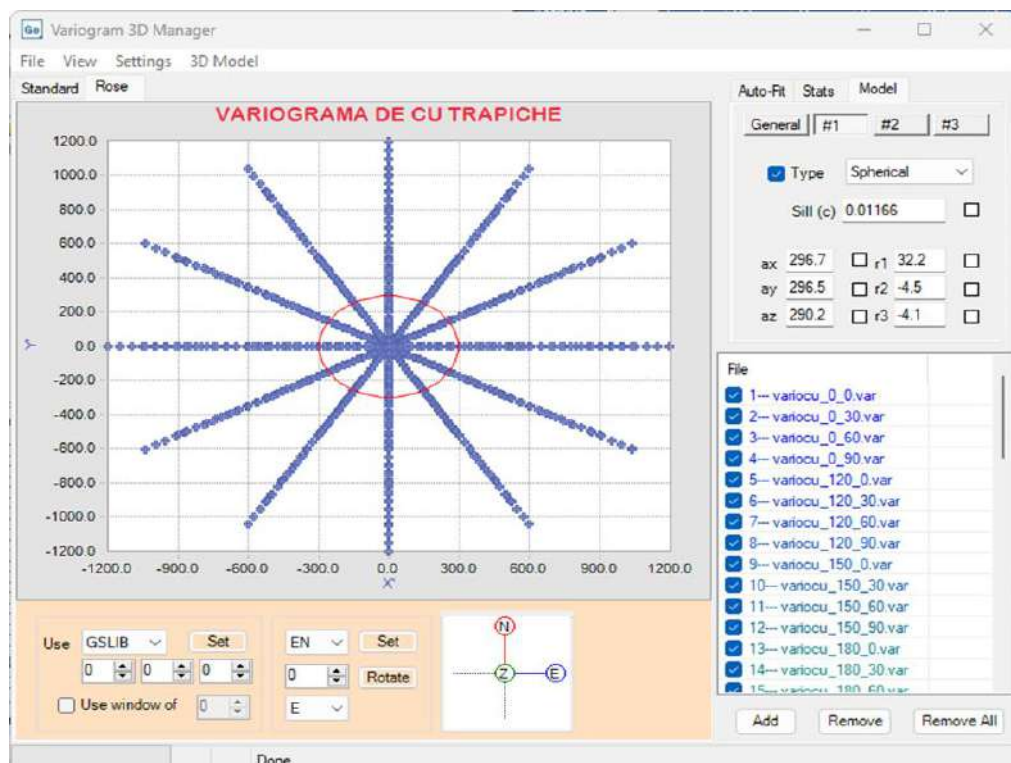


Figura 42 — Elipsoide en Minesight

5.3 Estimación de recursos y reservas

5.3.1 Estimación de recursos

Como es sabido en Trapiche el macizo rocoso mineralizado es un cuerpo geométrico irregular, el cual varía sus leyes de un punto a otro. El primer paso en la estimación de recursos es realizar una subdivisión del cuerpo.

Para realizar esta asignación de estimación de Trapiche existen dos metodologías, el Método Tradicional y el Método Geoestadístico.

5.3.2 Método de Kriging

Este método en términos mineros, el krigeado consiste en encontrar la mejor estimación lineal de un bloque o zona V considerando la información disponible de Trapiche.

El interés del krigeado, proviene, no del hecho que asegura la mejor precisión posible, sino más bien porque permite evitar un error sistemático.

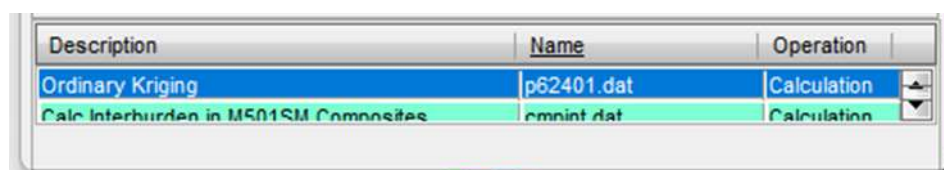
5.3.3 Definición de los bloques de evaluación

La forma y el tamaño de bloques de Trapiche que se va a llevar a cabo en el proceso de evaluación, en gran medida se aleja del proceso evaluador en sí, pues son otros factores, principalmente de carácter minero (tipo de explotación, producción anual, etc.) los que van a definir qué medidas deben tener los bloques.

El proyecto Trapiche de acuerdo a las evaluaciones pertinentes se trabajará con bloques de 20m x 15m x 10 metros

5.3.4 Interpolación de las leyes con el procedimiento de Kriging

El procedimiento se procede a aplicar un Ordinary kriging del ms compass (Figura 43) para interpolar las leyes.



Description	Name	Operation
Ordinary Kriging	p62401.dat	Calculation
Calc Interburden in M501SM Composites	compint.dat	Calculation

Figura 43 — Procedimiento Ordinary Kriging

Se procede a correr el método con los parámetros de búsqueda del elipsoide creado anteriormente.

Kriging search parameters: PAR 1:250, PAR 2: 250, PAR 3: 50, PAR 4: 50, etc.



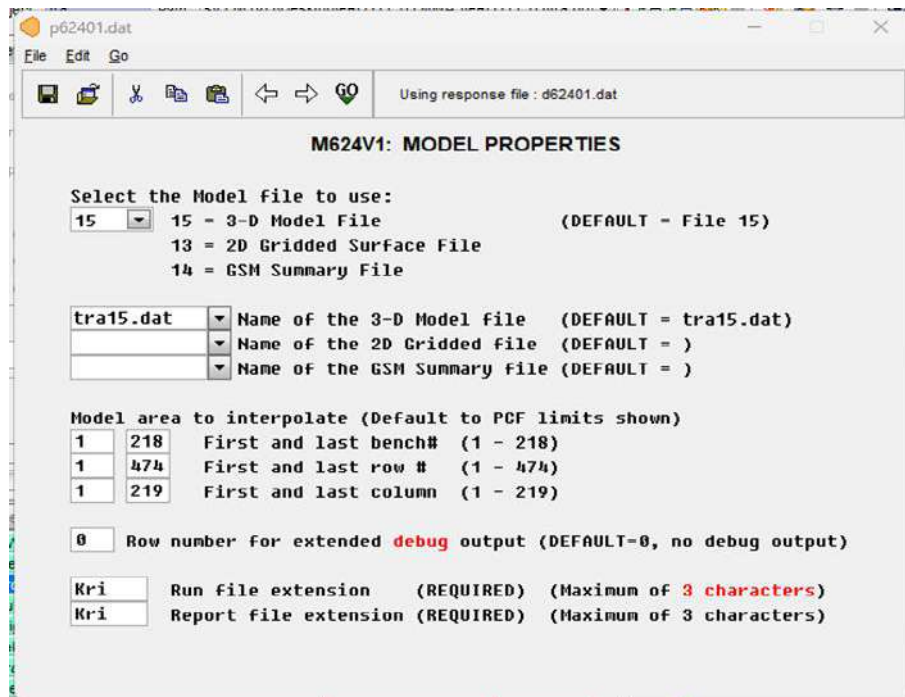


Figura 44 — Parámetros para el krigging ordinario

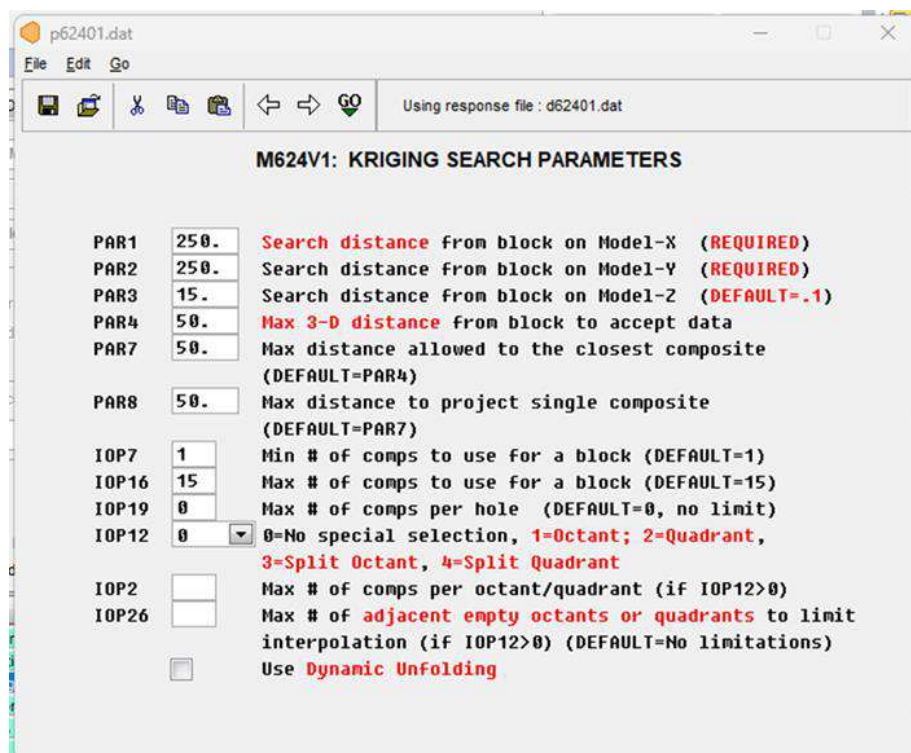


Figura 45 — Parámetros para el krigging ordinario

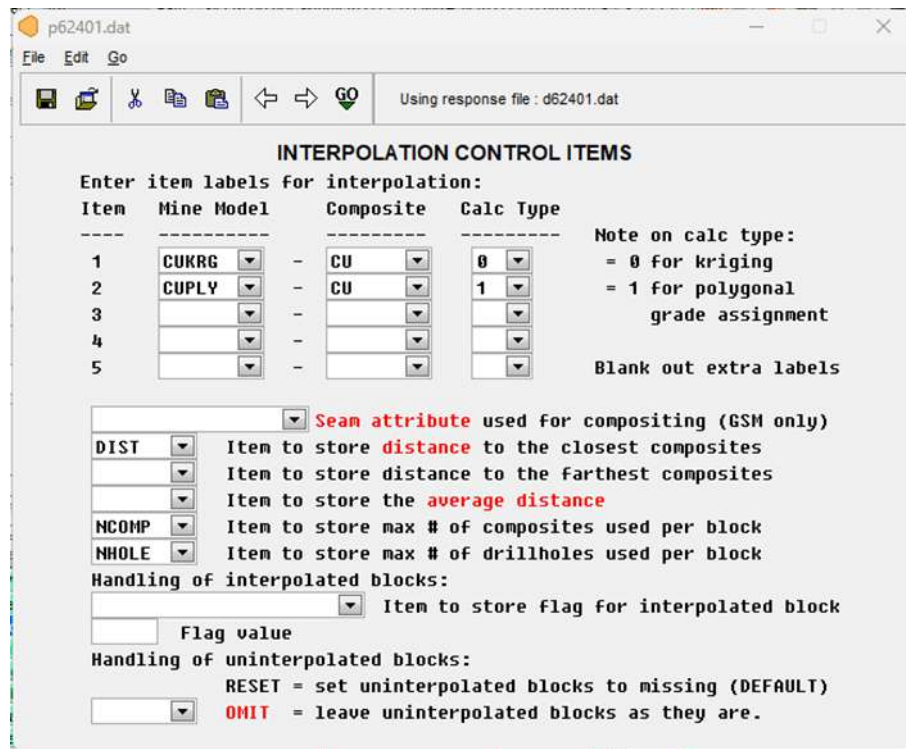


Figura 46 — Parámetros para el krigging ordinario

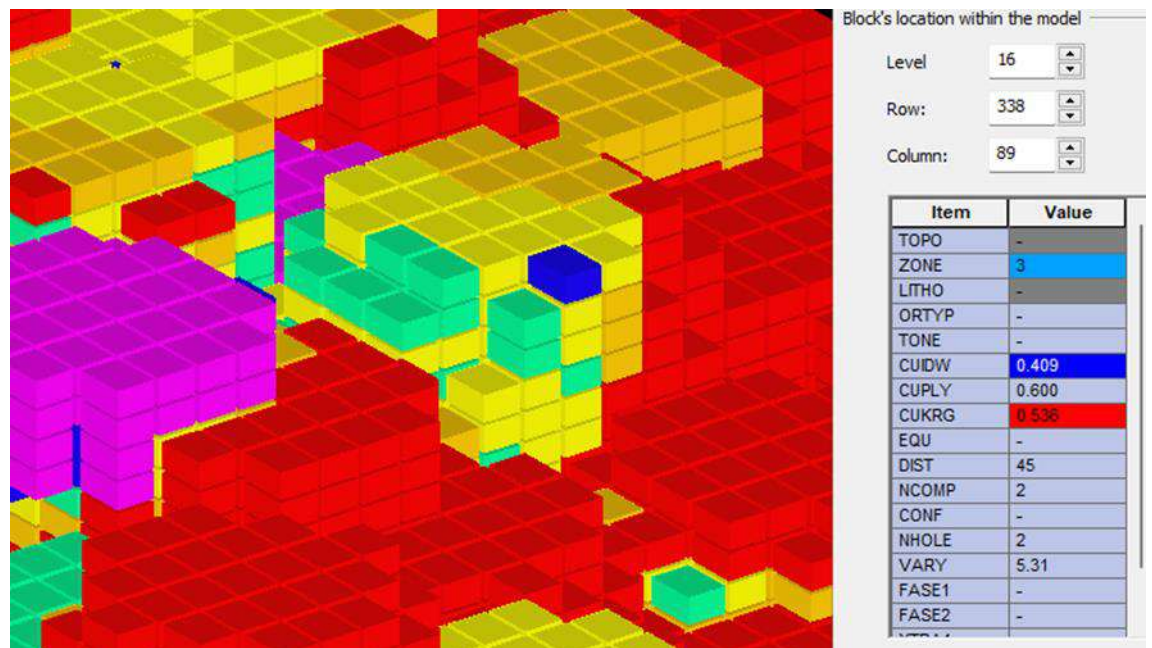


Figura 47 — Resultados del krigging ordinario

5.3.5 Clasificación de recursos

Considerando tendremos que clasificar nuestros recursos (medido, indicado e inferido) en función a la distancia, utilizando la creación de un Box Plot.

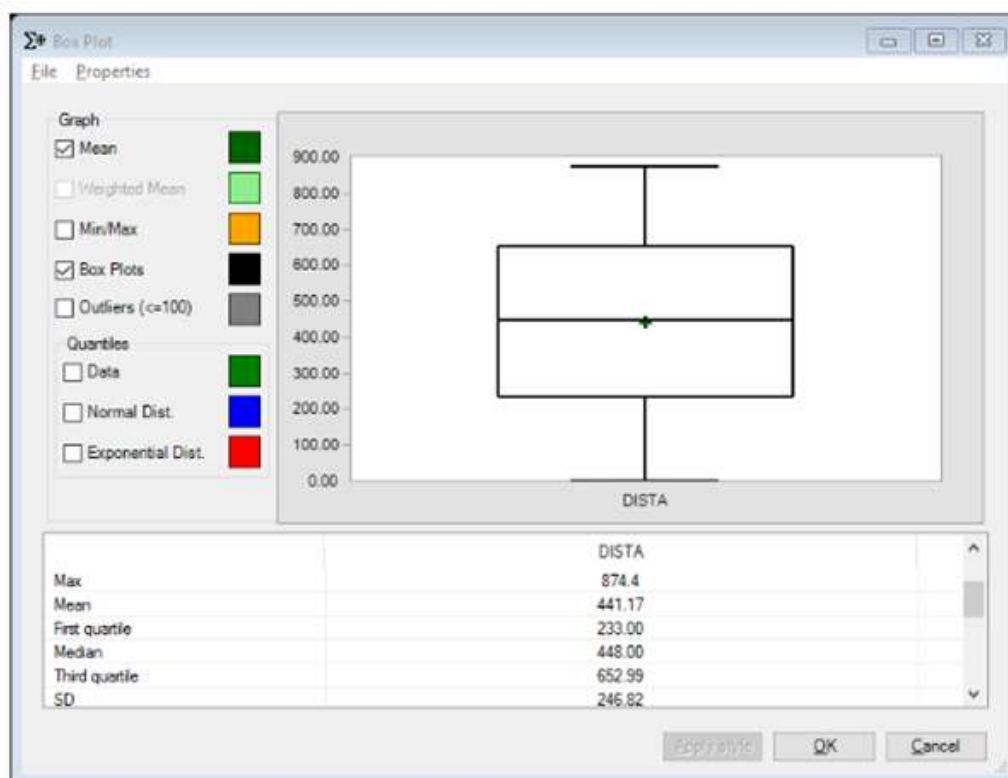


Figura 48 — Box Plot en función a la distancia

- Recurso medido: Desde 0 hasta el segundo Quartile (448.00).
- Recurso indicado: Desde el segundo Quartile (448.00) hasta el tercer Quartile (652.99)
- Recurso inferido: Desde el tercer Quartile (652.99) hasta el alcance máximo (874.47)

5.3.6 Codificación de recursos

Con los resultados obtenidos la clasificación se procederá a codificar cada tipo de recurso (Medido = 1, Indicado = 2, Inferido = 3) para ello utilizamos un Multi Run de ms compass con el procedimiento User Calcs (p61201.dat).

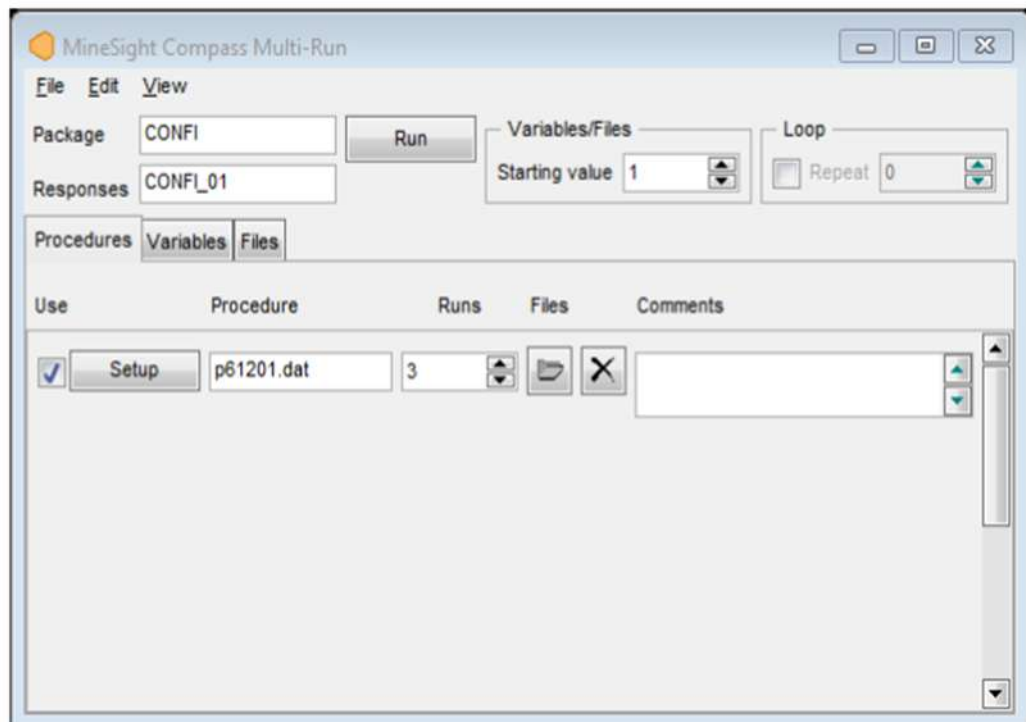


Figura 49 — Multi Run con el procedimiento User Cales

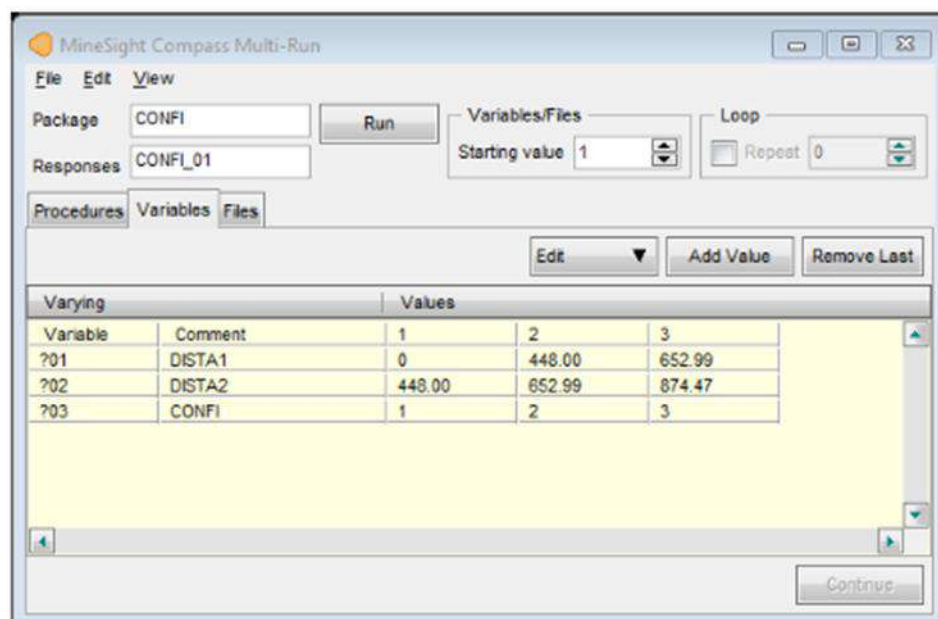


Figura 50 — Parámetros para la confiabilidad

Finalmente, el modelo de bloques se muestra codificado para recurso medido (verde), indicado (amarillo) e inferido (rojo) (Figura 51).

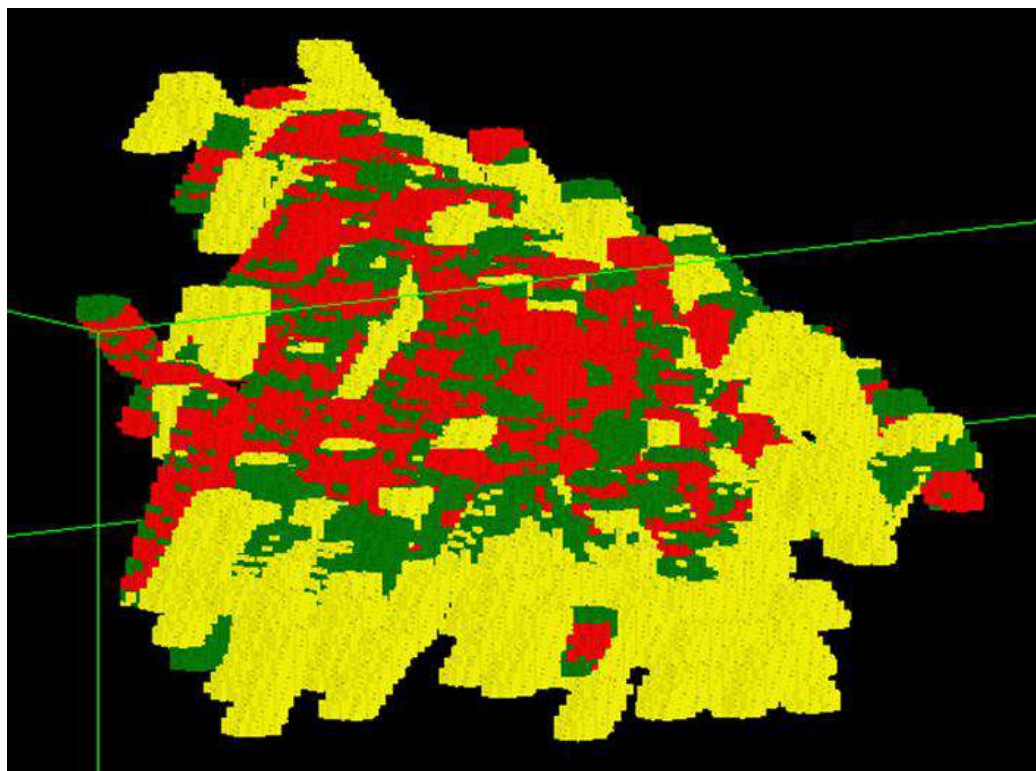


Figura 51 — Recurso medido, indicado e inferido

5.3.7 Estimación de Reservas

Para la estimación de reservas probadas y probables de Trapiche es necesario crear primero un modelo de superficie, en el cual nos servirá para generar un pit optimo, el cual se interceptará con la superficie, quedando un sólido del cual se obtendrá las reservas de Trapiche utilizando la herramienta IP Tools.

5.3.8 Creación de un modelo de superficie

Con el modelo de bloques realizamos operaciones para lo cual los datos deben estar completos para generar un modelo de superficie el cual crearemos a partir de la topografía de Trapiche para lo cual se genera el archivo Tra13 (G.S.F) con los límites y precisión de la cota como se muestra en la Figura 51.

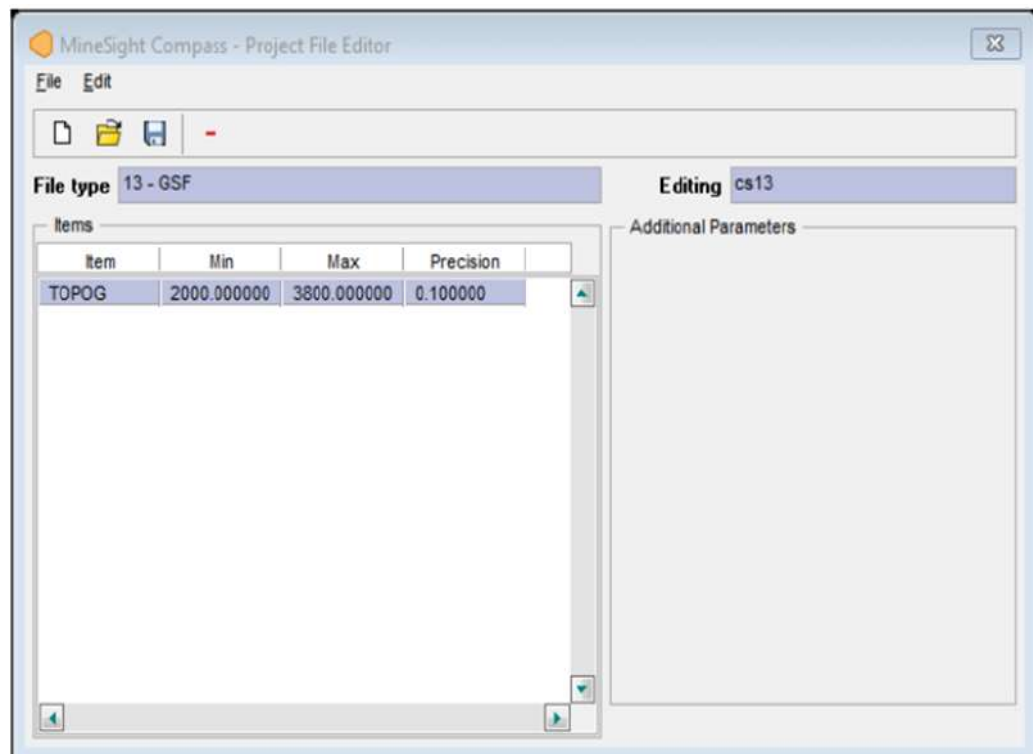


Figura 52 — Límites y precisión del modelo de superficie

Después de generar nuestra superficie del proyecto se procede adicionarlo al modelo de bloques para ello haremos uso del ms compass denominado Add Surface code to 3DBM obteniendo nuestro modelo de bloque junto con la superficie como se observa en la Figura 53, este procedimiento se realiza básicamente para saber qué porcentaje de bloque se encuentra por encima o por debajo de la topografía.

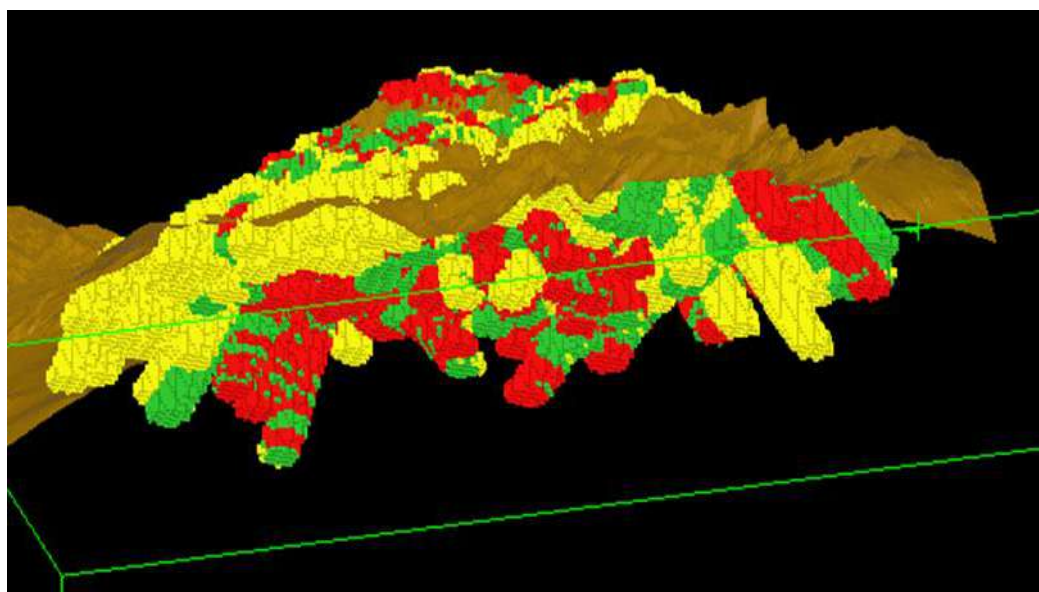


Figura 53 — Modelo bloque y el modelo de superficie

5.3.9 Creación del Pit Óptimo (Lerchs Grossman)

En este apartado se explica cómo funciona la optimización del pit Trapiche. Los valores de entrada que solicita el software MineSight para obtener los valores de salida. Los tres modelos anteriores citados forman el modelo de bloques del cual trabajaremos nuestro proyecto.

Lo que busca el algoritmo de Lerchs Grossman es tener como resultado el cono más óptimo para las condiciones del yacimiento Trapiche. Cada bloque recibirá un valor positivo o negativo en función de si únicamente generará gastos como estéril o si se trata de un bloque mineral capaz de generar beneficios. De esta manera se genera una serie de perfiles como podemos observar en la Figura N° 53.

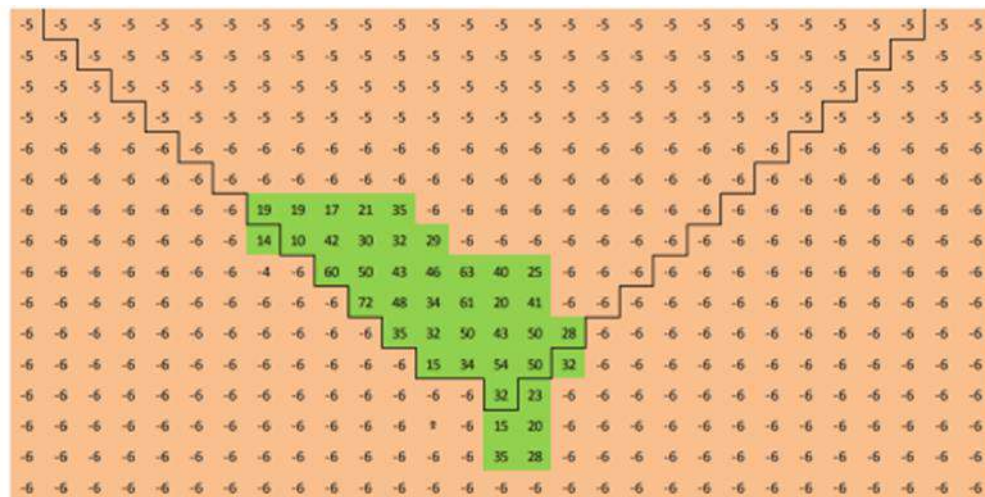


Figura 54 — Ejemplo de envolvente económica óptima
Extraído de: (YANA, 2014)

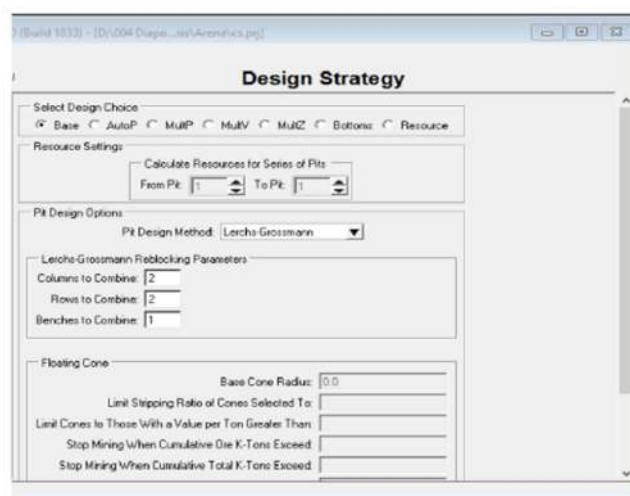


Figura 55 — Utilización del método Lerchs Grossman

Finalmente se tiene como resultado el pit optimo sensibilizado Figura 55.

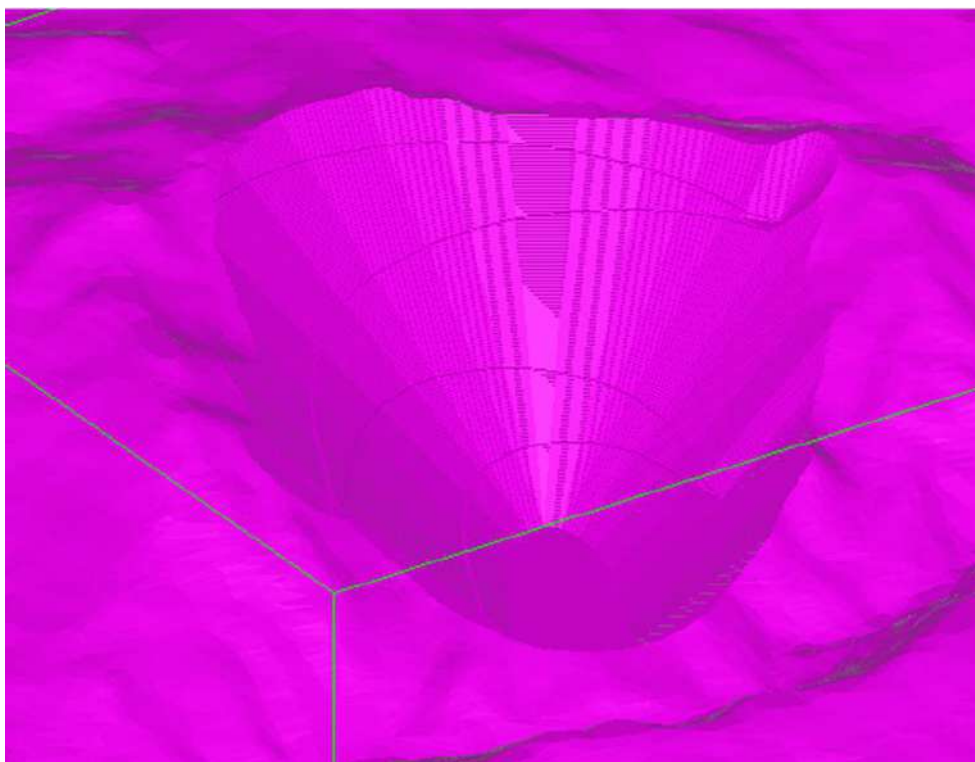


Figura 56 — Pit optimo sensibilizado con el método Lerchs Grosman

5.3.10 Determinación de la vida económica de la mina

Como todo proyecto, la explotación de Trapiche deberá ser evaluada técnica y económicamente, dentro de un periodo de vida del yacimiento dependerá principalmente de las cantidades de reservas minables, ritmo de explotación requerido o producción y las necesidades políticas, recursos o intereses de la empresa El Molle Verde Sac. Para el proyecto Trapiche se establece una capacidad de procesamiento de la planta concentradora de 45,000 TM/Día, lo calculamos la capacidad de procesamiento anual.

$$\text{Procesamiento de planta} = 45\,000 \frac{\text{TM}}{\text{Día}} * \frac{30\text{Días}}{1\text{Mes}} * \frac{12\text{Meses}}{1\text{Año}}$$

$$\text{Procesamiento de planta} = 16\,200\,000 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}$$

Además, en el reporte de reservas tenemos como resultado la cantidad de reservas es de 283 200 000 TM, y que la cantidad de desmonte es



369 061 246.75 con lo que procedemos a calcular la vida de la mina Trapiche y la razón de stripping.

$$\text{Vida de Trapiche} = \frac{\text{Procesamiento de planta} \frac{TM}{\text{Año}}}{\text{Reservas de Trapiche} TM}$$

$$\text{Vida de Trapiche} = \frac{283\,200\,000\, TM}{16\,200\,000 \frac{TM}{\text{Año}}}$$

$$\text{Vida de Trapiche} = 17.48 \text{ Años}$$

$$\text{Vida de Trapiche} = 18 \text{ Años}$$

Calculando la razón de stripping

$$\text{Stripping} = \frac{\text{Desmonte}}{\text{Mineral}}$$

$$\text{Stripping} = \frac{369'061,246.75\, TM}{283'200,000\, TM}$$

$$\text{Stripping} = 1.303182 \approx 1.3032$$

Sabiendo que la capacidad de tratamiento de la planta concentradora es de 45 000 TM/Día y que razón de stripping es de 1.3032 procedemos a relacionarlo para calcular la producción diaria de Trapiche.

$$\frac{\text{Producción}}{\text{Día}} = 45\,000 \frac{TM}{\text{Día}} + 1.3032 * 45\,000 \frac{TM}{\text{Día}}$$

$$\frac{\text{Producción}}{\text{Día}} = 103\,644 \frac{TM}{\text{Día}}$$

$$\frac{\text{Producción}}{\text{Mes}} = 103\,644 \frac{TM}{\text{Día}} * \frac{30 \text{ Días}}{1 \text{ Mes}}$$



$$\frac{\text{Producción}}{\text{Mes}} = 3\,109\,320 \frac{\text{TM}}{\text{Mes}}$$

$$\frac{\text{Producción}}{\text{Año}} = 3\,109\,320 \frac{\text{TM}}{\text{Mes}} * \frac{12 \text{ Meses}}{1 \text{ Año}}$$

$$\frac{\text{Producción}}{\text{Año}} = 37\,311\,840 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}$$

Del desarrollo podemos concluir que trabajando con una planta de procesamiento de capacidad de 45 000 TM/Día a un ritmo de producción de 103 644 TM/Día la vida económica de Trapiche es de 18 años con una razón de stripping de 1.3032.

5.3.11 Planeamiento del Pit por años

Para determinar y evaluar el planeamiento del pit por años se procede a dividir el total de materiales a extraer en el transcurso de la vida de la mina entre el tonelaje anual a producir, conociendo que la cantidad de material a extraer por cada año es de 37 311 840 TM/AÑO.

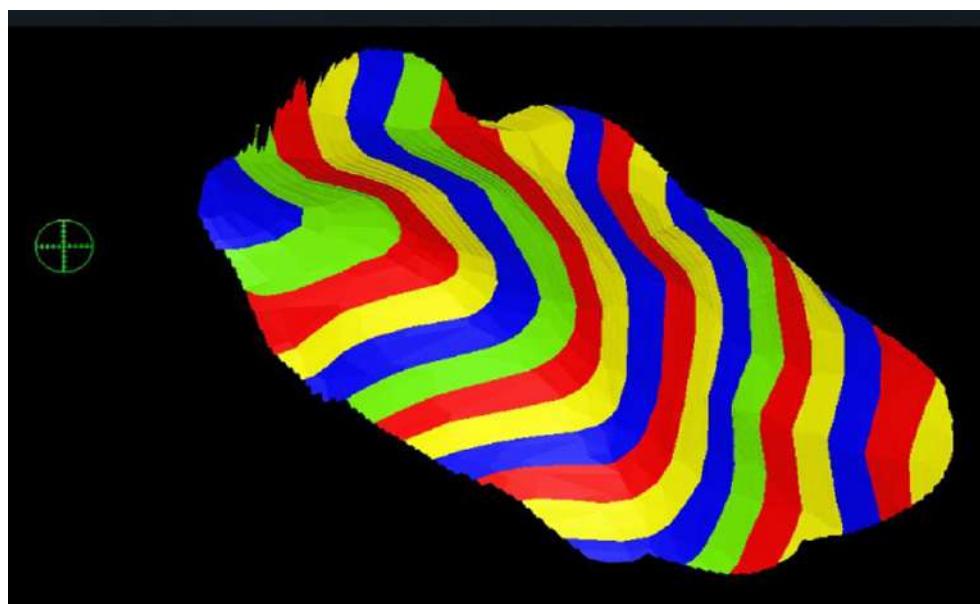


Figura 57 — Sólidos del material a producir por los 18 años de vida de Trapiche

Luego con la herramienta del planeamiento interactivo del MineSight se genera un resultado por cada año para saber la cantidad de mineral y desmonte

que se tendrá que mover, así como la relación entre estas y el promedio de sus leyes de Cu que se describen en la Tabla 15.

Tabla 15 — Reporte de la cantidad de mineral y desmonte a explotar por año y su relación de stripping.

ITEM	MINERAL	DESMONTE	D/M	CU (%)
1	518 591.60	3 192 049.50	6.16	0.33
2	2 666 703.99	8 775 536.25	3.29	0.48
3	5 782 866.18	19 751 274.00	3.42	0.47
4	8 553 553.08	19 641 053.50	2.30	0.56
5	11 471 710.10	16 341 179.50	1.42	0.35
6	14 484 324.37	19 335 431.50	1.33	0.56
7	16 190 531.61	17 382 887.75	1.07	0.58
8	18 090 066.88	15 770 311.75	0.87	0.52
9	19 459 958.79	21 883 022.75	1.12	0.45
10	20 597 938.16	26 564 976.25	1.29	0.44
11	21 684 053.30	24 123 163.75	1.11	0.54
12	22 415 634.72	17 795 434.00	0.79	0.52
13	21 862 978.20	13 043 923.25	0.60	0.59
14	20 801 235.03	9 219 320.50	0.44	0.51
15	19 188 700.12	9 176 041.50	0.48	0.58
16	17 367 353.61	11 559 413.25	0.67	0.49
17	15 204 463.70	9 037 400.00	0.59	0.68
18	26 859 336.56	1 022 757.25	0.04	0.64
TOTAL	283 200 000.00	369 061 246.75	1.3032	0.52

5.3.12 Diseño de botadero

En la necesidad de ubicar el material estéril del pit Trapiche nace en respuesta el botadero, fuera de la incidencia de pit, durante un tiempo determinado o indefinido. El material estéril extraído de la mina debe ser depositado en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que tendremos que definir las características de acuerdo a un estudio de los lugares de Trapiche.



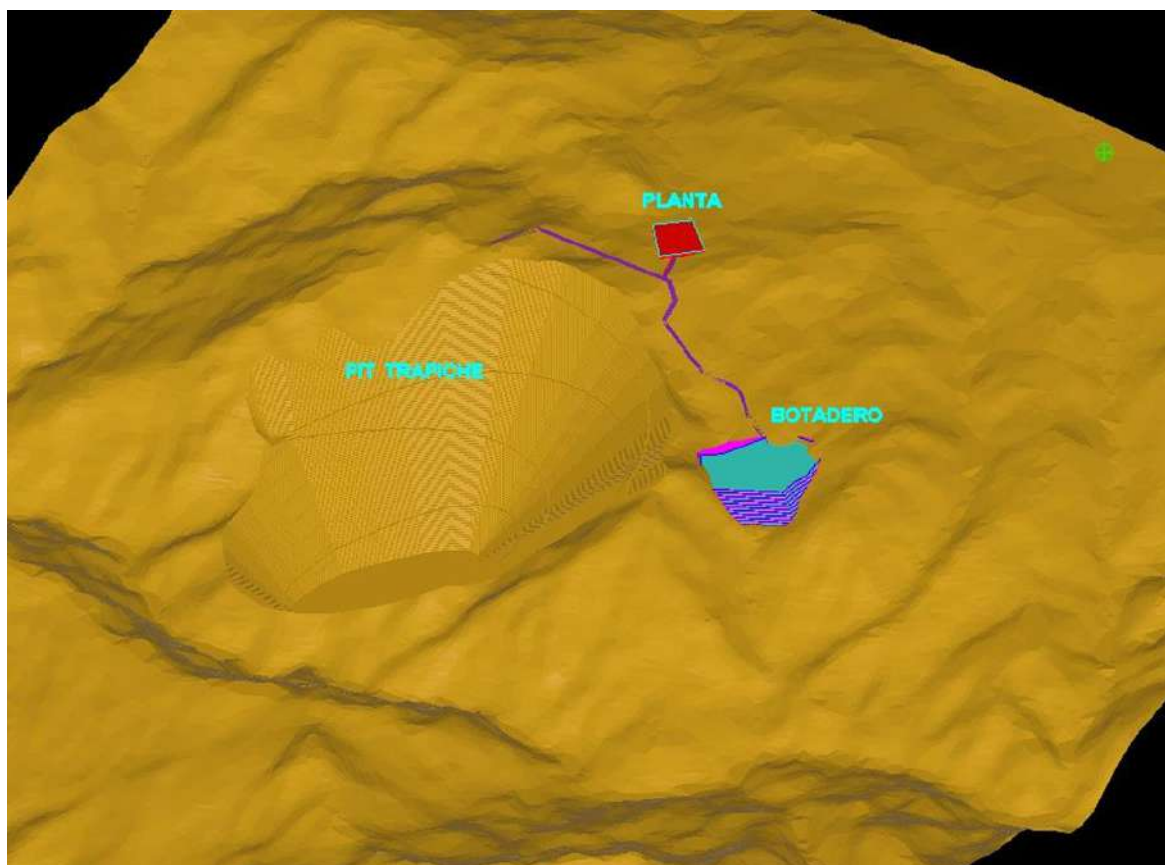


Figura 58 — Botadero, plantas chancado y el Pit Trapiche

La capacidad del botadero está destinado al almacenamiento total del material del desmote del Pit Trapiche con la capacidad de almacenamiento que se tienen anualmente como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16 — Cantidad de desmote a almacenar por año

Año	Desmote (TM)	Año	Desmote (TM)
1	3 192 049.50	10	26 564 976.25
2	8 775 536.25	11	24 123 163.75
3	19 751 274.00	12	17 795 434.00
4	19 641 053.50	13	13 043 923.25
5	16 341 179.50	14	9 219 320.50
6	19 335 431.50	15	9 176 041.50
7	17 382 887.75	16	11 559 413.25
8	15 770 311.75	17	9 037 400.00
9	21 883 022.75	18	1 022 757.25

5.3.13 Componente geométrico del tajo Trapiche

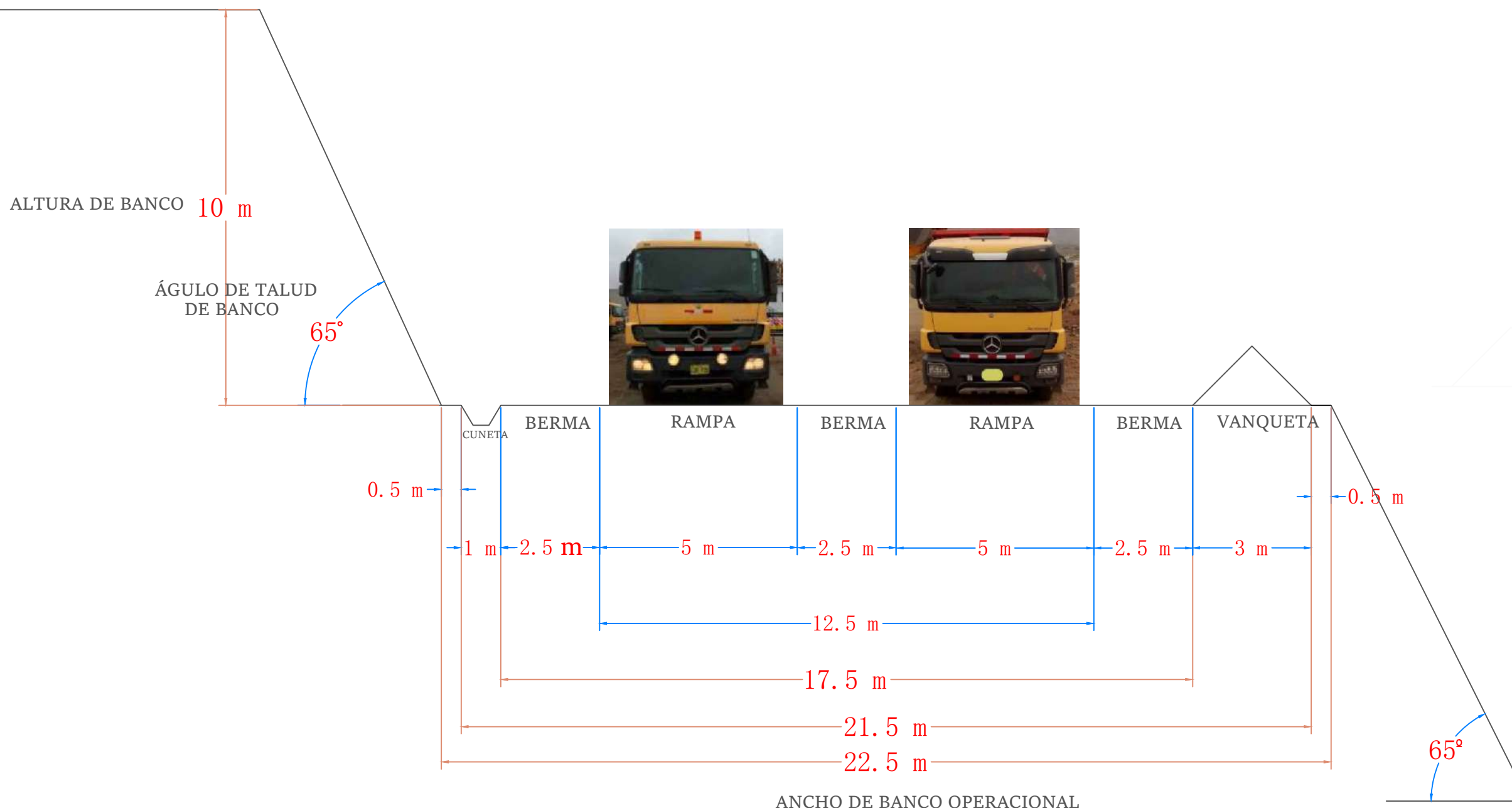
Se determino de acuerdo a los parámetros utilizados en el software MineSight, se detalla los componentes geométricos del diseño del tajo Trapiche, para ello se determinó según las características del proyecto.

Tabla 17 — Parámetros geométricos del tajo Trapiche

PARÁMETROS	UNIDAD	CANTIDAD
Altura de banco	m	10
Ángulo de talud de banco	grados	45
Berma de Seguridad	m	2.5
Ángulo de talud inter-rampa	grados	65
Ancho de rampa	m	12.5
Ancho de banco operacional	m	22.5
Gradiente de rampa	%	10



PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TAJO TRAPICHE



ANCHO DE BANCO OPERACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERIA DE MINAS

 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC 		LAMINA: 01
APLICACIÓN DEL SOFTWARE MINESIGHT PARA EL MODELAMIENTO DEL DISEÑO DEL TAJO TRAPICHE EN LA UNIDAD MINERA EL MOLLE VERDE SAC - APURÍMAC, 2023		
PROYECTO MINERO TRAPICHE - EL MOLLE VERDE SAC		
PLANO DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE UN TAJO ELABORADO POR RUBEN REA LUPA		
ESCALA: 1:120		

Figura 59 — Parámetros geométricos del tajo Trapiche

5.4 Discusión

(GONZALES, 2013), en su proyecto de tesis titulada el “Planeamiento de Minado del Tajo Alpamarca” concluye que el tajo operativo ha sido diseñado en base al Shell óptimo obtenido de acuerdo al algoritmo de Lerchs Grossman en el software Minesight. Según el código NI-43-101 y el código JORG las reservas de mineral en tajo operativo es de 4'222,200 TM con una ley de 3.09 Oz/TM de Ag, 1.83 % de Pb, 1.83 % de Zn y 0.16 % de Cu. De manera similar, en el proyecto de investigación del modelamiento de diseño del tajo Trapiche, se siguió una metodología similar, utilizando también el algoritmo de Lerchs-Grossman en MineSight para obtener un tajo óptimo. En este caso, las reservas estimadas de Trapiche son significativamente mayores, alcanzando 280,200,000 TM de cobre (Cu) con una ley promedio de 0.52% de Cu. Estos resultados sugieren una viabilidad sólida para el proyecto, no solo debido a la gran cantidad de recurso minable, sino también por la ley estándar de mineral, lo cual es típico en un pórfido de cobre.

(YANA, 2014), en su proyecto de tesis titulada “Planeamiento de Minado a Mediano y Largo Plazo Empresa Minera Santa Luisa S.A. Proyecto Mina Atalaya”, se concluye que el uso de software minero para el planeamiento de minado a mediano y largo plazo en el proyecto Atalaya permitió obtener resultados de manera más rápida y precisa. Esto contribuyó a la optimización de la explotación de los recursos mineros, mejorando los programas de producción. De manera similar, en el proyecto de investigación del modelamiento de diseño del tajo Trapiche, el diseño óptimo se logró aplicando el software MineSight, utilizando los siguientes parámetros y procedimientos: generación de tablas en Excel, conversión de datos a formato ASCII, carga de taladros, validación de datos, importación de sondajes, modelamiento geológico, creación del cuerpo mineralizado, topografía y composición de taladros. Estos pasos aseguran un modelamiento integral que optimiza la planificación del tajo en base a los datos disponibles.

(TELLO, 2017), en su proyecto de tesis de titulada "Optimización Del Secuenciamiento Del Plan De Minado A Corto Plazo Con El Software MineSight En El Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017", se concluye que las características geométricas del yacimiento, como tamaño, consideraciones



geomecánicas, relación de minado y tamaño de los equipos, son factores clave en la planificación del minado. En operaciones mineras a gran escala, como las de cobre y oro, se ha observado una tendencia hacia la estandarización de operaciones, empleando una altura de banco típica de 15 metros y equipos de gran capacidad (camiones, palas, equipos de perforación), con el fin de mejorar la eficiencia y reducir costos. Comparando estos hallazgos con el proyecto de investigación del modelamiento de diseño de tajo Trapiche, se puede observar que, si bien Trapiche también es un yacimiento a gran escala, las consideraciones geométricas y geomecánicas fueron fundamentales en la optimización del diseño del tajo. En Trapiche, el uso del software MineSight permitió un modelamiento detallado que tuvo en cuenta las leyes de cobre (Cu) y el modelo de bloques basado en la geología del depósito. Aunque la estandarización en la altura de banco es de 10 m y el tamaño de los equipos es mediano tanto en (camiones, palas, equipos de perforación) podría ser aplicable, el enfoque en las especificidades geológicas y geotécnicas de Trapiche asegura que el diseño optimice tanto la extracción de recursos como la estabilidad del tajo a lo largo del tiempo.

(CONDORI, 2019), en su tesis que titula Implementación de un planeamiento de minado a cielo abierto con uso del software Minesight para alcanzar la producción óptima mediante la evaluación de las características geotécnicas en la unidad minera María 2 – Moquegua, concluye que el uso de herramienta del software Minesight ha sido muy útil para el procesamiento de los datos de información necesario una vez teniendo los resultados de evaluación de características geotécnicas para su posterior implementación de planeamiento de minado a Cielo Abierto y este permitió alcanzar las producciones óptimas diarias; En el proyecto de investigación relacionado con el planeamiento del tajo Trapiche, el procesamiento de datos se centró en el núcleo principal de las leyes de cobre y el modelo de bloques basado en el modelo geológico. Esto permitió un planeamiento de tajo que resultó en una vida útil de mina de 18 años, con fases de minado para cada año y una producción anual de 37,311,840 toneladas métricas por año (TM/AÑO). Estos resultados, como se muestran en la Figura 56 y Tabla 14, destacan la precisión y óptimos resultados obtenidos en el estudio.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.5 Conclusiones

1. Se logró modelar el diseño del Tajo Trapiche con la aplicación del software MineSight, se utilizaron los parámetros que requieren para la ejecución del proyecto como son las tablas del (collar, survey, assay y litología), también el modelo geológico, modelo de bloques, la topografía y las leyes de los sondajes las cuales me permitieron desarrollar los resultados que corresponden al desarrollo del presente trabajo de investigación.
2. Se logró identificar los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight con los procedimientos de las tablas de Excel con sus respectivas datos contenidas en el (collar (369), survey (54 007), assay (115 650) y litología (11,765)) y el modelamiento geológico, modelamiento del cuerpo mineralizado, la topografía, las leyes del Cu y la composición de sondajes.
3. Se logró determinar la influencia del modelo de bloques en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación del software MineSight de acuerdo a los sondajes de perforación diamantina y las leyes del cobre, se obtuvo un resultado de 8'512,092 bloques con leyes de 0.52% de Cu y una composición de sondajes a 10 m y poder calcular los recursos y las reservas.
4. Se logró calcular la reserva con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software MineSight mediante los métodos de Ordinary Kriging y el algoritmo de Lerchs y Grosman, como resultado se obtuvo 283 200 000.00 TM las cuales serán extraídas en 18 años de vida mina en un plan a largo plazo y tendrán fases de minado para cada año de vida mina.



5.6 Recomendaciones

1. Se recomienda analizar a detalle los sondajes de perforaciones diamantinas, la geología, la geomecánica y otros aspectos que vinculan para obtener un buen resultado en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche.
2. Para obtener un mejor modelamiento de diseño de tajo Trapiche, se recomienda tener con precisión las leyes ponderadas de cada sondaje de perforación diamantina y modelo de bloques.
3. Para obtener, datos con mayor precisión del área de diseño del tajo Trapiche, se recomienda el uso de equipos drone en el estudio geofísico a detalle y equipo RTK en el levantamiento topográfico.
4. Se recomienda tener capacitaciones con una empresa especializada en el uso del Software MineSight para continuar con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche y la continuidad de las operaciones futuras.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaga, Antenor. 2022. *OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN Y DILUCIÓN, MEDIANTE EL USO, EN LA VOLADURA DEL SISTEMA I – KONTM III. MINA PUCAMARCA - CIA MINSUR S.A - TACNA.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, Piura, Perú : 2022.

ALVARADO, Herrada Pabel. 2007. *cybertesis.uni.edu.pe. cybertesis.uni.edu.pe.* [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, 2007. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/11658/1/alvarado_hp.pdf.

Arteaga, Jhosmell George. 2021. *Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en la Minera Marsa S.A. Pataz – Región la Libertad.* UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, Cerro de Pasco, Perú : 2021.

Arteaga, Jhosmell. 2021. *Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en la Minera Marsa S.A. Pataz – Región la Libertad.* UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, Cerro de Pasco, Perú : 2021.

Atlascopco. 2013. *slideshare.net. slideshare.net.* [En línea] slideshare, 04 de Diciembre de 2013. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] <https://es.slideshare.net/Ronaldlc80/parametros-de-perforacion-rdt>.

Bernaola, Alonso Jose, Catilla, Gomez Jorge y Herrera, Herbert Juan. 2013. *oa.upm.es.* [En línea] 2013. [Citado el: 18 de Junio de 2023.] https://oa.upm.es/21848/8/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf.

Bieniawski, Z. T. 1989. <https://books.google.com>. [En línea] 1989. [Citado el: 25 de Julio de 2023.] https://books.google.com.pe/books?id=pejDUvjwPdMC&pg=PR3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false.

Campos, Lopez Enerio y Lozano, Quiliche Ruben. 2021. *Modelamiento y diseño de malla de perforación para controlar la dilución, en tajos de producción en una mina a cielo abierto 2021.* Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú : 2021.

CARPIO, ORE WILLIAM YOHANI. 2018. *“Aplicación De Software Minero Minesight Al Planeamiento De Corto Plazo En Minería A Tajo Abierto”.* Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa, Perú : 2018.

CASTILLA, Gomez Jorge. 2013. *oa.upm.es. oa.upm.es.* [En línea] E.T.S. DE INGENIEROS DE INGENIEROS DE, 2013. [Citado el: 15 de Junio de 2019.] http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf.

CASTILLO, DELGADO LINDA MARCELA. 2009. *Modelos de Optimización para la Planificación Minera a Cielo Abierto.* Universidad de Chile, Santiago : 2009.

Chávez, Luis. 2014. *“Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja”.* UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, Lima, Perú : 2014.



Condor, Joel. 2021. *MODELO DE VOLADURA CONTROLADA PARA MEJORAR ESTABILIDAD DE RAMPA 3293 EN NIVEL 2100 VETA MILAGROS – MINA PARCOY – 2019.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, Perú : 2021.

CONDORI, QUISPE SIMEON. 2019. *Implementación de un planeamiento de minado a cielo abierto con uso del software minesight para alcanzar la producción óptima mediante la evaluación de las características geotécnicas en la unidad minera María 2 - Moquegua.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, MOQUEGUA : 2019.

Correa, Pedro Luis y Martínez, Díaz Andrés David. 2017. *Diseño Del Sistema De Perforación Y Voladura En Los Bancos D, E Y F En La Mina De Caliza El Tesoro, Contrato De Concesión Ili-16111 Ubicada En La Vereda Las Caleras Del Municipio De Nobsa-Boyacá.* Universidad Pedagógica Tecnológica De Colombia, SOGAMOSO : 2017.

Cossio, Jhovany Cuellar, Aaron. 2021. *Optimización de la perforación y voladura para el método de minado por bench and fill en la Unidad Minera Carahuacra.* Universidad Continental, Huancayo, Perú : 2021.

Datamine. 2023. www.dataminesoftware.com. [En línea] 5 de junio de 2023. [Citado el: 5 de junio de 2023.] <https://www.dataminesoftware.com/mine-planning-software/>.

ELISSETCHE, CORREA PEDRO NICÓLAS. 2010. *Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Tipo Exótico.* Universidad de Chile, Santiago : 2010.

ESCOBAR, Potes Carlos Enrique y DUQUE, Escobar Gonzalo. 2017. bdigital.unal.edu.co. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2017. [Citado el: 08 de Agosto de 2019.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/21/analisisdeestabilidaddetaludes.pdf>.

EXPLOCEN. 2003. aimecuador.org. [En línea] EXPLOCEN, Abril de 2003. [Citado el: 29 de Julio de 2019.] <https://www.aimecuador.org/documentos/capacitacion/curso-de-explotacion-de-canteras-octubre-2003/4-voladura-a-ca/file.html>.

EXSA, Manualpractico de Voladura. 2017. academia.edu. [En línea] EXSA, 2017. [Citado el: 08 de Julio de 2019.] https://www.academia.edu/23767654/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURA_Edici%C3%B3n_especial_La_L%C3%ADnea_m%C3%A1s_Completa_para_Voladura_Das_Komplette_Sprengstoffprogramm_The_Most_Complete_Blasting_Line.

FAMESA. 2018. FAMESA, EXPLOSIVOS SAC. *FAMESA, EXPLOSIVOS SAC.* [En línea] 17 de OCTUBRE de 2018. <https://3278-pe.all.biz/goods>.

FRANCO, SEPÚLVEDA GIOVANNI y HENAO, GÓMEZ CRISTIAN CAMILO. 2011. *Modelamiento de un yacimiento hipotético de carbón utilizando el software minesight®.* Universidad Nacional de Colombia, Medellín : 2011.

Freites, Jose Gregorio. 2019. <https://www.cursosgeomin.com.ve/blog/page/3/>. [En línea] 2019. [Citado el: 10 de Junio de 2023.] <https://www.cursosgeomin.com.ve/blog/page/3/>.



- Gaona, Gonzales Aderling Jesus. 2015.** *"Optimización De La Voladura, Mina La Virgen - De La Compañía Minera San Simón S.A. - Huamachuco Trujillo"*. Universidad Nacional De Piura, Piura, Perú : 2015.
- Gems. 2023.** www.3ds.com. [En línea] 5 de junio de 2023. [Citado el: 5 de junio de 2023.] <https://www.3ds.com/products-services/geovia/products/gems/>.
- Geovia Surpac. 2023.** www.3ds.com. [En línea] 4 de Junio de 2023. [Citado el: 4 de Junio de 2023.] <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/geovia/productos/surpac/>.
- GONZALES, HIDALGO PAUL CHRISTIAN. 2013.** *"Planeamiento de Minado del Tajo Alpamarca"*. Lima : 2013.
- GONZALES, PAIHUA TOMÁS. 2010.** *Diseño de Minas a Tajo Abierto*. Universidad nacional de Ingeniería, Lima : 2010.
- Goslinga, Juan Antonio. 2014.** *Software en la Minería*. 2014.
- Gutiérrez, Gómez Alfonso. 2019.** <https://eadic.com/>. [En línea] ENERGÍA, PETRÓLEO Y MINAS, 22 de Noviembre de 2019. [Citado el: 21 de Junio de 2023.] <https://eadic.com/blog/entrada/voladuras-parametros-de-diseno/>.
- GUTIERREZ, HUAROCC ALEXIS FRANK. 2022.** *Software minero Mineplan y su influencia en el diseño de plan de minado de la concesión minera New Mining - Huancavelica - 2020*. Universidad Continental, Huancayo : 2022.
- Hidalgo, Tomás, y otros. 2017.** hugepdf.com. [En línea] 2017. [Citado el: 28 de Junio de 2023.] https://hugepdf.com/download/download-mineriami3130-u_pdf.
- KONYA, Calvin J. 2018.** SCRIBD. *SCRIBD*. [En línea] 23 de OCTUBRE de 2018. [Citado el: 07 de Febrero de 2019.] <https://es.scribd.com/doc/30213148/Manual-de-Voladura-KONYA>.
- LOPEZ, Jimeno Carlos. 2003.** *Manual De Perforacion Y Voladura De Rocas*. LIMA : CARLOS LOPEZ JIMENO, 2003.
- LÓPEZ, Jimeno Carlos. 2002.** *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid : Ed. ITGME, 2002.
- LOZANO, Fernandez Manuel. 2012.** slideshare. *slideshare*. [En línea] georgesar7, 05 de Junio de 2012. [Citado el: 21 de Agosto de 2019.] <https://es.slideshare.net/georgesar7/perforacin-en-mineria>.
- MAMANI, Edson Isaac. 2014.** es.scribd.com. *es.scribd.com*. [En línea] ANTAMINA, 07 de Diciembre de 2014. [Citado el: 16 de Mayo de 2019.] <https://es.scribd.com/document/249385761/Diametros-de-Taladros-en-Mineria-Superficial>.
- Maptek Vulcan. 2023.** www.maptek.com. [En línea] 5 de junio de 2023. [Citado el: 5 de junio de 2023.] <https://www.maptek.com/cl/productos/vulcan/>.
- MELLENDEZ, Malatesta Jorge Orlando. 2018.** Academia.edu. *Academia.edu*. [En línea] Academia, 2018. [Citado el: 15 de Julio de 2019.] https://www.academia.edu/10716702/2_3_Mecanica_de_rotura.

- MENDIOLA, Chuquipuma Jorge Luis. 2017.** repositorio.continental.edu.pe. *repositorio.continental.edu.pe*. [En línea] Enuversidad Continental, 2017. [Citado el: 24 de Julio de 2019.]
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/4699/1/IV_FIN_110_TE_Mendiola_Chquipoma_2018.pdf.
- MENDOZA, Muñoz Norma. 2014.** “*Optimización De La Voladura Controlada Aplicando Un Modelo Matemático En La Unidad Minera Paraiso-Ecuador.*”. HUANCAYO : UNCP, 2014.
- Miteco . 2017.** <https://energia.gob.es/>. [En línea] Ministerio Para La Trascición Ecológica Y El Reto Demográfico, 2017. [Citado el: 25 de Junio de 2023.]
https://energia.gob.es/mineria/Explosivos/Guias/Guia_buenas_practicas_diseno_ejecucion_voladuras_banco.pdf.
- MORALES, Cabrera Dante Ulises. 2000.** cybertesis.uni.edu.pe. *cybertesis.uni.edu.pe*. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIEBIA, 2000. [Citado el: 22 de Agosto de 2019.]
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1595/1/morales_cd.pdf.
- Nina, Dávila Yosep Fortunato. 2022.** *Optimización de voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama – Empresa Minera Anabi-2019*. Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, Abancay : 2022.
- Novoa, Campos Elmer. 2021.** *Estudio Geomecánico para Diseñar Malla y Optimizar Costos en Voladura en Concesión Minera Los Chancas III 5 Hnos - Bambamarca*. Universidad Cesar Vallejo, Chicayo : 2021.
- OSSO. 2003.** [osso.org.co](http://www.osso.org.co). *osso.org.co*. [En línea] 22 de Noviembre de 2003. [Citado el: 7 de Febrero de 2019.] <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/vibracion/B.pdf>.
- OVIEDO, nina luis franco. 2017.** “*Diseño De Mallas De Perforación Y Voladura Haciendo Uso Del Software Drill And Blast Vulcan 8.0 Para Obtener Una Óptima Fragmentación En E.E. Ajani Unidad Minera Anabi*”. AREQUIPA : UNSA, 2017.
- Paolo Baca, Mirko Hinostroza, Jack. 2021.** *Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la Unidad Minera San Cristóbal*. Universidad Continental, Huancayo : 2021.
- Parra, Reti Andrés Francisco. 2015.** *Planificación Minera a Cielo Abierto Utilizando Fundamentos Geomecanicos*. Universidad de Chile , Santiago - Chile : 2015.
- PINCHEIRA, Javier y TRONCOSO, Alan. 2018.** u-cursos.cl. *u-cursos.cl*. [En línea] Universidad de Chile , 2018. [Citado el: 07 de Julio de 2019.] https://www.u-cursos.cl/usuario/0aa8cf970f34da4081605da3f277ecbf/mi_blog/r/Mineria_MI3130.pdf.
- Revista Seguridad Minera. 2017.** <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>. [En línea] 19 de Octubre de 2017. [Citado el: Noviembre de Abril de 2023.]



Reyes, Espiritu Marco Angello. 2019. *Diseño y Planeamiento de Minado para la Ampliación del Lom del Tajo Norte - Alparamarca - Volcan S.A.A - 2019.* Universidad Nacional de Ancash "Santiago Antúnez de Mayolo", Huaraz : 2019.

Rojas, Almeyda Ernesto. 2015. *temasdemineria.blogspot.com.* [En línea] Mayo de 2015. [Citado el: 28 de Junio de 2023.] <https://temasdemineria.blogspot.com/2015/05/>.

RUMINÓ, ESPINOZA NELSON GONZALO. 2021. *Metodología de Análisis de Incertidumbre Geológica para Planificación Minera a Cielo Abierto de Largo Plazo.* Universidad de Chile, Santiago : 2021.

Salazar, Sampertegui Jhon Jairo. 2020. *Modelo Matemático Práctico para el Diseño de Voladura de Bancos.* Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo , Perú : 2020.

SANTANA, Orellana Leonard Eliel. 2014. *repositorio.uncp. repositorio.uncp.* [En línea] uncp, 7 de Julio de 2014. [Citado el: 20 de Octubre de 2018.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1340/TESIS%20DISE%20C3%91O%20DE%20MALLA%20PARA%20PERFORACI%20C3%93N%20Y%20VOLADURA%20DE%20FRENTE%20UTILIZANDO%20MODELO%20MATEM%20C3%81TICO%20DE%20HOLM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SEGURIDADMINERA. 2016. *revistaseguridadminera.com. revistaseguridadminera.com.* [En línea] seguridadminera, 26 de Noviembre de 2016. [Citado el: 20 de Febrero de 2019.] <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/puntos-incluir-plan-minado/>.

Sepúlveda, Giovanni Franco y Henao, Gómez Cristian Camilo. 2011. *MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO HIPOTETICO DE CARBÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE MINESIGHT.* Bogotá : s.n., 2011.

Serin, Roger Genix. 2017. *REDUCIR EL PORCENTAJE DE DILUCIÓN, MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA EN LOS TAJOS DE PRODUCCION EN LA MINA MARSARETAMAS.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo : 2017.

Tello, Tamayo Sebastian Serapio. 2017. *Optimización Del Secuenciamiento Del Plan De Minado A Corto Plazo Con El Software Minesight En El Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017.* Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, Abancay : 2017.

TELLO, TAMAYO SEBASTIAN SERAPIO. 2017. *Optimización Del Secuenciamiento Del Plan De Minado A Corto Plazo Con El Software Minesight En El Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017.* Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, Abancay : 2017.

TOLENTINO, BARRIOS FERNANDO ALONZO. 2019. *“ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS CON EL USO DE SOFTWARE MINERO PARA LA EXPLOTACION DEL PROYECTO MINERO - DON JAVIER”.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, AREQUIPA : 2019.

UCHILE, Universidad de Chile. 2018. <https://www.u-cursos.cl>. <https://www.u-cursos.cl>. [En línea] Departamento Ingeniería Civil de Minas, 22 de Actubre de 2018. [Citado el: 15 de Febrero de



- 2019.] https://www.u-cursos.cl/usuario/0aa8cf970f34da4081605da3f277ecbf/mi_blog/r/Mineria_MI3130.pdf.
- UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. 2015.** fenix.tecnico.ulisboa. fenix.tecnico.ulisboa. [En línea] E.T.S.I de Minas, 16 de Abril de 2015. [Citado el: 21 de Agosto de 2019.] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407993358845948/METODOS%20DE%20PERFORACION.FUNDAMENTOS%20v2%20>.
- Vergara, Lovera Victor Miguel. 2020.** *Diseño geotécnico para la estabilidad de una mina a cielo abierto e interacción con excavaciones subterráneas antiguas*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú : 2020.
- Wilca, Omar. 2016.** *OPTIMIZACIÓN DE VOLADURA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DETONADORES NO ELÉCTRICOS Y EMULSIÓN EXPLOSIVA EN MINA SAN JUAN DE CHORUNGA*. UNIVERSIDAD NACIONAL "JORGE BASADRE GROHMANN" - TACNA, Tacna, Perú : 2016.
- Whittle. 2023.** www.3ds.com. [En línea] 5 de junio de 2023. [Citado el: 5 de junio de 2023.] <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/geovia/productos/whittle/>.
- YANA, ESQUIVIAS RUBÉN DARÍO. 2014.** "PLANEAMIENTO DE MINADO A MEDIANO Y LARGO PLAZO EMPRESA MINERA SANTA LUISA S.A. PROYECTO MINA ATALAYA". UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, AREQUIPA : 2014.
- YANA, Esquivias Rubén Darío. 2014.** cytec.gob.pe. cytec.gob.pe. [En línea] Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014. [Citado el: 7 de Julio de 2019.] https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_162e4102a91a78a708898bd50dd3b516.



ANEXOS



ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1 — Matriz de consistencia

Aplicación del Software Minesight para el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Unidad
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo se modelará el diseño del Tajo Trapiche por medio de la aplicación de Software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Modelar el diseño del Tajo Trapiche aplicando el software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El modelamiento del tajo Trapiche queda diseñado por medio de la aplicación del software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación del software Minesight</p>	<p>Modelamiento.</p>	<p>Eficiencia del software</p> <p>Precisión</p> <p>Confiabilidad de los resultados</p>	<p>Horas</p> <p>mm</p> <p>%</p>
<p>Problema específico</p> <p>1. ¿Cómo identificar los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023?</p> <p>2. ¿Cómo influencia el modelo bloques en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023?</p> <p>3. ¿Cómo calcular los recursos y reservas con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023?</p>	<p>Objetivos específico</p> <p>1. Identificar los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.</p> <p>2. Determinar la influenciara del modelo bloques en el modelamiento del diseño del tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.</p> <p>3. Calcular los recursos y reservas con el Modelamiento del Diseño del Tajo Trapiche mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.</p>	<p>Hipótesis específico</p> <p>1. La identificación los parámetros fundamentales para el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche permite el uso adecuado de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023</p> <p>2. El modelo bloques en el modelamiento del diseño del Tajo Trapiche es óptimo mediante la aplicación de software Minesight en la Unidad Minera El Molle Verde SAC – Apurímac, 2023.</p> <p>3. El cálculo de los recursos y reserva con el modelamiento del diseño del tajo Trapiche es factible mediante la aplicacion del software Minesight en la unidad Minera El Molle Verde SAC - Apurímac, 2023.</p>	<p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Parámetros fundamentales de diseño Modelo de bloques Cálculo de recursos y reservas 	<p>Leyes, azimut, inclinación longitud de DDH y litologías</p> <p>Cubicación en 3D</p> <p>Recursos y reservas</p>	<p>Longitud DDH</p> <p>Azimut e inclinación</p> <p>Recursos y reservas</p> <p>Dimensiones</p> <p>Leyes</p>	<p>m</p> <p>grados</p> <p>TM</p> <p>m3</p> <p>%</p>



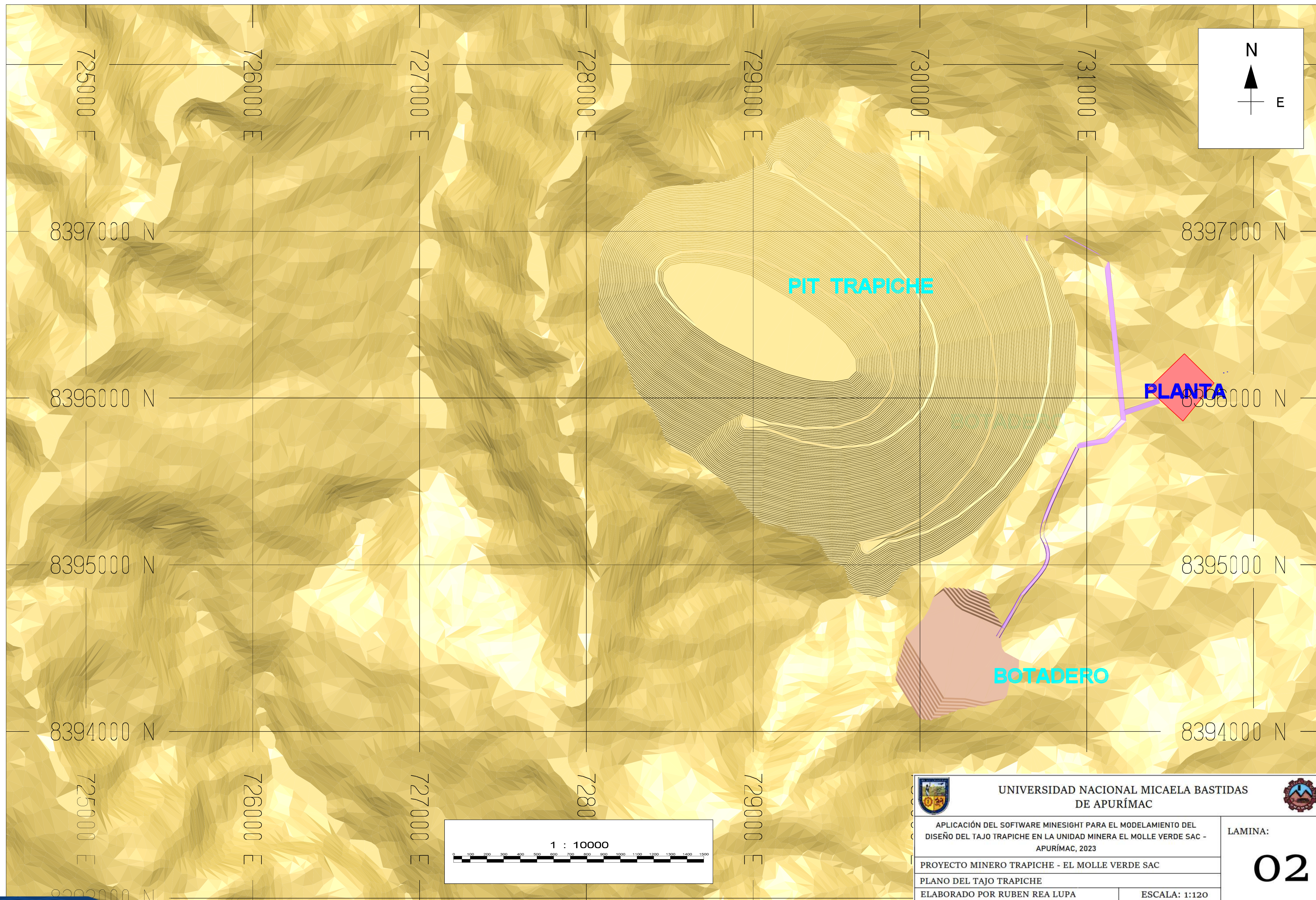


Figura 60 - Plano del Tajo Trapiche

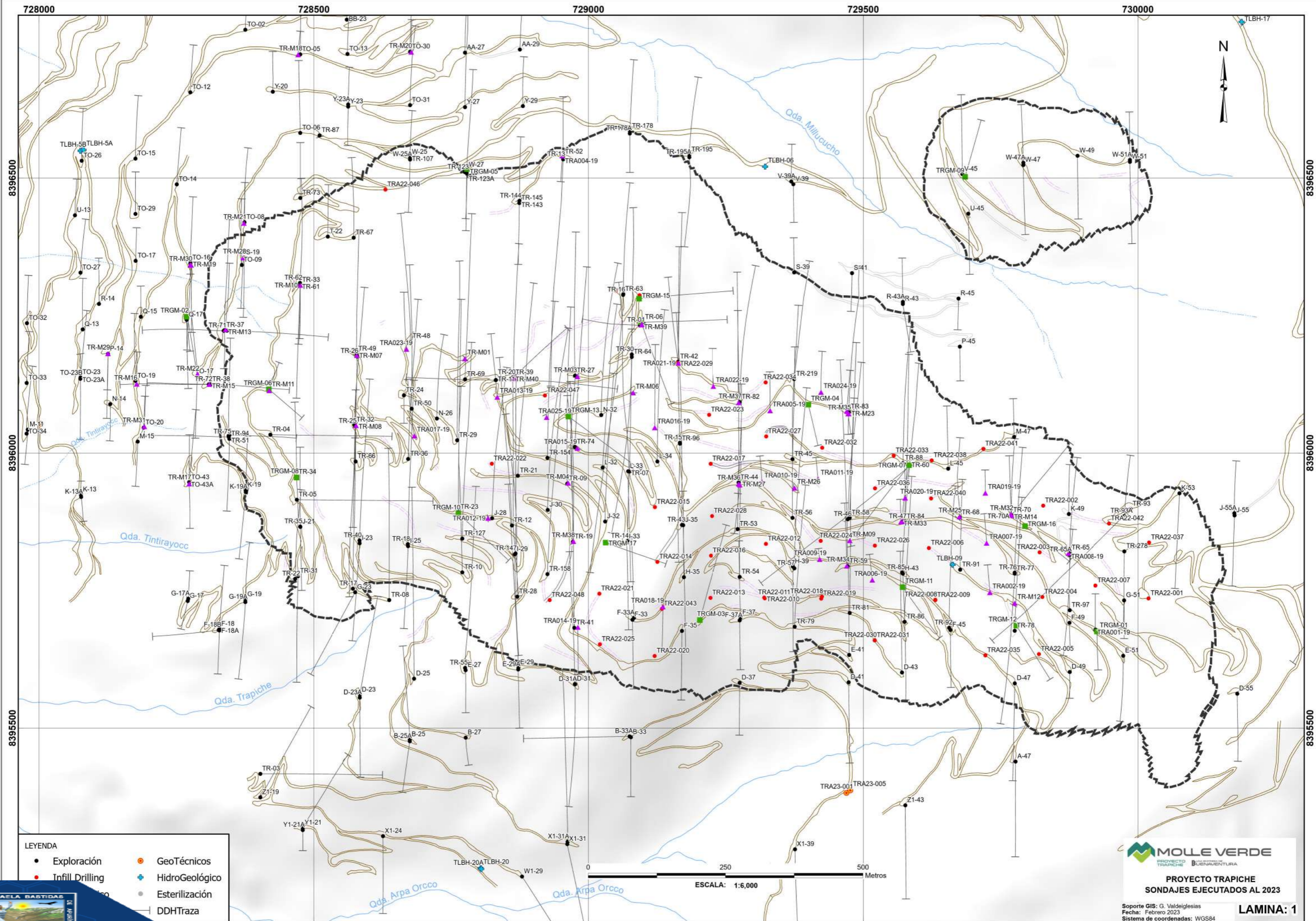


Figura 61 — Sondajes ejecutados en el proyecto Trapiche

ANEXO III: CARTA DE PRESENTACIÓN

CARTA DE PRESENTACIÓN

Mollebamba, 13 de abril del 2023.

SEÑOR:

Ing. Rubén Valer Cruces

Gerente del proyecto Trapiche en El Molle Verde SAC – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

Mollebamba

ASUNTO: SOLICITO INFORMACION DEL PROYECTO TRAPICHE PARA LA EJECUCIÓN DE TESIS

De mi especial consideración,

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, así mismo manifestarle que la Comunidad Campesina de Mollebamba conocedor del prestigio de su representado y del alto espíritu de colaboración e identificación con nuestra comunidad, solicito para a su despacho brindar información del proyecto trapiche para ejecución de su tesis de pregrado a **Ruben Rea Lupa**, con DNI N° 73765516 en la **Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac** dicho proyecto de investigación titulada:

"APLICACIÓN DEL SOFTWARE MINESIGHT PARA EL MODELAMIENTO DEL DISEÑO DEL TAJO TRAPICHE EN LA UNIDAD MINERA EL MOLLE VERDE SAC - APURÍMAC, 2023"

Datos requeridos para la elaboración del proyecto de Tesis:

- Geología del proyecto Trapiche.
- Datos de las perforaciones diamantinas.
- Datos de logueo y muestreo.
- Interpretación geológica.
- Modelo geológico.
- Recursos del mineral.
- Datos de (Assays, Collar, Survey, Topografía, Geo).
- Geotecnia del Proyecto.
- Stripping Ratio.
- Volumen de mineral y respectivas leyes.
- Proceso de lixiviación.

Agradeciendo por anticipado la atención que le brinde a la presente quedo de usted.

Atentamente.



EL MOLLE VERDE S.A.C.
Proyecto Trapiche
Rubén Valer Cruces
Gerente de Proyecto

Figura 62 — Carta de presentación de la Comunidad de Mollebamba a la empresa El Molle Verde SAC

ANEXO IV: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 63 — Vista de frontal del futuro tajo Trapiche



Figura 64 — Vista de planta del futuro tajo Trapiche



Figura 65 — Vista de perfil del futuro tajo Trapiche



Figura 66 — Reconocimiento de la ubicación de sondajes de perforación



Figura 67 — Perforación diamantina realizado por Sierra Drilling



Figura 68 — Perforación diamantina realizado por Sierra Drilling