

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
SECCIÓN DE POSGRADO



TESIS

“INFLUENCIA DEL MODELO DE BLOQUES EN EL VALOR  
PRESENTE NETO, LEY MEDIA Y VOLUMEN DE DEPÓSITOS  
SEDIMENTARIOS DE FOSFATOS DE BAJA POTENCIA”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
GESTION MINERA

ELABORADO POR:  
MIGUEL ANGEL LIZÁRRAGA MEDINA

ASESOR:  
M.Sc. Ing. DIONISIO CARDENAS GONZALES

LIMA - PERÚ  
2025

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi papá Juan, cuéntame si vuelas y háblame de las estrellas, de su silencio y la inmensa soledad, pues cuando lloro yo me alejo. A mi mamá, que inventaste un espacio e ingresaron lentamente a reposar, y en el silencio de tus ojos, los intentos fallidos de entender esto. A mi esposa Katia, juntos y cierra sus ojos ante lo incierto, y cuando los abre ya no comprendo. El último gesto del invierno y las miradas frente al mar, espera el mañana sin prisa. A mi hijo mayor Juan, es que a veces el mundo, donde debes seguir peleando contra el silencio, contra fantasmas y contra el encierro, y es que a veces no hay ganas, ¡no! y a mi hijo menor Miguel, esos barcos navegando entre los retos, que a veces se ocultan ante el grito del mar, callado en las escaleras los resolverás.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis profesores y maestros, quienes me guiaron con paciencia y sabiduría. A todos los que me enseñaron durante estos años, sus lecciones señalaron mi camino. En ellos encontré respuestas a mis dudas y la motivación para seguir adelante. Sus palabras, y enseñanzas me ayudaron a enfrentar los desafíos. En los momentos de incertidumbre, sus consejos fueron una guía para mí. Gracias por estar ahí, por sus conocimientos y por ser una fuente constante de inspiración.

## INDICE

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA.....                                                              | II   |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                          | III  |
| INDICE .....                                                                  | IV   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                        | VI   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                                         | VII  |
| RESUMEN .....                                                                 | VIII |
| ABSTRACT .....                                                                | IX   |
| INTRODUCCION.....                                                             | X    |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....                                               | 12   |
| 1.1 Planteamiento del Problema.....                                           | 12   |
| 1.1.1 Identificación y Descripción del Problema de Estudio.....               | 13   |
| 1.1.2 Antecedentes de la Investigación. ....                                  | 14   |
| 1.1.3 Formulación del Problema.....                                           | 20   |
| 1.2 Justificación y Alcances. ....                                            | 21   |
| 1.2.1 Justificación .....                                                     | 21   |
| 1.2.2 Alcances.....                                                           | 21   |
| 1.3 Objetivos .....                                                           | 22   |
| 1.3.1 Objetivo General.....                                                   | 22   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos. ....                                             | 22   |
| 1.4 Hipótesis y Variables. ....                                               | 22   |
| 1.4.1 Hipótesis General .....                                                 | 22   |
| 1.4.2 Hipótesis Específicas.....                                              | 22   |
| 1.4.3 Variables.....                                                          | 23   |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....                                              | 24   |
| 2.1 Bases Teóricas.....                                                       | 24   |
| 2.1.1 Fosfatos Como Fertilizantes .....                                       | 24   |
| 2.1.2 Moldeamiento Geológico de Depósitos Sedimentarios de Baja Potencia..... | 24   |
| 2.1.3 Modelo de Bloques.....                                                  | 31   |
| 2.1.4 Ley de Corte y Valorización de un Depósito Mineral .....                | 36   |
| 2.1.5 Ley Media Calculada .....                                               | 44   |
| 2.1.6 Volumen Total Calculado.....                                            | 49   |
| 2.2 Definición de Términos. ....                                              | 53   |
| CAPÍTULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....                           | 55   |
| 3.1 Tipo de Investigación.....                                                | 55   |

|       |                                                                   |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2   | Nivel de Investigación.....                                       | 55  |
| 3.3   | Métodos de Trabajo.....                                           | 55  |
| 3.4   | Tipo de Diseño. ....                                              | 56  |
| 3.5   | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. ....             | 57  |
| 3.6   | Técnicas e Instrumentos de Análisis y Procesamiento de Datos..... | 57  |
| 3.7   | Etapas de Intervención del Estudio. ....                          | 58  |
| 3.8   | Desarrollo del Proyecto. ....                                     | 59  |
| 3.8.1 | Depósitos Sedimentarios de Baja Potencia .....                    | 59  |
| 3.8.2 | Moldeamiento Geológico .....                                      | 61  |
| 3.8.3 | Modelo de Bloques .....                                           | 68  |
| 3.8.4 | Ley Media Calculada .....                                         | 70  |
| 3.8.5 | Volumen total calculado.....                                      | 71  |
| 3.8.6 | Valorización de un Depósito Mineral.....                          | 72  |
|       | CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION .....                 | 83  |
| 4.1   | Resultados de la Investigación .....                              | 83  |
| 4.2   | Estadística Descriptiva de las Variables .....                    | 84  |
| 4.3   | Prueba de Normalidad.....                                         | 85  |
| 4.4   | Contrastación de Hipótesis - Prueba de Hipótesis.....             | 86  |
| 4.4.1 | Para Modelos Variable Z .....                                     | 86  |
| 4.4.2 | Para Modelos Fully .....                                          | 86  |
| 4.5   | Discusión de Resultados .....                                     | 87  |
| 4.5.1 | Para Modelos Variable Z .....                                     | 89  |
| 4.5.2 | Para Modelos Fully .....                                          | 92  |
|       | CONCLUSIONES.....                                                 | 95  |
|       | RECOMENDACIONES.....                                              | 96  |
|       | BIBLIOGRAFIA.....                                                 | 97  |
|       | ANEXOS.....                                                       | 104 |
|       | Anexo 1: Matriz de Consistencia.....                              | 104 |
|       | Anexo 2 Matriz de Operacionalización de Variables.....            | 105 |
|       | Anexo 3 Recuperación Metalúrgica .....                            | 107 |
|       | Anexo 4 Análisis Variografico .....                               | 108 |
|       | Anexo 5 Modelos de Bloques Variable Z y Fully.....                | 111 |
|       | Anexo 6 Fases de Minado .....                                     | 122 |
|       | Anexo 7 Cálculos de Valor Presente Neto.....                      | 123 |
|       | Anexo 8 Otros.....                                                | 130 |
|       | Anexo 9 Curriculum Vite .....                                     | 131 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA PARA MODELAMIENTO.....         | 26 |
| FIGURA 2 SECUENCIA DE PASOS PERFORACIÓN-SUPERFICIE-SOLIDO .....  | 29 |
| FIGURA 3 MODELADO PERFORACIÓN-SUPERFICIE-SOLIDO.....             | 30 |
| FIGURA 4 MODELO DE BLOQUES.....                                  | 31 |
| FIGURA 5 UBICACIÓN DE BLOQUES .....                              | 32 |
| FIGURA 6 SETEO DE MODELO DE BLOQUES REGULAR.....                 | 32 |
| FIGURA 7 SETEO DE MODELO IRREGULAR FULLY SUB BLOKED .....        | 33 |
| FIGURA 8 SUBCELDA MODELO IRREGULAR FULLY SUB BLOKED .....        | 34 |
| FIGURA 9 SETEO DE MODELO IRREGULAR VARIABLE Z.....               | 35 |
| FIGURA 10 SUBCELDA MODELO IRREGULAR VARIABLE Z .....             | 35 |
| FIGURA 11 SECCIÓN PARA LERCHS GROSSMAN .....                     | 38 |
| FIGURA 12 MODELO DE BLOQUES DE UN YACIMIENTO .....               | 39 |
| FIGURA 13 CALCULO DE VOLUMEN .....                               | 50 |
| FIGURA 14 PROYECCIÓN DE $\Delta A'B'C'$ .....                    | 51 |
| FIGURA 15 PROYECCIÓN DE VÉRTICES .....                           | 51 |
| FIGURA 16 VERSIFICACIÓN SI EL PUNTO ES DELAUNAY.....             | 52 |
| FIGURA 17 VOLÚMENES USANDO DIFERENTES A .....                    | 53 |
| FIGURA 18 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE DEPÓSITOS DE SECHURA .....   | 61 |
| FIGURA 19 UBICACIÓN DE PERFORACIONES Y ÁREA MODELADA .....       | 62 |
| FIGURA 20 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA Y CONSTRUCCIÓN DE MODELO..... | 65 |
| FIGURA 21 VISTA ISOMÉTRICA Y SECCIÓN DEL MODELO.....             | 65 |
| FIGURA 22 BENEFICIO ACUMULADO.....                               | 73 |
| FIGURA 23 BENEFICIO PARCIAL.....                                 | 74 |
| FIGURA 24 PIT FINAL ESTIMADO.....                                | 75 |
| FIGURA 25 SECCIONES MINERALIZADAS Y ENVOLVENTES ECONÓMICAS ..... | 75 |
| FIGURA 26 DISEÑO DEL PIT FINAL .....                             | 76 |
| FIGURA 27 SOLIDO DE PIT FINAL .....                              | 77 |
| FIGURA 28 FASES DE MINADO.....                                   | 78 |
| FIGURA 29 PLAN DE MINADO LOM.....                                | 79 |
| FIGURA 30 VISTA ISOMÉTRICA PLAN DE MINA LOM.....                 | 80 |
| FIGURA 31 MODELOS VARIABLE Z VOLUMEN .....                       | 90 |
| FIGURA 32 MODELOS VARIABLE Z LEY MEDIA .....                     | 91 |
| FIGURA 33 MODELOS VARIABLE Z VPN .....                           | 91 |
| FIGURA 34 MODELOS FULLY VOLUMEN .....                            | 93 |
| FIGURA 35 MODELOS FULLY LEY MEDIA .....                          | 93 |
| FIGURA 36 MODELOS VARIABLE Z VPN .....                           | 94 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1 <i>UBICACIÓN</i> .....                                      | 62 |
| TABLA 2 <i>NUMERO DE MUESTRAS</i> .....                             | 63 |
| TABLA 3 <i>LITOLOGÍA Y COMPOSICIÓN</i> .....                        | 64 |
| TABLA 4 <i>VOLÚMENES ESTIMADOS POR MODELAMIENTO</i> .....           | 66 |
| TABLA 5 <i>EDA DE MUESTRAS</i> .....                                | 66 |
| TABLA 6 <i>EDA DE COMPÓSITOS</i> .....                              | 67 |
| TABLA 7 <i>ANÁLISIS VARIOGRÁFICO</i> .....                          | 67 |
| TABLA 8 <i>ANÁLISIS DE VECINDAD DE KRIGING</i> .....                | 68 |
| TABLA 9 <i>MODELOS DE BLOQUES VARIABLE Z</i> .....                  | 69 |
| TABLA 10 <i>MODELOS DE BLOQUES FULLY</i> .....                      | 69 |
| TABLA 11 <i>LEY MEDIA ESTIMADA PARA MODELOS VARIABLE Z</i> .....    | 70 |
| TABLA 12 <i>LEY MEDIA ESTIMADA PARA MODELOS FULLY</i> .....         | 70 |
| TABLA 13 <i>VOLUMEN ESTIMADO PARA MODELOS VARIABLE Z</i> .....      | 71 |
| TABLA 14 <i>VOLUMEN ESTIMADO PARA MODELOS FULLY</i> .....           | 71 |
| TABLA 15 <i>COSTOS DE OPERACIONES</i> .....                         | 72 |
| TABLA 16 <i>LEY DE CORTE MARGINAL Y ECONÓMICA</i> .....             | 73 |
| TABLA 17 <i>CALCULO DEL WAAC USANDO CAPM</i> .....                  | 81 |
| TABLA 18 <i>VALOR PRESENTE NETO PARA MODELOS VARIABLE Z</i> .....   | 82 |
| TABLA 19 <i>VALOR PRESENTE NETO PARA MODELOS FULLY</i> .....        | 82 |
| TABLA 20 <i>RESULTADOS PARA MODELOS VARIABLE Z</i> .....            | 83 |
| TABLA 21 <i>RESULTADOS PARA MODELOS FULLY</i> .....                 | 83 |
| TABLA 22 <i>ESTADÍSTICAS PARA MODELOS VARIABLE Z</i> .....          | 84 |
| TABLA 23 <i>ESTADÍSTICAS PARA MODELOS FULLY</i> .....               | 84 |
| TABLA 24 <i>PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA MODELOS VARIABLE Z</i> ..... | 85 |
| TABLA 25 <i>PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA MODELOS FULLY</i> .....      | 86 |
| TABLA 26 <i>CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN VARIABLE Z</i> .....      | 86 |
| TABLA 27 <i>CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN FULLY</i> .....           | 87 |

## RESUMEN

En Perú, se destacan dos yacimientos significativos, el Yacimiento de Bayovar y el Proyecto Mantaro, que no solo poseen un potencial considerable para la producción de roca fosfórica, sino que también son fundamentales para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico del país y del mundo (Zegarra & Canales, 2012).

La presente investigación se enfoca en la evaluación de modelos de bloques para mejorar la estimación del Valor Presente Neto (VPN), la ley media y el volumen de los depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia. Este tipo de depósitos representan un desafío en términos de modelamiento y estimación de variables como volumen, ley media y valor presente neto, debido a las características intrínsecas de su formación.

El objetivo general de esta investigación es determinar la influencia del modelo de bloques en el valor presente neto (VPN), la ley media y el volumen de los depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

Se determinó que para modelos de bloques Variable Z con distancias entre muestras de 100m y como tamaño máximo de bloque de 100m y altura fija, al disminuir el tamaño de bloque no influye significativamente en el volumen, ley media y valor presente neto con valores de  $p > 0.05$ . Para los modelos de bloques Fully con tamaños de bloques de 15m y altura variable, existe una correlación fuerte positiva entre el Volumen y el VPN ( $\rho = 0.883$ ,  $p = 0.002$ ). Sin embargo, no influye significativamente en la ley media, ya que las correlaciones con el volumen ( $\rho = -0.467$ ,  $p = 0.205$ ) y con el VPN ( $\rho = -0.183$ ,  $p = 0.637$ ) no son estadísticamente significativas.

Dadas las condiciones geológicas y la información disponible, es crucial elegir un modelo de bloques que se ajuste a las características de los depósitos de fosfatos de baja potencia

Palabras Claves: Modelo de bloques, valor presente neto (VPN), Ley Media, Volumen, Sedimentarios, Baja Potencia, Fosfatos

## **ABSTRACT**

In Peru, two significant deposits stand out: the Bayovar Deposit and the Mantaro Project, which not only have considerable potential for the production of phosphate rock but are also fundamental for food security and the economic development of the country and the world (Zegarra & Canales, 2012).

This research focuses on the evaluation of block models to improve the estimation of Net Present Value (NPV), average grade, and volume of low-grade phosphate sedimentary deposits. These types of deposits represent a challenge in terms of modeling and estimating variables such as volume, average grade, and net present value due to the intrinsic characteristics of their formation.

The general objective of this research is to determine the influence of the block model on the net present value (NPV), average grade, and volume of low-grade phosphate sedimentary deposits.

It was determined that for Variable Z block models with sample distances of 100m and a maximum block size of 100m and fixed height, reducing the block size does not significantly influence the volume, average grade, and net present value with p-values > 0.05. For Fully block models with block sizes of 15m and variable height, there is a strong positive correlation between Volume and NPV ( $\rho = 0.883$ ,  $p = 0.002$ ). However, it does not significantly influence the average grade, as the correlations with volume ( $\rho = -0.467$ ,  $p = 0.205$ ) and with NPV ( $\rho = -0.183$ ,  $p = 0.637$ ) are not statistically significant.

Given the geological conditions and the available information, it is crucial to choose a block model that fits the characteristics of low-grade phosphate deposits.

Keywords: Block model, net present value (NPV), Average Grade, Volume, Sedimentary, Low Grade, Phosphates

## INTRODUCCION

La minería es un sector crucial para el desarrollo económico de muchos países, y la correcta valorización de los recursos minerales es fundamental para su sostenibilidad. En este contexto, el modelo de bloques se presenta como una herramienta clave para la estimación de reservas minerales, especialmente en depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia. Este modelo permite representar de manera precisa la geometría y las propiedades de los depósitos, facilitando así la estimación del volumen total, la ley media y el valor presente neto (VPN) de los recursos. La correcta aplicación de este modelo es esencial para la toma de decisiones informadas en la industria minera.

Los depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia son un recurso natural importante, pero su evaluación presenta desafíos significativos debido a su tamaño reducido y la complejidad de sus estructuras geológicas. La investigación se motiva por la creciente demanda de fosfatos en diversas industrias, como la agricultura y la producción de fertilizantes. A pesar de la relevancia del tema, existe una necesidad de profundizar en la aplicación específica del modelo de bloques en estos depósitos, lo que resalta la originalidad de esta investigación. La correcta estimación de variables como el valor presente neto (VPN), la ley media y el volumen es crucial para determinar la viabilidad económica de los proyectos mineros.

El objetivo general de este estudio fue determinar la influencia del modelo de bloques en la estimación del volumen, la ley media y el valor presente neto (VPN) de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia. Para alcanzar este objetivo, se plantean varios objetivos específicos. Primero, se determinará el efecto del modelo en la estimación del volumen total de los depósitos, fundamental para la planificación de la explotación. Segundo, se evaluará cómo el modelo de bloques impacta en el cálculo de la ley media, que se refiere a la concentración promedio de mineral en el depósito. Por último, se analizará la influencia del modelo en la estimación del VPN, que refleja la rentabilidad de un proyecto minero considerando los flujos de caja futuros descontados.

La metodología de la investigación se llevó considerando un enfoque cuantitativo y descriptivo, utilizando técnicas de recolección de datos que incluyen la revisión de la literatura y el desarrollo de modelos de bloques específicos para el depósito en estudio. Se aplicó normas internacionales y manuales técnicos reconocidos en la industria para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. Esta etapa es crucial, ya que permitió recopilar información sobre las diferentes técnicas utilizadas para estimar las variables de interés.

A través de estas evaluaciones, se espera generar mejoras en la precisión de las estimaciones y su impacto en la toma de decisiones en la industria minera. La investigación no solo busca contribuir al conocimiento académico, sino también ofrecer herramientas prácticas que mejoren la eficiencia y sostenibilidad en la explotación de recursos minerales. Los hallazgos obtenidos en cada una de las etapas de la investigación se presentan de manera clara y estructurada, comenzando con una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el modelo de bloques y su aplicación en la minería.

Finalmente, se presentan los resultados basados en los hallazgos de la investigación, contribuyendo así al conocimiento y la práctica en el campo de la minería. La correcta aplicación del modelo de bloques puede ser un factor determinante en la valorización de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia, lo que a su vez puede influir en la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos mineros en el futuro.

## **CAPÍTULO I. GENERALIDADES**

### **1.1 Planteamiento del Problema.**

Los depósitos estratiformes de fosfatos de baja ley en el Perú presentan retos importantes para su caracterización geológica y estimación de recursos minerales, dado sus espesores reducidos, geometrías irregulares y variabilidad lateral y vertical en parámetros clave como ley de  $P_2O_5$ , potencia mineralizada y distribución de facies. Con frecuencia, en etapas tempranas, la industria construye modelos tabulares 2D con métodos geométricos simplificados asumiendo uniformidad de características. Si bien esto puede ser apropiado al inicio, conforme se avanza en los estudios, se requiere aplicar técnicas más robustas de modelamiento 3D que capturen adecuadamente la variabilidad del yacimiento para reducir las incertidumbres.

En este contexto, el modelamiento de bloques constituye una alternativa que permite estimar de forma más representativa tonelajes, leyes medias y distribución espacial de recursos y reservas en comparación con metodologías simplificadas. No obstante, no siempre existe claridad sobre el impacto cuantitativo de aplicar estas técnicas avanzadas respecto al aumento del conocimiento geológico, así como en métricas claves para la factibilidad económica preliminar como valor presente neto, tasa interna de retorno, relación estéril/mineral e ingresos y costos proyectados.

De ahí que esta investigación plantea determinar la influencia específica de utilizar modelamiento geológico 3D de bloques sobre los indicadores volumen y ley en el contexto de la valorización económica inicial de este tipo de proyectos fosfáticos de baja ley. La solución a esta problemática constituiría un aporte práctico para la industria en términos de comprender mejor los efectos derivados de incorporar mayor detalle sobre la geología del depósito mediante técnicas tridimensionales avanzadas.

Adicionalmente, en el Perú una estimación más precisa de los recursos de los depósitos fosfáticos sedimentarios de baja ley resulta clave para mejorar la planificación de su explotación y determinar la factibilidad técnico-económica. En ese sentido, la

presente investigación contribuirá a adoptar mejores prácticas de modelamiento, reduciendo incertidumbres, lo cual tendrá un impacto positivo para el sector minero nacional.

### ***1.1.1 Identificación y Descripción del Problema de Estudio.***

#### **1.1.1.1 A nivel internacional**

Los fosfatos son elementos esenciales para la vida en la Tierra. Los fosfatos se utilizan en la agricultura, la industria y los procesos químicos. El fósforo en forma de fosfato es uno de los macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Nitrógeno-Fósforo-Potasio). Durante mucho tiempo, los agricultores se han preocupado únicamente por los fertilizantes nitrogenados para aumentar sus cultivos, pero con el avance de la investigación agrícola, se deben tomar en cuenta todos los nutrientes (Ahmed et al., 2023).

El problema de los modelos de bloques para depósitos minerales se manifiesta en la incapacidad de generar una estimación única que sea precisa tanto a nivel local como global, dado que, las correcciones de soporte pueden diferir significativamente, lo que lleva a discrepancias en las estimaciones de recursos. La variabilidad e inadecuación de los datos, como la orientación no óptima de los pozos de perforación y la calidad de los ensayos, contribuyen a subestimar o sobreestimar los recursos disponibles, el modelo de bloques aunque útil para entender mejor la incertidumbre geológica, es considerablemente más laborioso y no siempre se traduce en diseños efectivos para la planificación minera, dejando a los ingenieros con modelos que pueden no reflejar adecuadamente la realidad del yacimiento (Poniewierski, 2019).

#### **1.1.1.2 A nivel nacional**

En el Perú, se han identificado dos grandes yacimientos de fosfatos de clase mundial, el Yacimiento de Bayovar en la costa norte y el Proyecto Mantaro en los Andes Centrales. El Yacimiento de Bayovar cuenta con reservas minerales probadas de 816 millones de toneladas de concentrados de roca fosfática, con potenciales estimados en 10,000 millones de toneladas. Por otro lado, el Proyecto Mantaro presenta una

mineralización en la Formación Aramachay con un potencial inferido de 2 mil millones de toneladas. (Zegarra & Canales, 2012).

La selección inapropiada del tamaño del modelo de bloques en la estimación de recursos minerales puede llevar a discrepancias significativas en tonelajes y leyes, impactando negativamente en la reconciliación de resultados, limitando la identificación de la variabilidad geológica y facies, generando costos operativos elevados por decisiones de minado ineficientes y, en última instancia, comprometiendo la viabilidad económica de los proyectos mineros al afectar la representación precisa de los recursos disponibles (Maldonado & Mayorga, 2022).

### **1.1.2 Antecedentes de la Investigación.**

#### **1.1.2.1 Antecedentes internacionales**

Según (Altinpinar, 2021) en su tesis de maestría "Synthetic High-Resolution Ore Deposit Model and Mine Plan" destaca la importancia del desarrollo de un modelo de bloque sintético de alta resolución para representar de manera realista y exhaustiva un depósito mineral de pórfido de cobre. Este modelo se planteó como una herramienta fundamental para simular decisiones mineras a lo largo de la cadena de valor, permitiendo la comparación de las decisiones de estimación y planificación con los datos reales del modelo. En el estudio incluyó la asignación de información geológica, geoquímica y propiedades geometalúrgicas a cada nodo en el modelo de bloque sintético de alta resolución, con un total de 128 millones de nodos validados en términos de estadísticas globales y relaciones univariadas y bivariadas. Se demostró que el modelo permitió simular decisiones mineras a lo largo de la cadena de valor, brindando una base sólida para la evaluación y comparación de metodologías avanzadas de planificación minera. Se encontraron diferencias significativas entre el modelo estimado del depósito mineral, lo cual puede influir en aspectos financieros y ambientales del proyecto. Se encontró que el contenido total de metal incluido en la suma de las reservas probadas y probables del modelo estimado es un 11.7% menor que el contenido de metal incluido en el caso, La ley

de Cu del modelo generalmente es más alto que el del modelo estimado. para el caso de alta ley es 1.0%, el contenido de metal. Resaltaron la importancia de la precisión en la estimación de reservas y en la planificación minera, ya que pueden tener implicaciones significativas en la viabilidad económica y operativa de un proyecto minero.

Según (Temizyürek, 2023) en su tesis de maestría "A Predictive Model Using Local Block Data for Dilution Control in Open Pit Mining", analizó el impacto de la dilución en la rentabilidad y los costos operativos de las actividades mineras, identificar posibles discrepancias entre el diseño y las operaciones reales debido a la dilución, y desarrollar un modelo predictivo que pueda ayudar a controlar la dilución en operaciones mineras a cielo abierto. Involucraron la preparación y aplicación de la dilución. En la fase de preparación, se integran los datos de entrada del usuario y se realizan cálculos esenciales, como determinar las dimensiones de los bloques, calcular la masa total y el volumen de cada bloque, así como estimar la masa de metal y la ley de corte marginal. En la aplicación de la dilución, se escanea el modelo 3D y se realizan transferencias de masa para cada condición. Se mostro una reducción del 15% en la dilución y un aumento del 20% en la rentabilidad en comparación con métodos tradicionales de control de dilución en minería a cielo abierto. La implementación de un modelo predictivo basado en datos de bloques locales puede ser una herramienta valiosa para controlar la dilución en operaciones mineras a cielo abierto, lo que podría conducir a una mejora significativa en la rentabilidad y la eficiencia operativa. Se destaca la importancia de considerar las condiciones específicas de cada yacimiento para optimizar el control de dilución y se recomienda realizar estudios adicionales para validar y mejorar el modelo propuesto.

Según (Aristien, 2022) en su tesis de maestría "Production schedule optimization using linear programming concept in Minesight 3D for a multi-pit coal mine in Indonesia" Resalto la importancia del modelo de bloques en 3D. El estudio se basó en un enfoque que empleó bloques de tamaño regular en todas las direcciones, lo que permitió aplicar el concepto de optimización del tajo final. Esta metodología facilitó la identificación de los

bloques a extraer y la selección de retrocesos mediante ajustes en los precios del carbón para lograr incrementos adecuados en los volúmenes entre fases. Al asignar un porcentaje de carbón a cada bloque como factor crítico para calcular su economía, se logró desarrollar tajos finales que determinaron qué bloques extraer, lo que a su vez permitió la generación de un programa de producción utilizando un algoritmo de programación lineal para maximizar el Valor Presente Neto (VPN). Este enfoque también consideró diversas restricciones operativas, como la capacidad de producción de carbón, la secuencia de niveles y fases, y las limitaciones de volumen de estériles, con el propósito de equilibrar los volúmenes de producción a lo largo de los años. Se demostró que, al implementar la programación de producción optimizada, se logró mantener la cantidad de reservas de carbón dentro del límite del tajo final, lo que resultó en un aumento del 64% en las reservas de carbón en todas las áreas mineras. Este incremento en las reservas de carbón condujo a una extensión en la vida útil de la mina y a un aumento significativo de US\$571 millones en el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto en su totalidad. Asimismo, esta optimización condujo a una notable tasa de retorno incremental del 17.5%.

Según (Deutsch M. , 2023) en su tesis de Doctorado "Open-Pit Mine Planning with Operational Constraints" destacó la importancia de diseñar minas a cielo abierto de manera responsable, sostenible y económica para el desarrollo de los recursos naturales de la tierra. Los métodos tradicionales de optimización en la planificación minera no solían considerar restricciones operativas, como los mínimos anchos de explotación o de retroceso, lo que podía resultar en diseños poco realistas y difíciles de implementar. En ese contexto, la investigación desarrolló técnicas para incorporar esas restricciones operativas en la planificación de minas a cielo abierto, lo que permitió a los ingenieros convertir de manera más precisa los recursos minerales en reservas minerales y evaluar mejor la viabilidad económica de los proyectos mineros a cielo abierto. Para abordar ese desafío y ofrecer herramientas que fueran utilizables en conjuntos de datos tridimensionales del mundo real, se requirió un enfoque teóricamente fundamentado y

computacionalmente sólido. Se presento dos contribuciones significativas: una implementación eficiente del algoritmo de pseudoflujo para el problema de la "ultimate pit" y una formulación y metodología para el problema de "ultimate pit" con restricciones de ancho de explotación mínimo. Estos avances permitieron resolver modelos con millones de bloques en un tiempo considerablemente menor y calcular resultados de alta calidad para modelos de bloques grandes en un tiempo razonable.

En el artículo "Block Model Knowledge for Mining Engineers – An Introduction" de (Poniewierski, 2019), se abordó de manera exhaustiva la importancia crítica de que los ingenieros mineros adquieran un profundo entendimiento de los modelos de bloques utilizados en la industria minera. Se resalto la necesidad de dedicar tiempo a comprender a fondo estos modelos, lo que puede implicar solicitar informes detallados de los geólogos responsables, examinar la estructura de los datos presentes en el modelo y evaluar la relevancia de cada campo para las tareas de planificación minera. Este enfoque proactivo en la comprensión de los modelos de bloques se presenta como un paso fundamental para garantizar una planificación minera precisa y eficiente. Los modelos de bloques están directamente relacionados con la calidad de los datos geológicos subyacentes. Se subraya la importancia de que los ingenieros mineros no solo sean capaces de utilizar estos modelos en sus tareas diarias, sino que también comprendan cómo se generan y en qué medida se basan en la información geológica disponible. Hace hincapié en la necesidad de que los profesionales de la minería sean críticos y reflexivos en cuanto a la calidad y pertinencia de los modelos de bloques que utilizan en sus actividades diarias. Se advierte sobre los posibles errores que pueden surgir de una falta de comprensión de estos modelos y se destaca la importancia de seguir ampliando los conocimientos en estimación de recursos para mejorar continuamente las prácticas de planificación minera. En un entorno minero en constante evolución, la adquisición y aplicación de un sólido conocimiento sobre modelos de bloques se presenta como un factor clave para el éxito y la sostenibilidad de las operaciones mineras.

### **1.1.2.2 Antecedentes nacionales**

Según (Cáceres, 2022) en su tesis de maestría "Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de bloques en el yacimiento Pampacancha, Constanca - Perú", se analizó el contenido geoquímico de sondajes diamantinos mediante la revisión de distribución y tendencias de los datos para optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha. Asimismo, se determinaron los dominios geoquímicos mediante el modelamiento de cuerpos con características similares con el fin de optimizar el modelo de bloques. Además, se llevó a cabo la estimación del modelo de bloques utilizando los dominios geoquímicos identificados para optimizar el modelo del yacimiento Pampacancha. Se recolectaron datos en un solo momento para evaluar la geoquímica en su contexto natural y su incidencia en la optimización del modelo de bloques. El estudio demostró que, mediante la evaluación geoquímica, el análisis de la distribución y tendencia del contenido geoquímico en sondajes diamantinos, la determinación de dominios geoquímicos, y la utilización de estos dominios en la estimación, se logró optimizar el modelo de bloques. La actualización y mejora del modelo de bloques del yacimiento, considerando la inclusión adecuada de elementos como el oro, la plata y el molibdeno, así como la correcta modelación de elementos contaminantes como el zinc y el plomo. Durante la evaluación geoquímica de los valores de los sondajes diamantinos en el yacimiento, se identificaron dominios y subdominios que se utilizaron en la estimación de elementos en el modelo de bloques. Se logró una optimización en la reconciliación, con mejoras del 2% para el cobre, 16% para el zinc, 13% para el oro, 3% para el plomo y 1% para la plata, durante una evaluación de 8 meses de producción.

Según (Mariscal , 2022) en su tesis de maestría "Gestión para la predicción de recursos y reservas de un yacimiento minero, utilizando programaciones en Matlab", se realizó el análisis variográfico y los ajustes según algún modelo, se construyó y modeló el kriging para obtener resultados cuantitativos de tonelajes y leyes promedio de Cu, Au de cada bloque, se predijeron los recursos del yacimiento clasificándolos como medidos,

indicados e inferidos según (Diehl & David, 1982), se representó la ley de corte mínima con el apoyo de una hoja de cálculo, se estimaron las reservas probadas y probables del yacimiento con sus respectivas leyes de Cu y Au utilizando los criterios de clasificación de reservas (Diehl & David, 1982), se realizó un comparativo entre los resultados obtenidos con Matlab y el software comercial MinePlan 3D, y se generó la curva tonelaje vs ley. Los resultados presentaron una variación menor al 5% en comparación con los resultados generados por el software comercial MinePlan 3D, lo que sugiere un nivel de confianza aceptable para su aplicación en la industria minera.

Según (Vila, 2023), en su tesis de maestría "Uso de la reconciliación para reducir la incertidumbre de la ley en la estimación de recursos minerales en la Mina San Rafael", se encontró que existían procesos que se acomodaban muy bien en la estimación de recursos minerales de un determinado yacimiento, los cuales reducían la incertidumbre de las leyes que fueron identificadas en la reconciliación de las leyes. Además, se demostró un sinceramiento de las leyes a medida que se tenía más información de muestreo geológico. También se identificó que, mediante un flujo de caja, los beneficios económicos entre un escenario de recurso estimado (sin mejoras en la estimación) y otro escenario de recurso estimado (con mejoras en la estimación). Se demostró que las leyes (con mejoras en la estimación) eran más altas que las leyes (sin mejoras en la estimación), y la evidencia de esta demostración fue que las leyes (con mejoras en la estimación) eran mucho más similares a las leyes reales extraídas.

Se evidenció que las leyes estimadas, ajustadas mediante las nuevas metodologías, mostraron una mayor similitud con las leyes reales extraídas, con una variación del 6% entre las leyes sin mejoras y las leyes con mejoras, y una variación del 7% entre las leyes con mejoras y las leyes reales. Además, al realizar un análisis de flujo de caja con dos escenarios, se demostró un beneficio económico de \$30 millones en el Valor Actual Neto al utilizar las leyes con mejoras en la estimación, destacando así la importancia de implementar prácticas de reconciliación efectivas en la industria minera.

En su artículo "Influencia y efectos de la dimensión espacial del soporte en la estimación de recursos minerales", (Maldonado & Mayorga, 2022) compararon dos modelos de bloques de distinto soporte, creados a partir de la misma data, con los mismos criterios de estimación, para reconocer la diferencia entre ambos y los datos reales de producción, concluyendo que en esa escala no se observaba una variación significativa. Se utilizó una metodología que incluyó el análisis variográfico para determinar los parámetros de búsqueda, ajustando el elipsoide de estimación de acuerdo a las direcciones y alcances de los variogramas obtenidos en el Exploratory Data Analysis (EDA). Se construyeron variogramas separados para cada dominio geoestadístico identificado, lo que permitió obtener diferentes alcances, pepitas y umbrales para cada dominio. El estudio mostro que al cambiar el soporte, la media se mantuvo constante, pero se observó una variación del 1.5% en el tonelaje de mineral con una ley superior al 0.30% de Cu para el periodo planificado. Además, se identificó que un bloque más pequeño presentaba una varianza de 0.0026 y una desviación estándar mayor de 0.0513 en comparación con el soporte anterior. En cuanto a la reconciliación de los modelos de bloques, se encontró que un modelo de 20x20x15 presentaba 3,483,659 toneladas métricas (TM) de mineral con 0.5040% de Cu, mientras que un modelo de 10x10x15 mostraba 3,483,390 TM con 0.5038% de Cu, siendo la diferencia mínima. Estos resultados sugirieron la conveniencia de replicar el ejercicio en otro rango de tiempo para validar la consistencia de los hallazgos.

### **1.1.3 Formulación del Problema**

#### **1.1.3.1 Formulación del problema general**

¿En qué medida del modelo de bloques influye en el valor presente neto, ley media y volumen de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?

### **1.1.3.2 Formulación de los problemas específicos**

- ¿Cuál es efecto modelo de bloques en la estimación valor presente neto, inversiones, ingresos, egresos de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?
- ¿De qué manera influye el modelo de bloques en la ley media calculada de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?
- ¿Cómo afecta el modelo de bloques en el volumen total calculado de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?

## **1.2 Justificación y Alcances.**

### **1.2.1 Justificación**

La investigación planteada tiene como objetivo evaluar la influencia del modelo de bloques en el valor presente neto, ley media y volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

Los depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia son un recurso natural importante para la industria minera. Estos depósitos suelen ser difíciles de evaluar debido a su tamaño reducido y a la complejidad de sus estructuras.

El uso del modelo de bloques puede ayudar a mejorar la precisión del valor presente neto, ley media y volumen de estos depósitos. El modelo permite representar la geometría y las propiedades de los depósitos de forma precisa, lo que es fundamental para una estimación precisa de los recursos minerales.

### **1.2.2 Alcances**

La investigación propuesta se centrará en un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia en Perú, específicamente en el departamento de Piura, en la provincia de Sechura. Las características geológicas de este tipo de depósitos permitirán la implementación de modelos de bloques para analizar el valor presente neto, la ley media y el volumen.

La base de datos geológica y cálculos realizados en la investigación se encuentran en los enlaces [MG CP SET 2024.aproj\\_data](#) y [MinePlan](#).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Evaluar si existe una influencia significativa del modelo de bloques en la estimación del valor presente neto, ley media y volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Cuantificar el efecto del modelo de bloques en la estimación de valor presente neto inversiones, ingresos y egresos de un depósito sedimentario de fosfatos de baja.
- Analizar la influencia del modelo de bloques en el cálculo de la ley media de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.
- Conocer cómo afecta el modelo de bloques en el cálculo del volumen total de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

### **1.4 Hipótesis y Variables.**

#### **1.4.1 Hipótesis General**

$H_0$ : El modelo de bloques no influye significativamente en el valor presente neto, ley media y volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

#### **1.4.2 Hipótesis Específicas**

$H_1$ : El modelo de bloques influye significativamente en el valor presente neto de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

$H_2$ : El modelo de bloques influye significativamente en la ley media de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

$H_3$ : El modelo de bloques influye significativamente en el volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.

### **1.4.3 Variables**

Variable independiente: Modelo de bloques

Variable dependiente : Valor presente neto de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia

Variable dependiente : Ley media de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia

Variable dependiente : Volumen de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

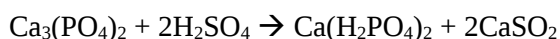
### 2.1 Bases Teóricas.

#### 2.1.1 Fosfatos Como Fertilizantes

Los ortofosfatos,  $\text{PO}_4^{3-}$ , se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, sobre todo en forma de apatita y en depósitos de fosforita, una roca sedimentaria no detrítica que contiene altas cantidades de minerales fosfatados diversos que pueden incluir tanto productos de alteración de diversos minerales fosfóricos como restos de animales o de excrementos de aves (Medenbach & Sussieck-Formefeld, 1983).

Según (De Boer et al., 2019) el fertilizante de fosfato mineral que se encuentra en la naturaleza, básicamente fosfato tricálcico  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , al ser muy poco soluble en agua es de difícil asimilación por las plantas.

En consecuencia, en la formulación de fertilizantes, los fosfatos naturales obtenidos de los depósitos geológicos son convertidos en otras formas de fosfato de mayor solubilidad, como el dihidrógeno fosfato de calcio, proceso en el que se utiliza ácidos minerales fuertes, como ácido sulfúrico.



La mezcla resultante recibe el nombre de superfosfato de cal y como el sulfato de calcio que le acompaña no tiene efectos fertilizantes, actuando como materia inerte, en los procesos modernos de producción de fertilizantes fosforados, el ácido sulfúrico se sustituye por ácido fosfórico obteniéndose el fertilizante denominado superfosfato triple.



#### 2.1.2 Moldeamiento Geológico de Depósitos Sedimentarios de Baja Potencia

En sistemas sedimentarios recientes, la forma geométrica de cada unidad estratigráfica es relativamente simple y regular ya que no está intersecada con fallas, juntas u otras estructuras de fractura. La estratigrafía puede clasificarse como estratos "completos" o "faltantes" en términos de su integridad y características de distribución espacial (Zhu et al., 2006).

Un estrato completo es aquel que se distribuye continuamente en el área de estudio, por lo tanto, su interfaz superior o inferior es una curva completa superficie sin ningún "agujero vacío". Por el contrario, un estrato faltante es uno que distribuye discontinuamente en un área de estudio determinada, por lo tanto, su parte superior o inferior se compone de una superficie curva continua con uno o más "agujeros vacíos", o una combinación de múltiples superficies curvas continuas desconectadas.

Los estratos faltantes en los sistemas sedimentarios también son clasificados en tres tipos diferentes: Tipo 1, Tipo 2 o Tipo 3, dependiendo de sus configuraciones estratigráficas y características de estructura (Zhu et al., 2011).

**Tipo 1:** Este tipo de estrato faltante es comúnmente inducido por la no deposición. Es decir, en un área determinada, no hay sedimento en el tiempo. En general, el estrato faltante del Tipo 1 deriva del proceso geológico endógeno de la tierra, por lo que los límites geométricos del estrato faltante están controlados por la superficie superior del estrato subyacente.

**Tipo 2:** Este tipo de estrato faltante es comúnmente inducido por la erosión. Es decir, en un área determinada, la sedimentación histórica había ocurrido alguna vez, pero se erosionó por completo antes de la deposición del estrato suprayacente. El estrato faltante del Tipo 2 generalmente se deriva de procesos geológicos exógenos, como la erosión fluvial y la denudación por intemperie, por lo que sus límites geométricos están controlados por la superficie inferior del estrato suprayacente.

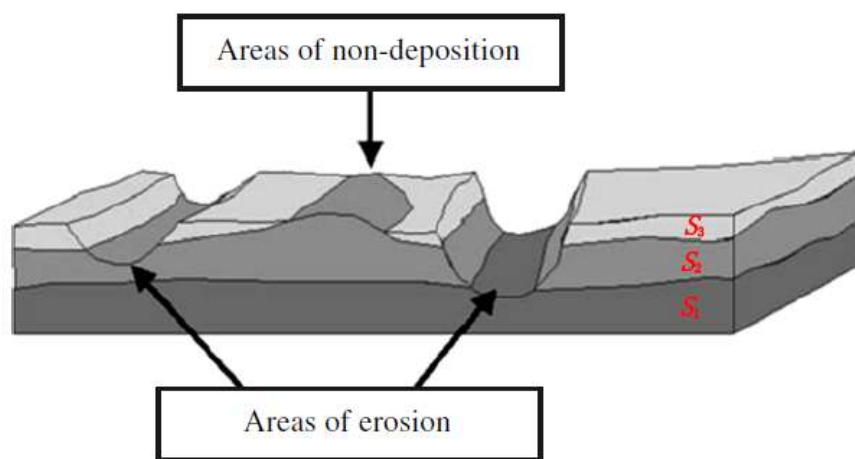
**Tipo 3:** Este tipo de estrato faltante es inducido por la superposición, y/o el compuesto, de la no deposición y la erosión. Los límites geométricos del estrato faltante de Tipo 3 están controlados tanto por la superficie inferior del estrato suprayacente como por la superficie superior del estrato subyacente.

Un sistema sedimentario típico con un conjunto de unidades estratigráficas se ilustra en la Figura 1 (Turner, 2006).

En este caso, S1, el estrato más bajo, es un estrato completo. S2 es el estrato medio, es un estrato faltante del Tipo 2 ya que sus áreas faltantes son inducidas por la erosión, y sus límites geométricos están controlados por la superficie inferior del estrato suprayacente; y S3, el estrato más alto, es un estrato faltante del Tipo 3 ya que sus áreas faltantes son parcialmente inducidas por la no deposición y en parte inducidas por la erosión.

### Figura 1

*Secuencia estratigráfica para modelamiento*



*Nota.* Tomado de (Turner, 2006)

#### 2.1.2.1 Metodología de modelado de multicapa.

La característica dominante de un sistema sedimentario es la secuencial y apilamiento regular de estratos sedimentarios y sus interfaces Turner (2006). Aunque metodologías para la descripción y modelado de un depósito sedimentario en 3D ha sido desarrollado y explorado hace muchos años, el paso más importante de estas técnicas sigue siendo definir y simular las superficies superior e inferior de cada estrato. En los últimos años, la técnica de modelado multicapa ha sido investigado por varias personas como método práctico para construir sistemas sedimentarios estratigráficos 3D. (He et al., 2002).

Es imposible construir estratos faltantes de Tipo 3 solo utilizando los algoritmos existentes y los datos de las perforaciones. Con el fin de construir estratos faltantes geológicamente razonables en áreas complicadas, se debe agregar un gran número de secciones transversales o pozos como datos de control adicionales. Lemon & Jones (2003), Zhang et al. (2006). Hasta la fecha, no existe un algoritmo que se base en multicapa para completar y manejar todo tipo de estratos faltantes en el modelado geológico 3D.

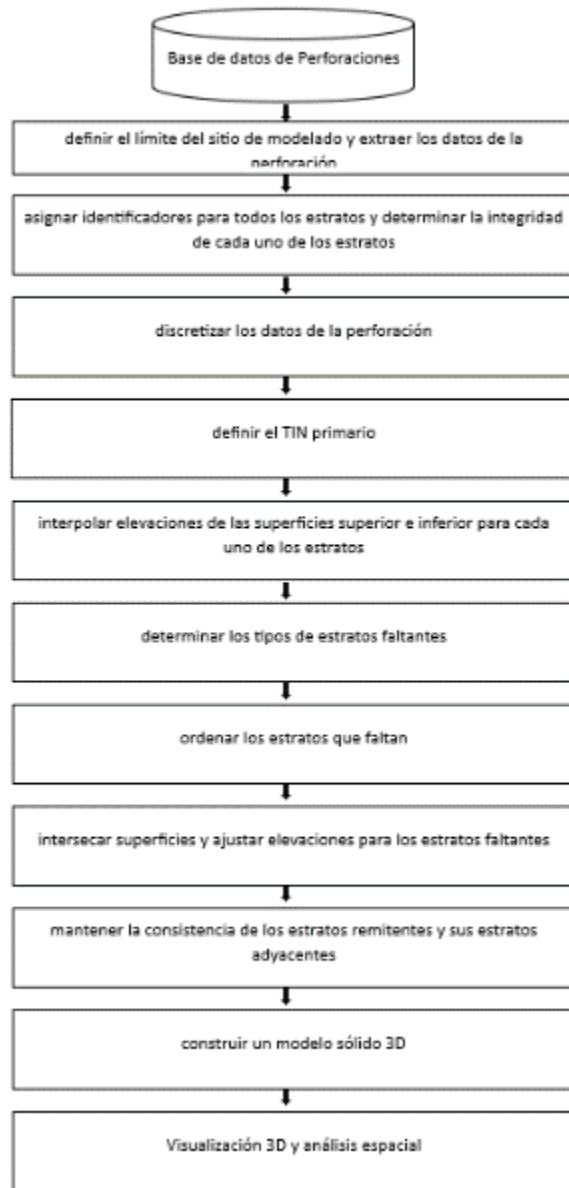
Basado en la técnica multicapa, se presenta un método novedoso, llamado método Perforación-Superficie-Sólido, para modelar sistemas sedimentarios en 3D, que no solo maneja de manera efectiva los estratos faltantes de Tipo 1 y Tipo 2, sino que también maneja automáticamente los estratos faltantes de Tipo 3 simultáneamente. El método Perforación-Superficie-Sólido utiliza primero la estructura de datos topológicos Zhu & Wu (2005), Zhang et al. (2006) para discretizar los datos de las perforaciones en una serie de puntos de dispersión, luego interpola las elevaciones iniciales de las superficies superior e inferior para cada estrato, y deduce automáticamente la génesis de los estratos faltantes. Posteriormente, de acuerdo con diferentes génesis geológicas, la intersección de superficies, el ajuste de elevaciones y el procesamiento de consistencia en las superficies de los estratos faltantes y sus superficies de control se realizan automáticamente.

Finalmente, se construye el modelo sólido lleno de bloques 3D o mallas de prisma triangular. El método Perforación-Superficie-Sólido supera las limitaciones de los métodos de modelado existentes y permite la construcción rápida de un modelo geológicamente razonable directamente utilizando datos de las perforaciones, este método tiene un mayor nivel de proceso automático y una mayor adaptabilidad.

#### **2.1.2.2 Modelado con en el método perforación-Superficie-Sólido**

El método Perforación-Superficie-Sólido se basa en los métodos de modelado geológico recientes Lemon & Jones (2003), Zhu L. et al. (2004) pero se diferencia de los métodos anteriores ya que consideramos los ajustes geológicos de los estratos faltantes

durante el proceso de modelado. Zhang y et al. (2006), el método Perforación-Superficie-Solido se puede realizar utilizando una forma automática y directa que hace que las formas de los estratos faltantes se controlen de manera efectiva solo con datos de pozo. Como muestra la Figura 2 este método implica 11 pasos.

**Figura 2***Secuencia de pasos perforación-superficie-sólido*

*Nota.* Tomado de (Zhu et al., 2011)

Los pasos a seguir para completar el método Perforación-Superficie-Sólido son:

Paso 1: definir el límite del sitio de modelado y extraer los datos de la perforación

Paso 2: asignar identificadores para todos los estratos y determinar la integridad de cada uno de los estratos

Paso 3: discretizar los datos de la perforación

Paso 4: definir el TIN primario

Paso 5: interpolar elevaciones de las superficies superior e inferior para cada uno de los estratos

Paso 6: determinar los tipos de estratos faltantes

Paso 7: ordenar los estratos que faltan

Paso 8: intersecar superficies y ajustar elevaciones para los estratos faltantes

Paso 9: mantener la consistencia de los estratos remitentes y sus estratos adyacentes

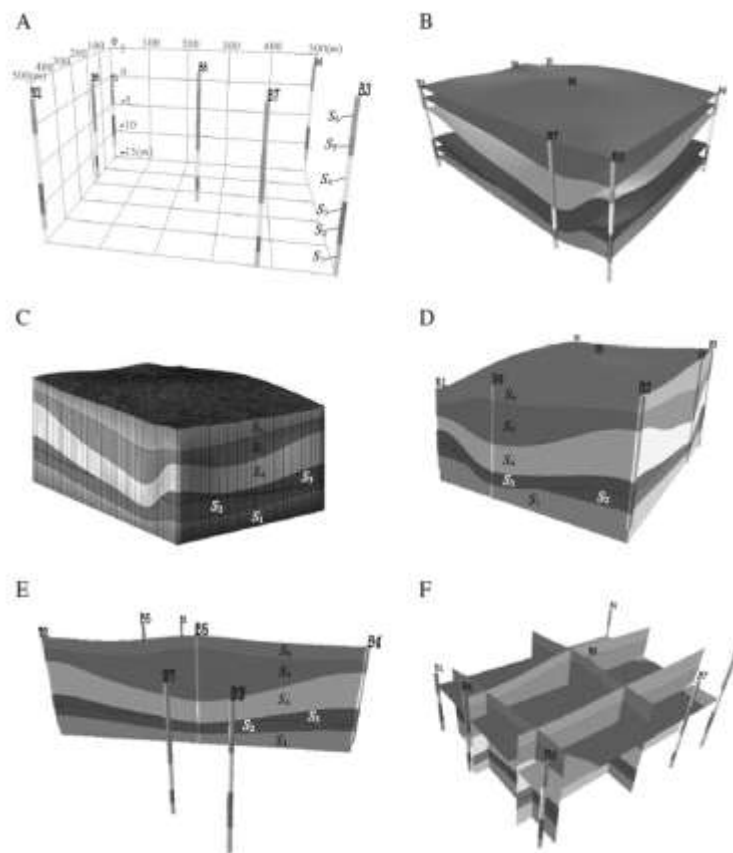
Paso 10: construir un modelo sólido 3D

Paso 11: Visualización 3D y análisis espacial

Como resultado se muestran en la secuencia Figura 3 el resultado de las diferentes etapas de modelado.

### Figura 3

*Modelado perforación-superficie-sólido*



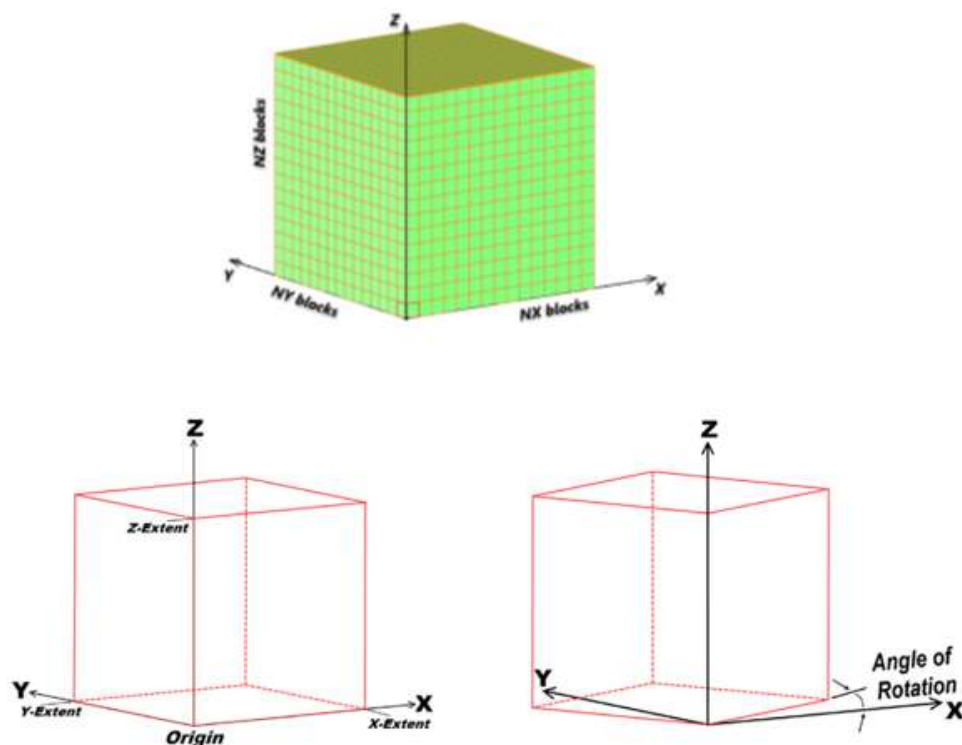
*Nota.* Tomado de (Zhu et al., 2011)

### 2.1.3 Modelo de Bloques

Los modelos de bloques Figura 4 , son creados para representar la geología y las características de las rocas de los depósitos minerales representan enormes conjuntos de datos complejos, que forman la base de la planificación estratégica y comercial y de los informes públicos de los recursos y las reservas minerales (Forster et al., 2023).

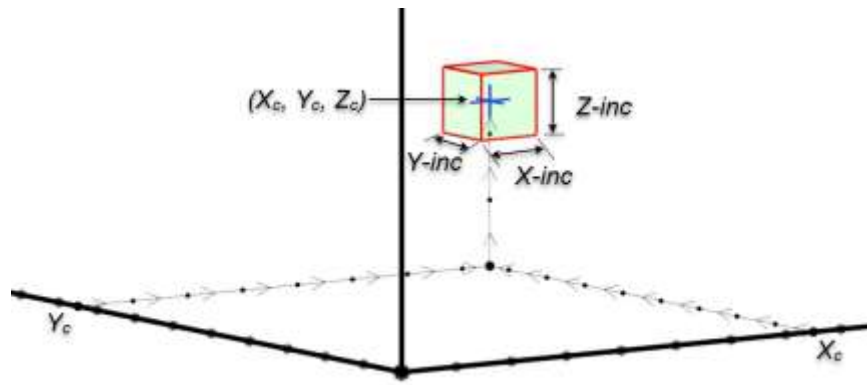
**Figura 4**

*Modelo de bloques*



*Nota.* Tomado de (Poniewierski, 2019)

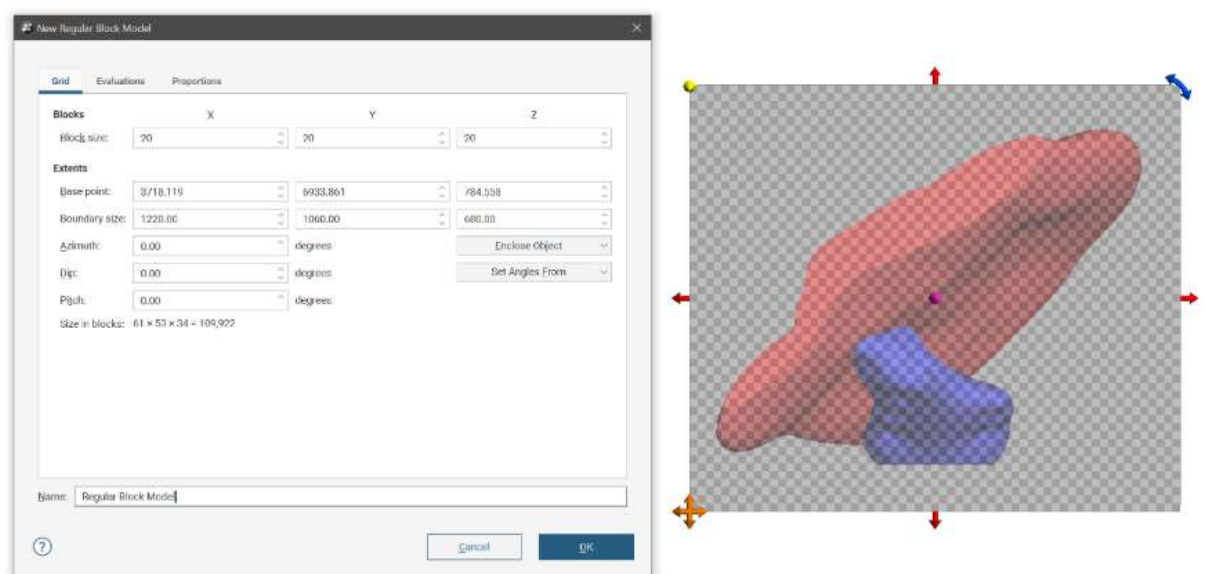
Dentro de este marco hay bloques individuales, todos con una longitud designada (incremento X), ancho (incremento Y) y altura (incremento Z). La posición del bloque puede estar definida por un centroide ( $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$ ) o un origen de bloque ( $X_{min}$ ,  $Y_{min}$ ,  $Z_{min}$ ) cómo se colocan los bloques en el origen Figura 5, hay dos opciones, el primero "bloque de origen" a lo largo de los ejes que es el más común, y el segundo "bloque en el centroide" que tiene su centroide ubicado en el origen (Poniewierski, 2019).

**Figura 5***Ubicación de bloques*

*Nota.* Tomado de (Poniewierski, 2019)

### 2.1.3.1 Modelo de bloques regular

La mayoría de los procesos actuales de diseño y programación de tajos abiertos comienzan con un bloque geológico, modelo obtenido dividiendo el depósito en una cuadrícula tridimensional de bloques de tamaño fijo, como se muestra en la Figura 6 Las dimensiones del bloque se seleccionan de acuerdo con el patrón de perforación de exploración, geología del yacimiento y tamaño del equipo minero (Osanloo et al., 2008).

**Figura 6***Seteo de Modelo de bloques regular*

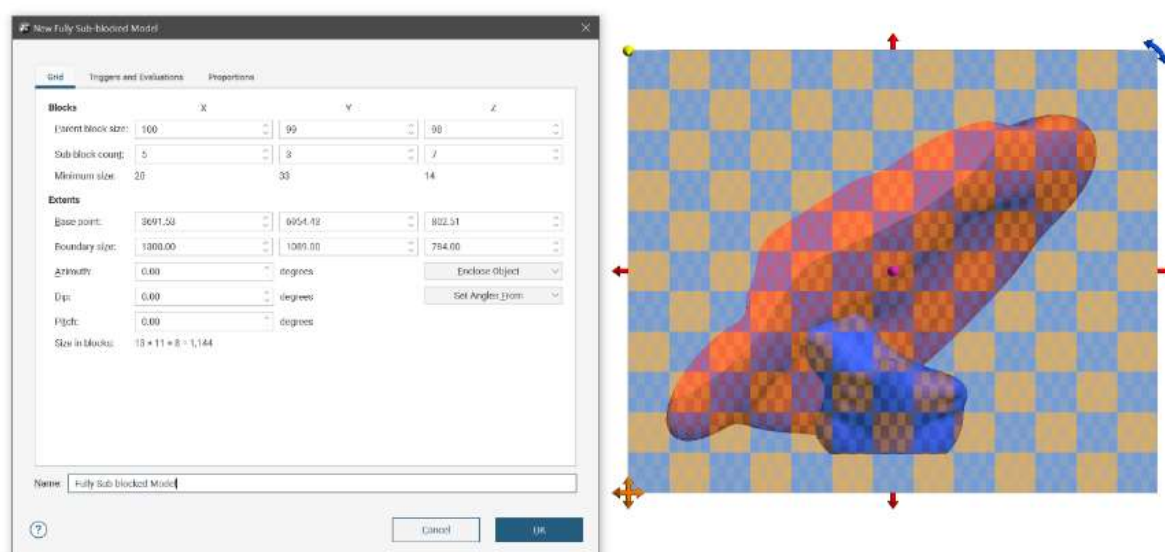
*Nota.* Tomado de (Seequent, 2023)

### 2.1.3.2 Modelo de bloques irregular Fully Sub Bloked

El Modelo de bloques Irregular Fully Sub Bloked representa un avance significativo en la precisión de modelado de bloques. Cuando un bloque contiene un límite de activación, se sub-divide completamente, lo que permite una representación más precisa de las geometrías complejas, adaptándose mejor a las variaciones geológicas Figura 7, sin embargo, esta precisión tiene un costo, el gran número de sub-bloques creados puede ralentizar el procesamiento, además, no admite sub-bloques de altura variable ni el uso de mallas abiertas como desencadenantes, lo que puede requerir ajustes en los flujos de trabajo existentes. A pesar de estas limitaciones, su capacidad para capturar detalles finos lo convierte en una herramienta valiosa para modelar depósitos con geometrías intrincadas (Seequent, 2023).

**Figura 7**

*Seteo de Modelo Irregular Fully Sub Bloked*



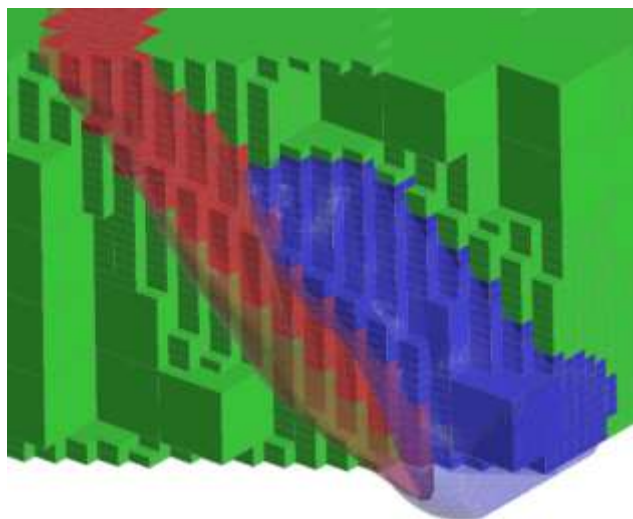
*Nota.* Tomado de (Seequent, 2023)

El modelo Irregular Fully Sub Bloked Figura 8, permite una adaptación precisa a las superficies geológicas desencadenantes. El patrón cuadrículado ayuda a visualizar cómo se dividirán los bloques padres, mostrando el cambio dinámico de tamaño completo a sub-

bloques cuando intersectan límites geológicos, una capacidad que hace que este modelo sea excepcionalmente adecuado para geometrías complejas (Seequent, 2023).

**Figura 8**

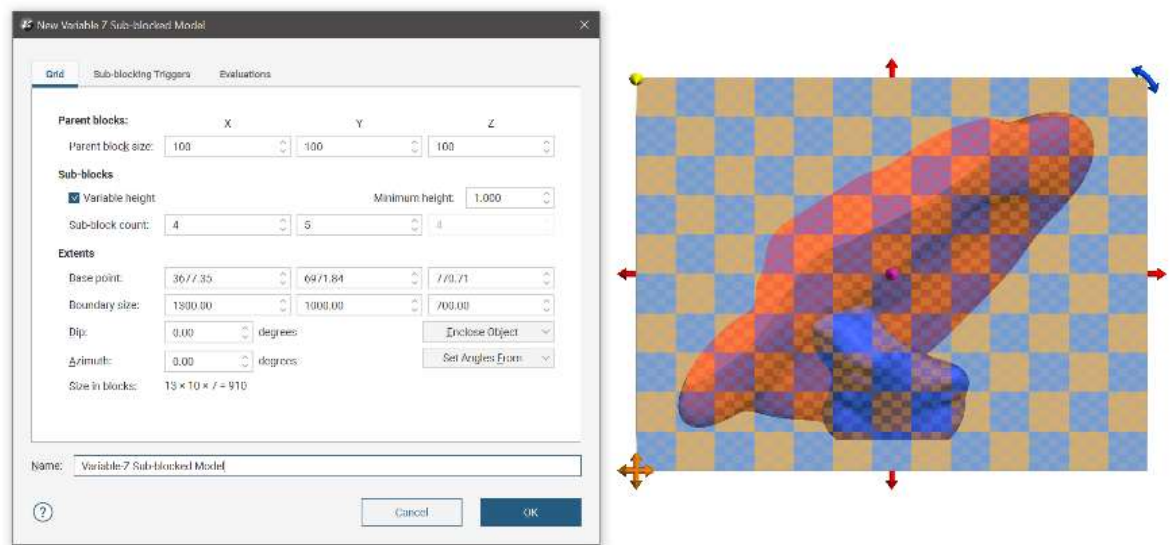
*Subceldas Modelo Irregular Fully Sub Bloked*



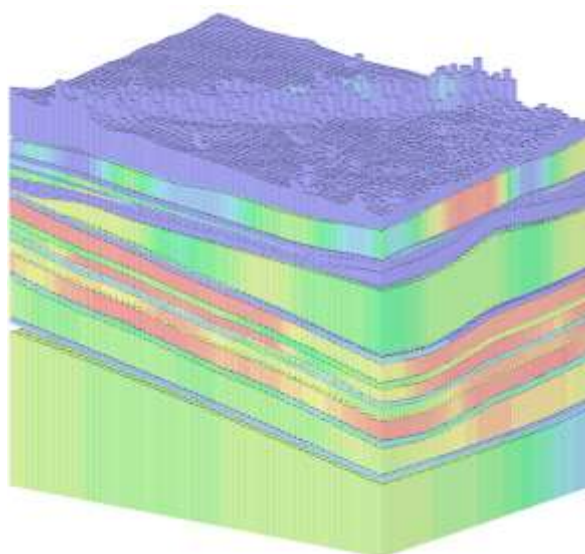
*Nota.* Tomado de (Seequent, 2023)

### **2.1.3.3 Modelo de bloques irregular Variable Z**

El Modelo de bloques Irregular Variable Z, está diseñado específicamente para modelar depósitos estratificados como vetas de carbón, lignito u otros minerales que ocurren en capas. Este modelo mantiene una cuadrícula uniforme en el plano horizontal (X e Y), lo que facilita la planificación de la mina y la estimación de recursos Figura 9. Sin embargo, su verdadera innovación radica en la dirección Z (vertical), donde el tamaño de los sub-bloques se ajusta dinámicamente para seguir con exactitud los límites de cada capa. Esta característica única permite representar fielmente las variaciones de espesor dentro de una veta, capturando adelgazamientos, engrosamientos y ondulaciones, aspectos críticos en depósitos estratificados. Aunque no admite la opción de rebanada 2D, su capacidad para modelar con precisión la geometría de las capas (Seequent, 2023).

**Figura 9***Seteo de Modelo Irregular Variable Z**Nota. Tomado de (Seequent, 2023)*

Los sub-bloques tienen un tamaño regular y están colocados en el plano X-Y, pero la altura Z de los sub-bloques no es regular en tamaño ni en ubicación. La altura de un bloque no se divide en múltiples sub-bloques, sino que un solo bloque puede tener cualquier altura entre 0 y la altura total del bloque Figura 10 (Seequent, 2023).

**Figura 10***Subceldas Modelo Irregular Variable Z**Nota. Tomado de (Seequent, 2023)*

## **2.1.4 Ley de Corte y Valorización de un Depósito Mineral**

### **2.1.4.1 Ley de corte**

Hay muchas teorías sobre la determinación la ley de corte optima, pero la mayoría de las investigaciones recientes muestran que determinar la ley de corte optima con el tema de maximizar el valor presente neto es un método más confiable que otros métodos Minnitt (2004), Osanloo & Ataei (2003), Osanloo et al. (2008), Para determinar la ley de corte optima los minerales deben extraerse para que maximicen el valor presente neto de la operación. Según Tatiya (1996) Se deben considerar varias cuestiones al determinar la ley de corte optima: la ley de corte varía con el tiempo, la distribución de la ley varía en diferentes partes de la mina y la ley de corte tiene una naturaleza de aleatoriedad (Ahmadi, 2018). Uno de los métodos más utilizados para determinar la ley de corte óptima es maximizar el beneficio neto o el valor presente neto del algoritmo de Lane (1964). Este algoritmo es ahora también el más utilizado para determinar la ley corte óptimo de las minas a cielo abierto.

La ley de corte se define como la ley que normalmente se utiliza para discriminar entre mineral y estéril dentro de un depósito determinado, con la ley de corte es el valor que se utiliza para ajustar el flujo de caja proveniente de las operaciones mineras en un año determinado (Andika, 2014).

Para el cálculo de la ley de corte se ha propuesto la formula general de ley de corte marginal y económica, las cuales se especifican a continuación Lane (1964). Definido como el grado de equilibrio que equipara el costo de la minería, molienda y refinación al valor del bloque en términos de metal recuperado y el precio de venta. Cualquier gasto administrativo general que se detendría si se detuviera la minería, debe incluirse en los cálculos de costos.

Ley de Corte Económica

$$LCE = \frac{CM + CP + CS}{R \times (P - S) \times f} \times 100$$

### Ley de Corte Marginal

$$LCM = \frac{CP + CS}{R \times (P - S) \times f} \times 100$$

Donde:

LCE: Ley de Corte Económica (%)

LCM: Ley de Corte Marginal (%)

CM: Costo de Mina (US\$/t húm.)

CP: Costo de Planta (US\$/t húm.)

CS: Costo de Capital de Sostenimiento (US\$/t conc. Húm).

R: Recuperación Metalúrgica (%)

P: Precio de Venta (US\$/t conc. húm.)

S: Costo de Venta (US\$/t conc. húm.)

f: Factor de conversión

#### 2.1.4.2 Diseño del límite final de una mina

La vida de una mina a tajo abierto, se extiende generalmente durante varias décadas, las condiciones de mercado existentes del producto, como es el caso de la oferta y la demanda, no se pueden pronosticar con precisión durante este tipo de extensiones de tiempo. En el último tiempo, se han dado numerosos ejemplos de grandes proyectos mineros nuevos, los cuales se han mantenido almacenados y protegidos antes de introducirlos en el campo de la producción (Calder P. , 2000).

El diseño óptimo de una mina a tajo abierto ha sido, durante mucho tiempo, tema de discusión entre los Ingenieros y aquéllos involucrados en el tema de la evaluación de las propiedades mineras (Calder et al., 1995).

#### 2.1.4.3 Métodos para calcular el límite del tajo.

La teoría fundamental resguardada tras las técnicas tanto de Lerchs Grossman como del Cono Flotante, se refiere a que cada tonelada de mineral extraído deberá pagar su propia extracción. El método de Lerchs Grossman, es un procedimiento de cálculo formal, en tanto que el sistema del Cono Flotante, confía más en la fuerza bruta. Ambos

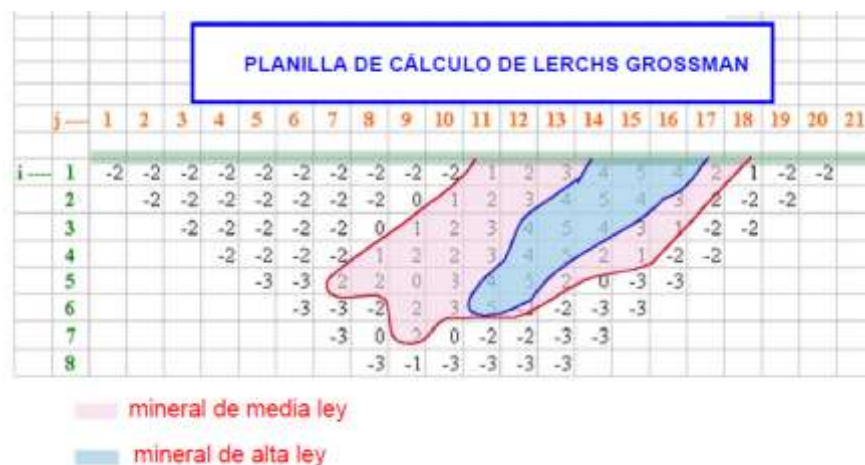
métodos utilizan una aproximación del modelo de bloques de la forma del tajo, y esto induce a cierta imprecisión en ambas técnicas (Calder P. , 2000).

### La Técnica de Lerchs Grossman

Un algoritmo preciso para determinar la ubicación del límite final óptimo del tajo, utilizando un procedimiento de programación dinámica de dos dimensiones, fue desarrollado por Lerchs y Grossman (1965). Esta es una técnica precisa para definir el límite del tajo en una sección transversal de dos dimensiones, por medio de la cual es posible lograr el mayor beneficio posible. Se puede aplicar fácilmente en una planilla de cálculo como la que se presenta en la Figura 11.

**Figura 11**

*Sección para Lerchs Grossman*



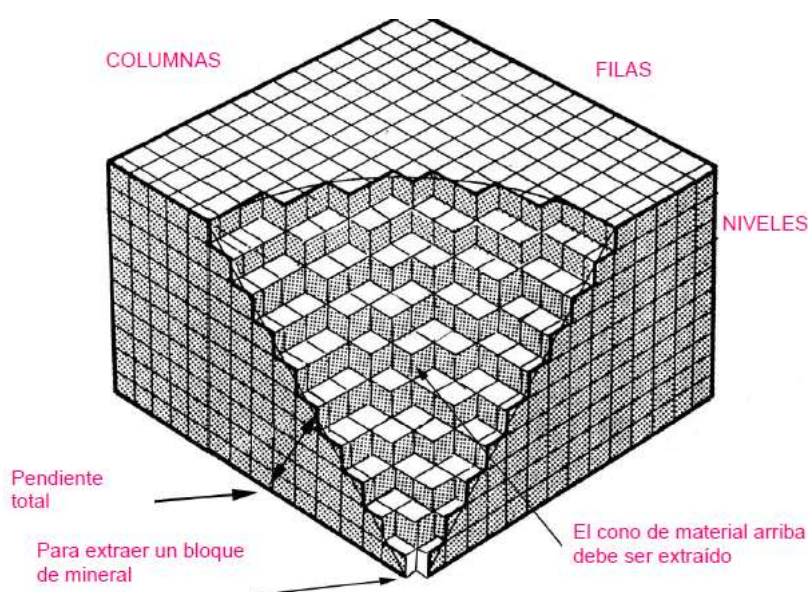
*Nota.* Tomado de (Calder P. , 2000).

La técnica de Lerchs Grossman es un procedimiento matemáticamente correcto y posee ventajas evidentes respecto de los primeros métodos de aproximación utilizados por la industria antes del advenimiento computacional en la planificación y diseño de minas. En particular, se observa el valor de todos los bloques dentro del modelo, no sólo a lo largo del límite. Sin duda, el método descrito anteriormente, tiene las desventajas como de cualquier sistema de dos dimensiones, sin embargo, y por lo general, es posible implementar el sistema de Lerchs Grossman de manera tridimensional.

Para implementar el método en tres dimensiones, comienza a partir de la superficie superior y extraemos todos los bloques de la Figura 12 ubicados en el primer nivel, que sean rentables. Esto, simplemente incluirá la extracción de todos los bloques de mineral, dejando intactos todos los bloques de estéril. Esto es posible, ya que no es necesaria la extracción de estéril para alcanzar el ángulo de la pendiente total durante la extracción del primer banco. Sin embargo, cuando se debe extraer el segundo banco, será necesario extraer algunos bloques de estéril. Entonces, se deberá evaluar si es que un bloque de mineral en particular en el segundo nivel puede pagar la extracción de todos los bloques de estéril en el primer nivel que sean necesarios de extraer (Calder P. , 2000).

**Figura 12**

*Modelo de Bloques de un yacimiento*



*Nota.* Tomado de (Calder P. , 2000)

#### **2.1.4.4 Valorización de un depósito mineral**

La evaluación económica – financiera de una inversión, consiste en expresar en términos monetarios todas las determinaciones hechas en el estudio técnico económico (Baca, 2013). Los factores que se han determinado como, la cantidad de materia prima necesaria, la cantidad de desechos del proceso, la cantidad de mano de obra directa e

indirecta, la cantidad de personal administrativo, número y capacidad de equipos y maquinarias para el proceso, entre otros, ahora se expresarán en forma de inversiones y gastos, para lo cual se comparan flujos de beneficios y costos, lo que permite determinar si es factible realizar un proyecto, es decir si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio (Santos, 2008).

Su objetivo es sistematizar la información de carácter monetario de los estudios anteriores para así determinar la rentabilidad del proyecto. Para esto se utiliza el esquema de los flujos de caja proyectados, para el periodo de tiempo que se considere relevante para la evaluación del proyecto. El flujo de caja debe contener los siguientes elementos: inversión inicial requerida para poner en marcha el proyecto, ingresos y egresos de la operación, momento en que ocurren dichos ingresos y egresos, monto del capital de trabajo y valor de desecho o de salvamento del proyecto (Orejuela & Sandoval, 2002)

Es así que la evaluación o valoración financiera es un proceso financiero cuyo objetivo principal es medir la rentabilidad de un proyecto de inversión, conociendo la inversión inicial (inversión necesaria para que el inicio de operaciones del proyecto) y el beneficio neto esperado (Meza, 2005).

El dinero pierde su valor real con el tiempo aproximadamente a la misma tasa que la inflación actual. Esto significa que el método analítico debe tener en cuenta el cambio en el valor real del dinero a lo largo del tiempo (Baca, 2013).

#### **2.1.4.5 Flujo de caja**

Se define al flujo de caja como un instrumento contable en el que se muestra el dinero que genera la empresa, tanto a través de sus actividades ordinarias como extraordinarias (Mavila & Polar, 2005).

El propósito de implementar y utilizar un modelo de flujo de caja es permitir una investigación detallada de los flujos de efectivo en un periodo de tiempo determinado, que puede ser diario, semanal, mensual, etc., lo que ayuda a los gerentes y directivos de

pequeñas empresas a analizar mejor la información, organizar las finanzas, tener control del dinero y tomar decisiones sobre la economía empresarial. Este modelo muestra el saldo inicial, los ingresos y egresos del dinero con su respectivo saldo final (Rodríguez, 2008).

#### **2.1.4.5.1 Punto de equilibrio**

El punto de equilibrio es importante debido a que permite que las empresas evalúen la rentabilidad de su negocio. El cálculo del punto de equilibrio muestra cuanto debe vender una organización para obtener ganancias. Los ingresos y egresos están a un mismo nivel (Gestión, 2020a).

De acuerdo con (Kampf et al., 2016), en el área de ventas, producción, operaciones y cobranza, es necesario conocer el punto de equilibrio, debido a que puede ayudar con los precios, la gestión de la deuda y otras funciones comerciales. En este sentido, el punto de equilibrio es el punto en el que los ingresos totales de una empresa son iguales a sus costos totales. Esto significa que no hay utilidad o simplemente ésta es 0 (Mazón et al., 2017).

Para obtener el punto de equilibrio se divide los costos fijos entre la diferencia del precio de venta por unidad y el costo de venta por unidad (Gestión, 2020a).

#### **2.1.4.5.2 Valor Presente Neto (VPN)**

También conocido como Valor Actual Neto (VAN), es un criterio para la evaluación de proyectos de inversión que se define como la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. Dicho de otro modo, es la suma actualizada de los flujos netos de cada período (Córdoba, 2011) y mide la deseabilidad del proyecto (Baca, 2013).

Para calcular el Valor Actual Neto se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

$BN_t$ : beneficio neto del flujo en el periodo  $t$ , puede tomar un valor positivo o negativo.

$i$ : tasa de descuento.

$I_0$ : inversión en el año cero.

Según (Fraile et al., 2016) el VAN representa la verdadera contribución económica del proyecto, el cual puede ser positivo, negativo o igual a cero.

- Cuando el proyecto tiene VAN positivo significa que crea valor: otorga un retorno por encima del esperable en una inversión alternativa de riesgo similar (Mete, 2014).
- Cuando el VAN es negativo significa que el proyecto destruye valor con respecto a la inversión alternativa de riesgo similar.
- Cuando el VAN es igual a cero el proyecto muestra el mismo retorno que la alternativa considerada como costo de oportunidad,

#### **2.1.4.5.3 Tasa interna de retorno (TIR)**

Baca (2013) define a la Tasa Interna de Retorno (TIR) como la tasa que mide la rentabilidad correspondiente a un flujo de fondos, y matemáticamente, equivale a la tasa de descuento que, aplicada a un flujo de fondos, genera un VAN igual a cero (Allende et al., 2020), y proporciona una medida relativa de la rentabilidad, por ende, es expresada en tanto por ciento.

La TIR es considerada como la máxima tasa de interés a la que un inversionista estaría dispuesto a pedir prestado dinero para financiar la totalidad del proyecto, pagando con los beneficios la totalidad del capital y de sus intereses, y sin perder un solo centavo (Meza, 2005).

Para el cálculo de la TIR, uno de los métodos más utilizados es el método analítico, el cual parte de la definición de que la TIR es una Tasa de Interés compuesta que hace al VAN igual a cero.

$$VAN = 0 = -p + \frac{FNE_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FNE_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

p= inversión inicial

FNE= Flujos netos de efectivo, ingresos futuros

Según Meza (2005), al utilizar el método de la TIR en la evaluación de proyectos, existen 3 criterios para su aceptación o rechazo:

TIR > Tasa de oportunidad, el proyecto debe aceptarse puesto que, en este caso el inversionista gana más de lo que quería ganar.

TIR = Tasa de oportunidad, es indiferente emprender o no el proyecto de inversión.

TIR < Tasa de oportunidad, el proyecto debe rechazarse debido a que en este caso el inversionista gana menos de lo que quería ganar.

De presentarse dos soluciones reales que satisfagan matemáticamente el problema, se optará por la solución positiva considerando que es la solución con sentido económico real.

#### **2.1.4.5.4 Método costo promedio ponderado de capital**

El WACC se utiliza para evaluar si una empresa está generando suficiente rentabilidad para cubrir el costo de su financiamiento. Es especialmente útil para calcular el valor de los proyectos de inversión y determinar si generarán un retorno superior al costo de capital (Córdoba, 2011).

Calcularemos en WACC como costo medio ponderador del capital. La fórmula del WACC (Costo Promedio Ponderado de Capital) es la siguiente:

$$WACC = (C_e \times W_e) + ((C_d \times W_d) \times (1 - T))$$

Donde:

- $C_e$  costo de capital propio, es decir, el retorno esperado por los accionistas.
- $W_e$  es el peso del capital propio en la estructura de capital (Capital de Mercado de Capital Propio / (Capital de Mercado de Capital Propio + Deuda)).
- $C_d$  es el costo de la deuda, el gasto por intereses requerido por los acreedores.
- $W_d$  es el peso de la deuda en la estructura de capital (Deuda / (Capital de Mercado de Capital Propio + Deuda)).
- $T$  es la tasa impositiva.

#### **2.1.4.5.5 Periodo de recuperación**

El Periodo de Recuperación (PR) de la inversión es comprendido como uno de los criterios tradicionales en la evaluación de proyectos, permite determinar el tiempo que se requerirá para recuperar la inversión inicial neta, es decir, en cuántos años los flujos de efectivo igualarán el monto de la inversión inicial (Sapag & Sapag, 2008).

### **2.1.5 Ley Media Calculada**

#### **2.1.5.1 Análisis exploratorio y preparatorio de datos**

Es fundamental la adecuada selección de los datos válidos, soporte y variables relevantes que serán utilizadas en el estudio. Para conseguir esto, el primer objetivo del estudio exploratorio de datos es analizar de manera gráfica y estadística la cantidad, calidad, tipo, ubicación y distribución de los datos disponibles. Un segundo objetivo que se busca al aplicar las herramientas de análisis exploratorio es diagnosticar la naturaleza (dura o blanda) de las fronteras entre unidades geológicas (Isaaks & Srivastava, 1991).

#### **2.1.5.1.1 Herramientas de análisis espacial**

Estas herramientas son utilizadas para visualizar la ubicación espacial de los datos y tener una idea preliminar de la distribución y continuidad de la variable regionalizada en estudio. También permite verificar si el muestreo es regular, irregular y/o preferencial, cómo también la identificación de muestras mal posicionadas. El tipo de despliegue más utilizado de estas herramientas son las proyecciones en plantas y secciones o vistas en 3D, codificando los datos por colores y por símbolos (Castillo, 2022).

#### **2.1.5.1.2 Desagrupamiento**

Debido a que los sondeos exploratorios están distribuidos en una malla irregular, es conveniente asignar un peso estadístico diferente a cada dato. Para esto se aplica la técnica de desagrupamiento de la base de datos, que consiste en ponderar los datos en función de su grado de aislamiento, es decir, los datos ubicados en las áreas densamente muestreadas (datos agrupados) deben recibir menor ponderación que los datos en áreas menos muestreadas (datos aislados) (Castillo, 2022).

#### **2.1.5.1.3 Análisis de contacto entre dominios o unidades geológicas**

Se debe analizar la frontera entre dominios o unidades geológicas, e identificar si el comportamiento de la variable cambia de forma abrupta o de forma gradual al cruzar la frontera, junto con la correlación existente a una distancia definida, entre un dato del dominio uno y otro dato del dominio dos. Este análisis va a incidir en la decisión de agrupar, separar o definir zonas de transición en las unidades de estimación (Cressie N. , 1993).

#### **2.1.5.2 Variografía**

El análisis variográfico univariable se realiza con el objetivo de describir las principales propiedades de distribución espacial de una variable regionalizada en estudio y el análisis variográfico multivariable se realiza para describir y modelar la dependencia espacial conjunta de una correogionalización, mediante variogramas directos de cada

variable y variogramas cruzados de cada par de variables (Guibal, 2001), (Wackernagel, 2003).

#### **2.1.5.2.1 Variograma experimental**

La forma del variograma muestra características importantes del comportamiento espacial de la variable regionalizada. El cálculo del variograma se realiza a lo largo de una dirección preferencial si la variable evidencia un comportamiento anisotrópico, es decir, posee direcciones preferenciales en cuanto a su continuidad, o se puede calcular en todas las direcciones (variograma omnidireccional) si la variable muestra un comportamiento isotrópico (Cressie & Hawkins, 1980) (Genton, 1998).

#### **2.1.5.2.2 Variograma teórico**

El variograma experimental debe ser modelado, debido a que es calculado solamente para algunas distancias y algunas direcciones del espacio, por lo tanto, se debe ajustar un modelo teórico de variograma. Este modelo teórico de variograma queda definido para todas las distancias y debe ser consistentes en las distintas direcciones, es decir, tener el mismo efecto pepita y el mismo número y tipo de estructuras anidadas (Carrasco, 2010). Para el ajuste manual del modelo de variograma, se debe realizar el ejercicio de prueba y error determinando el efecto pepita, los alcances y mesetas en cada dirección, junto con la cantidad y tipos de modelos que se anidarán para conseguir el mejor ajuste (Cressie N. , 1985), (Gringarten & Deutsch, 2001); (Marchant & Lark, 2004).

#### **2.1.5.3 Método de predicción univariable y multivariable**

##### **2.1.5.3.1 Kriging**

Kriging es un método que busca predecir el valor desconocido de una variable regionalizada en sitios no muestreados del espacio, utilizando los datos disponibles alrededor de este sitio. La predicción consiste en ponderar los datos según su configuración geométrica y distancia con respecto al sitio a predecir, por ejemplo, datos

muy cercanos entre sí contienen información redundante (posibles agrupamientos) y pueden recibir menos ponderación que datos espaciados.

La predicción mediante kriging considera también las características de correlación y continuidad espacial de la variable regionalizada mediante su variograma (Goovaerts, 1997).

#### **2.1.5.4 Análisis cuantitativo de vecindad de kriging (QKNA)**

Para evaluar el rendimiento del kriging, se emplea un conjunto de métricas colectivamente denominadas Análisis Cuantitativo del Vecindario de kriging (QKNA). QKNA abarca la varianza de kriging (KV), la eficiencia de kriging (KE), la eficiencia estadística (SE), la pendiente de la regresión (SR), la magnitud de los pesos negativos (NW) y el peso de kriging simple respecto a la media (WM).

Estas métricas se calculan para cada bloque en un modelo de bloques y cuantifican el rendimiento del kriging considerando los datos disponibles, el variograma y la geometría del bloque (Zahra & Clayton V, 2024).

##### **2.1.5.4.1 Varianza de kriging (KV)**

Es una medida crucial en el proceso de estimación de kriging, representando el error de estimación minimizado. Se define como la diferencia cuadrática esperada entre el valor real y el estimado. Su cálculo involucra valores de covarianza, derivados del variograma, y los pesos asignados a los puntos de datos dentro del vecindario de búsqueda. Una KV baja es deseable y puede lograrse incorporando más datos, estimando bloques más grandes o utilizando kriging simple sin restricciones (Barboza & Deutsch, 2024).

##### **2.1.5.4.2 Eficiencia de kriging (KE)**

Es un parámetro introducido por Krige (Krige, 1996) para evaluar la eficacia de las estimaciones de bloques. Se calcula como la proporción entre la varianza de kriging y la

varianza del bloque. Un KE alto es preferible, ya que indica la presencia de numerosos datos cercanos y un mínimo suavizado en la estimación.

#### **2.1.5.4.3 Eficiencia estadística (SE)**

Es un indicador de cuán cerca está la varianza de estimación minimizada del valor teórico mínimo. Se calcula como la relación entre la varianza de kriging simple global y la varianza de kriging. La SE oscila entre 0 y 1, donde 1 representa la eficiencia ideal. Una SE menor que 1 indica que se están considerando más restricciones en el kriging, como búsquedas restringidas o el uso de kriging ordinario (Deutsch et al., 2014).

#### **2.1.5.4.4 Pendiente de la regresión (SR):**

Es una medida del sesgo condicional en la estimación de kriging. Se calcula teóricamente para cada bloque utilizando valores esperados derivados de covarianzas. Un SR igual a 1 indica insesgamiento condicional local, una característica de las estimaciones de kriging simple. Sin embargo, en la práctica, el SR suele ser menor que 1, lo que sugiere una sobreestimación de los valores altos y una subestimación de los valores bajos. (Barboza & Deutsch, 2024).

#### **2.1.5.4.5 Magnitud de los pesos negativos (NW):**

En kriging son matemáticamente óptimos y apoyan la extrapolación local de tendencias cuando el variograma indica un alto grado de continuidad en la variable regionalizada. Se calculan como el promedio absoluto de la suma de pesos negativos por bloque. Aunque teóricamente óptimos, los NW pueden llevar a problemas prácticos como estimaciones negativas. Generalmente, los NW no presentan problemas siempre que no representen más del 5% del total de los pesos (Barboza & Deutsch, 2024).

#### **2.1.5.4.6 Peso de kriging simple respecto a la media (WM)**

Es un parámetro utilizado en kriging simple para comprender la influencia de la media local en la estimación. Se calcula como el complemento de la suma de los pesos

asignados a cada dato. Un WM grande implica una influencia significativa de la media local en la estimación, resultando en estimaciones más suavizadas. (Rivoirard, 1987).

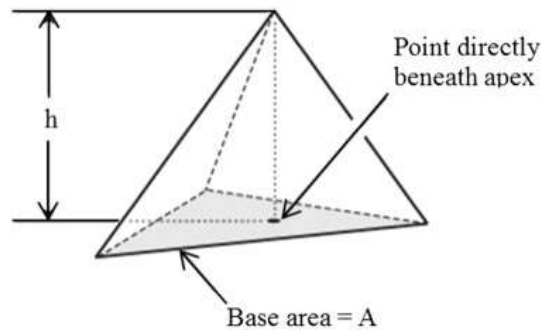
### **2.1.6 Volumen Total Calculado**

La medición del volumen a partir de nubes de puntos 3D es fundamental en aplicaciones como la medición de carbón, donde la precisión y la eficiencia son esenciales. Existen diversas categorías de métodos para el cálculo de volumen, que incluyen métodos empíricos y métodos de envoltura convexa. El método de cálculo de volumen basado en la triangulación de Delaunay (DTVC), que se distingue por su capacidad para manejar nubes de puntos no convexas de manera eficiente. La triangulación de Delaunay se utiliza para generar una malla triangular a partir de los puntos de la nube (Bowyer, 1981) y (Watson, 1981), garantizando que no haya puntos dentro del círculo circunscrito de cada triángulo, lo que optimiza la distribución de los triángulos y mejora la precisión del cálculo. A través de la proyección de los triángulos hacia un plano base, el método DTVC permite calcular el volumen de los pentaedros resultantes de manera directa, evitando la necesidad de almacenar estructuras de malla complejas y reduciendo así el uso de memoria y el tiempo de ejecución (Yong & Yanwei, 2021).

La correlación entre la Triangulación de Delaunay y la forma  $\alpha$  asegura que el borde de la forma  $\alpha$  está dentro de la Triangulación Delaunay (Hansen & Levin, 1992), esta triangulación es única y definida para la descomposición del objeto para que La tetraedralización de un conjunto de puntos cumple el criterio 3D de Delaunay. (Hamoud et al., 2015)

Un tetraedro que tiene seis aristas y cuatro vértices es un poliedro compuesto por cuatro caras triangulares, tres de las cuales se encuentran en cada esquina o vértice como se muestra en la Figura 13. El volumen del tetraedro de base triangular de área A y altura h viene dado por:

$$Volmumen = \frac{1}{3}Ah$$

**Figura 13***Calculo de Volumen*

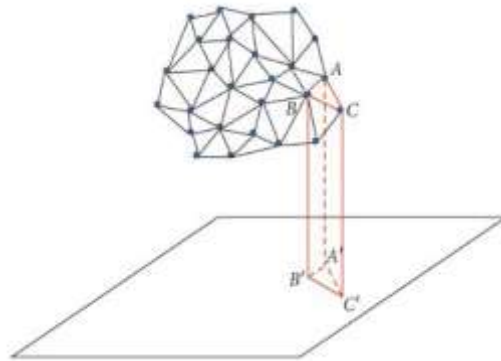
*Nota.* Tomado de (Hansen & Levin, 1992)

El volumen final se puede determinar mediante la suma de todos los volúmenes de los tetraedros dentro de las formas  $\alpha$  calculadas mediante triangulación 3D de Delaunay.

$$Volmumen\ Final = \sum_{i=0}^n V_i$$

donde  $n$  es el número de un tetraedro en la forma  $\alpha$  y  $V$  es el volumen de los tetraedros dentro de las formas  $\alpha$ .

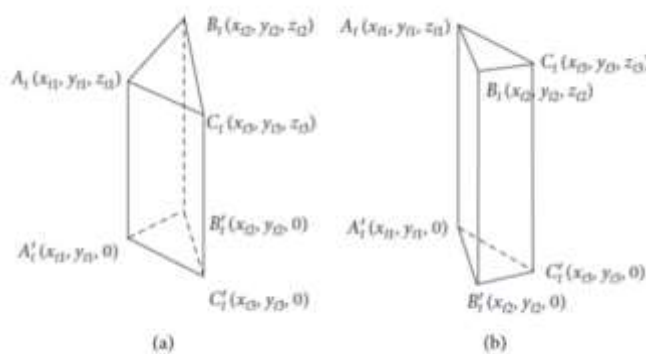
Utilizando el método de triangulación, los puntos de superficie desordenados pueden conectarse para formar una malla triangular, como se muestra en la Figura 14. Elegimos un triángulo  $\triangle ABC$  en la malla triangular y lo proyectamos al plano base para obtener  $\triangle A'B'C'$ . Los triángulos  $\triangle ABC$  y  $\triangle A'B'C'$ , junto con los cuadriláteros  $ABB'A'$ ,  $BCC'B'$  y  $ACC'A'$ , forman un pentaedro, que se llama voxel (Yong & Yanwei, 2021).

**Figura 14***Proyección de  $\triangle A'B'C'$* 

*Nota.* Tomado de (Yong & Yanwei, 2021)

Se requiere la ecuación de la superficie superior del  $\sigma_i$  antes de calcular el volumen utilizando el método integral. Tomando el plano base como el plano  $x, y$ , y con el eje  $z$  apuntando hacia arriba, se establece el sistema de coordenadas (Yong & Yanwei, 2021).

A partir de la reorganización de los vértices  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ , se establece que  $x_{i1} \leq x_{i2} \leq x_{i3}$ . Desde la perspectiva de la dirección positiva del eje  $z$ , el vértice  $i$  puede ubicarse a la derecha o a la izquierda de la línea  $A_i C_i$ , como se ilustra en la Figura 15. Para determinar la orientación de la superficie superior del voxel  $\sigma_i$ , es necesario calcular el vector normal del plano superior, las proyecciones se pueden ver en la Figura 15.

**Figura 15***proyección de vértices*

*Nota.* Tomado de (Yong & Yanwei, 2021)

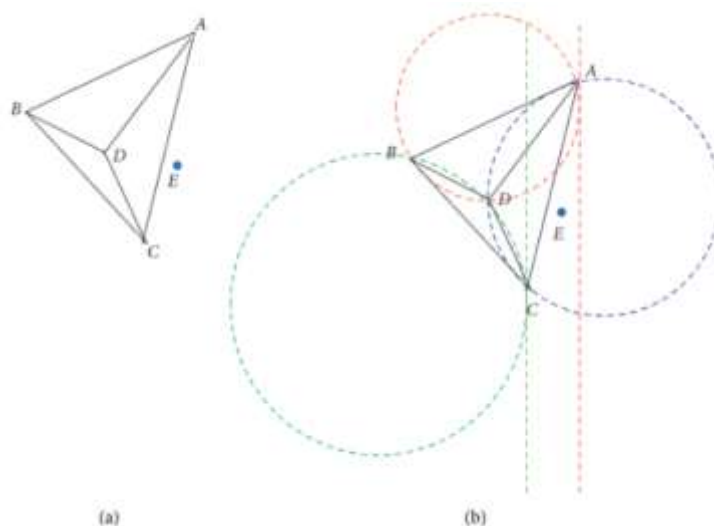
- (a)  $Bi'$  está a la derecha de la línea  $Ai'Ci'$  el plano base.
- (b)  $Bi'$  está a la izquierda de la línea  $Ai'Ci'$  en el plano base.

El enfoque para determinar si un triángulo es un triángulo de Delaunay durante el proceso de triangulación. El algoritmo se basa en la inserción de puntos y la verificación de la propiedad del círculo circunscrito vacío, que establece que un triángulo es de Delaunay si no contiene puntos en el interior de su círculo circunscrito (Lawson, 1977).

El algoritmo permite calcular el volumen proyectado de los pentaedros sin necesidad de almacenar la malla triangular completa, lo que ahorra espacio de almacenamiento y tiempo de cálculo en la práctica. En la Figura 16 cuando se inserta el punto E, se verifica si los triángulos no determinados cumplen con la prueba del círculo circunscrito. Esta prueba determina si el triángulo es un triángulo de Delaunay, asegurando que no haya puntos dentro de su círculo circunscrito

**Figura 16**

*Verificación si el punto es Delaunay*



*Nota.* Tomado de (Yong & Yanwei, 2021)

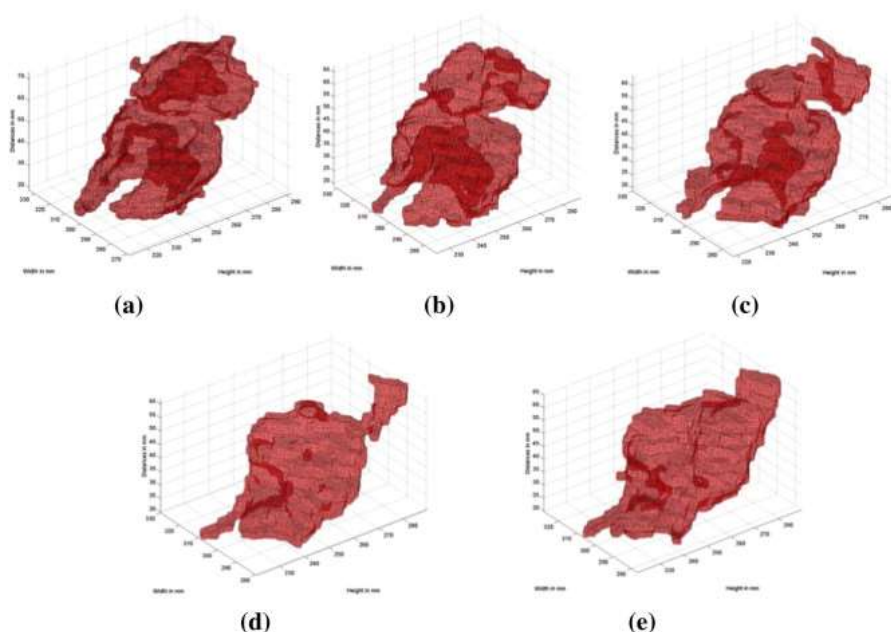
(a) se muestran los triángulos no determinados

(b) se ilustra la prueba del círculo circunscrito

Para el cálculo del volumen se debe considerar que la forma  $\alpha$  puede construir el límite de puntos de manera eficiente sin importar si existen puntos de cascos convexos o cóncavos. Los procedimientos detallados se pueden ver en (Hamoud et al., 2015). se usa mas frecuentemente en la extracción de límites o poliedros de una nube de puntos, pero el método puede detectar límites irrazonables si los puntos están distribuidos de manera desigual Figura 17. Por lo tanto, este método es adecuado para la extracción de límites a partir de conjuntos de puntos distribuidos regularmente y puede revelar límites internos y externos (Fayed & Mouftah, 2009).

**Figura 17**

*Volúmenes usando diferentes  $\alpha$*



*Nota.* Tomado de (Hamoud et al., 2015)

## 2.2 Definición de Términos.

- Mineralización: Concentración anormalmente alta de fosfato no metálico en una roca que posee potencial económico para su extracción minera.

- **Potencia:** Distancia perpendicular entre el techo y el piso de un estrato modelado, comúnmente utilizada para definir el grosor de depósitos sedimentarios y vetas de mineral en la industria minera.
- **Modelamiento:** Proceso de evaluación de datos geológicos, como perforaciones diamantinas, con el objetivo de determinar la configuración geométrica de los minerales en el subsuelo para su representación en modelos tridimensionales.
- **Bloques:** Representación geométrica de dimensiones conocidas que se utiliza para representar la estructura geológica de un yacimiento mineral o cualquier dato espacial en el modelamiento de recursos minerales.
- **Dilución:** Proceso en la minería que se refiere a la mezcla de material estéril con el mineral de interés durante la extracción, lo que puede afectar la ley del mineral recuperado.
- **Reconciliación:** Proceso de comparación y ajuste de los datos obtenidos de diferentes modelos o estimaciones en la minería para verificar su consistencia y precisión.
- **Volumen:** Cantidad de material presente en un depósito mineral, que puede ser calculado mediante técnicas como la triangulación 3D de Delaunay para determinar el volumen total de los tetraedros dentro de una forma geométrica
- **Voxel:** Vértices de un pentaedro formado por una malla triangular

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **3.1 Tipo de Investigación.**

El presente trabajo reúne las condiciones metodológicas de una Investigación Aplicada correlacional cuantitativa de tipo transversal, ya que se buscará la obtención de nuevo conocimiento técnico con aplicación inmediata a un problema determinado, como valorizar un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia en función de los diferentes tipos de modelos de bloques (Orlando, 2006).

### **3.2 Nivel de Investigación.**

El estudio reúne las características de una Investigación Descriptivo Correlacional, puesto que se requiere describir los diferentes tipo y modelos de bloques a evaluar, para posteriormente identificar la influencia que existe entre el modelo de bloques y el valor presente neto (VPN), ley media y volumen de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

### **3.3 Métodos de Trabajo.**

El método deductivo es el más adecuado para esta investigación (Bernal, 2010), porque parte de la teoría de los modelos de bloques para evaluar la influencia de estos modelos en la valorización de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia en Perú

La teoría de los modelos de bloques proporcionara un marco conceptual para entender cómo funcionan los modelos de bloques y cómo pueden utilizarse para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y el valor presente neto.

Para realizar el trabajo de deben completar realizar las siguientes tareas:

**Revisión de la literatura:** revisar la literatura sobre los modelos de bloques para comprender cómo se utilizan estos modelos para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y los costes de explotación.

**Desarrollo de un modelo de bloques:** desarrollar los modelos de bloques para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y el valor presente neto (VPN) del depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia.

**Estimaciones:** Estimar para cada modelo desarrollado el volumen total, la ley media el valor presente neto (VPN) del depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia

### 3.4 Tipo de Diseño.

Según (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, el alcance de la investigación y los recursos disponibles, el diseño de la investigación podría ser el siguiente:

Tipo de investigación

- Investigación cuantitativa

Enfoque

- Correlacional

Diseño

- Transversal

Población

- Depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia en Perú

Muestra

- Un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia en Perú

Técnicas de recolección de datos

- Revisión de la literatura
- Desarrollo de un modelo de bloques
- Estimación de las variables de interés

### Técnicas de análisis de datos

- Análisis descriptivo
- Análisis inferencial
- Etapas de intervención
- Revisión de la literatura
- Desarrollo del modelo de bloques
- Estimación de las variables de interés
- Análisis de los resultados

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

Análisis de datos de exploración o producción: Se van a analizar datos de exploración o producción para identificar la influencia del modelo de bloques en la estimación del volumen total, la ley media y el valor presente neto (VPN). (Bernal, 2010), esta técnica permitirá recopilar datos cuantitativos sobre la influencia del modelo de bloques.

### **3.6 Técnicas e Instrumentos de Análisis y Procesamiento de Datos**

Para determinar cómo influye el modelo de bloques en la estimación de las reservas minerales, el volumen total, el valor presente neto (VPN), el investigador necesita analizar datos sobre las estimaciones realizadas con el modelo de bloques y datos de referencia, como datos de exploración o datos de producción y costos (Perez, 2018).

Las técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos que pueden utilizarse para analizar estos datos son las siguientes:

**Análisis descriptivo:** Para describir las estimaciones realizadas con el modelo de bloques y los datos de referencia.

**Análisis inferencial:** Para evaluar la influencia del modelo de bloques en la estimación de las reservas minerales, el volumen total, la ley media y el valor presente neto (VPN).

### **3.7 Etapas de Intervención del Estudio.**

Según (Arias, 2016), para alcanzar estos objetivos, los investigadores pueden considerar las siguientes etapas de intervención:

1. Revisión de la literatura: Los investigadores pueden revisar la literatura para identificar estudios que hayan utilizado modelos de bloques para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y VPN de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia. Esta etapa permitirá a los investigadores recopilar información sobre las diferentes técnicas que se han utilizado para estimar estas variables.

2. Desarrollo del modelo de bloques: Los investigadores pueden desarrollar los modelos de bloques para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y valor presente neto (VPN) de explotación del depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia. Esta etapa permitirá a los investigadores desarrollar un modelo que sea adecuado para el depósito específico que se está estudiando.

3. Estimación de las variables de interés: Los investigadores pueden utilizar los modelos de bloques desarrollados para estimar las reservas minerales, el volumen total, la ley media y valor presente neto (VPN) del depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia. Esta etapa permitirá a los investigadores obtener datos sobre la influencia del modelo de bloques en la estimación de estas variables.

4. Análisis de los resultados: Los investigadores pueden analizar los resultados obtenidos en la etapa anterior para evaluar la influencia del modelo de bloques en la estimación de las variables de interés. Esta etapa permitirá a los investigadores alcanzar los objetivos específicos de la investigación.

### **3.8 Desarrollo del Proyecto.**

#### **3.8.1 Depósitos Sedimentarios de Baja Potencia**

Los depósitos sedimentarios de baja potencia de Bayovar ubicados al este de Sechura presentan como fosfato pellets en sedimentos marinos de edad miocena. La mayoría de los pellets están concentrados en capas de baja potencia, de 1 a 1.5 metros de espesor, que contienen aproximadamente un 20% de  $P_2O_5$ . Intercaladas con las fosforitas hay capas de diatomita de 3 a 20 metros de espesor, que contienen entre 1 y 7% de  $P_2O_5$ . La composición química de los oolitos de mineral corresponde a dos especies mineralógicas cloroapatita y fluoroapatita  $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ , el carácter general, el espesor y el contenido de  $P_2O_5$  de las capas individuales de fosforita y diatomita son altamente uniformes en grandes áreas.

Es importante destacar que, debido a sus características, los depósitos en Sechura corresponden a estratos de baja potencia, lo que implica que la recuperación y el procesamiento de estos recursos pueden presentar desafíos específicos en comparación con depósitos de mayor espesor. Esta baja potencia de los concentrados es un factor clave a considerar en la evaluación económica y técnica de la explotación de estos depósitos (Cheney et al., 1979).

##### **3.8.1.1 Mineralización**

Según (Agramonte, 1983), la mineralización en el depósito Bayovar se encuentra alojada en las rocas de la formación cenozoica Zapallal Figura 18 dentro de la cual se logran diferenciar tres zonas mineralizadas: Zona Mineralizada Minerva, Zona Mineralizada Cero y Zona Mineralizada Diana; esta última contiene las capas de fosforita objetivo de los trabajos realizados. En el yacimiento de fosfato pueden diferenciarse los siguientes miembros:

###### **3.8.1.1.1 Miembro inferior**

Según (Lizarraga, 2023) en el yacimiento de fosfatos se identifica la parte superior, muy importante por estar vinculada con niveles lenticulares de areniscas fosfáticas. La

parte superior del miembro consiste en los siguientes niveles litológicos de abajo hacia arriba: Diatomita tufácea, Zona Mineralizada Diana y Tufos grises.

- Nivel Diatomita Tufácea: Posee un espesor superior a 50 m. y consiste en capas de diatomitas con foraminíferos y oolitos fosfáticos marrones brillantes, intercalados con niveles de tufos grises.
- Zona Mineralizada Diana: Compuesto por 05 capas fosfáticas, separadas por paquetes de diatomitas con considerables cantidades de oolitos fosfáticos. Esta zona fue el objetivo de las investigaciones exploratorias. La Zona Mineralizada Diana posee un espesor medio de 30,58 m y ley media ponderada de 7,28% de  $P_2O_5$ .
- Nivel Tufo Gris: Compuesto esencialmente por paquetes de tufos diatomáceos grisáceos, dispuestos en forma gradacional sobre la parte superior de la zona Mineralizada Diana.

#### **3.8.1.1.2 Miembro superior**

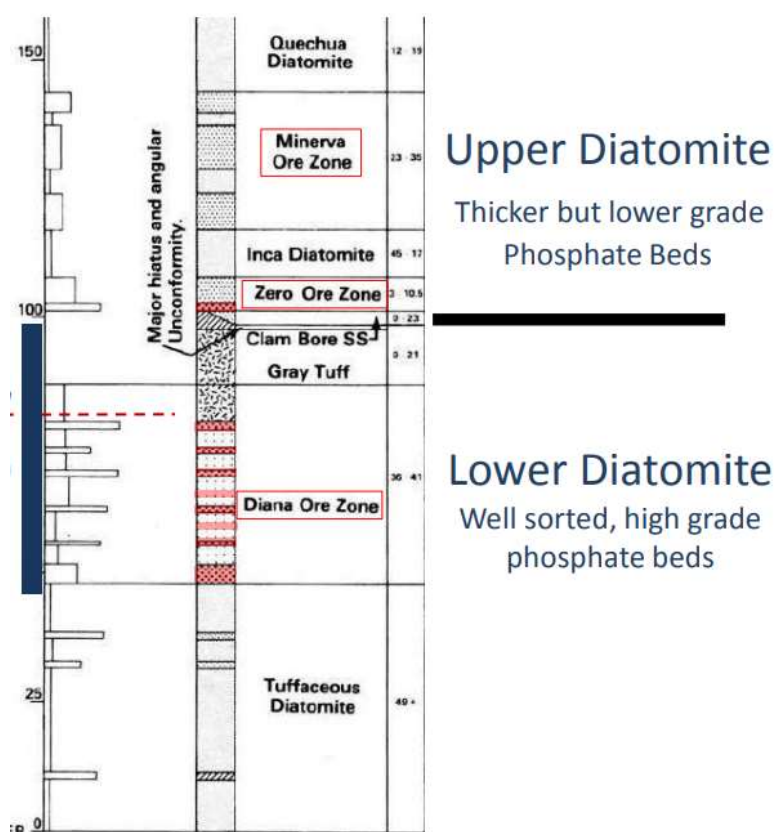
Según (Focus Ventures, 2014) en el miembro superior, se identifican los siguientes elementos: Zona Mineralizada Cero, Diatomita Inca, Zona Mineralizada Minerva, Diatomita Quechua y Diatomita Estéril.

- Zona Mineralizada Cero: Este paquete yace en contacto gradacional sobre la Arenisca, aunque en sectores limitados se presenta una delgada capa de diatomita entre ambos niveles.
- Diatomita Inca: Compuesta esencialmente de diatomeas, color marrón brillante y de lustre resinoso.
- Zona Mineralizada Minerva: Consiste en oolitos de fosforita, pobremente clasificados, pareciéndose a la Zona Mineralizada Cero, pero con menor cantidad de impurezas de arenas y limos.

- Diatomita Quechua: Se compone mayormente de diatomeas bastante puras con una o más capas delgadas de fosforita.
- Diatomita Estéril: Pura, de color blanco, en capas delgadas y muy livianas; pigmentada con manchas amarillas o anaranjadas, hasta rojizas.

**Figura 18**

*Columna estratigráfica de depósitos de Sechura*



*Nota.* Tomado de (Focus Ventures, 2014)

### 3.8.2 Moldeamiento Geológico

El Proyecto se encuentra ubicado en Sechura, Piura, a 1000 km al norte de Lima. Se encuentra a 110km al sur de Piura y a 30km del Océano Pacífico.

El depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia se ubica en una planicie desértica flanqueada de este a oeste por la Cordillera de los Andes la topografía se, caracterizada por una llanura plana, separada por mesetas aisladas y dunas de arena. El

yacimiento se desarrolla sobre una depresión, 12 km<sup>2</sup> de área, delimitados por acantilados escarpados entre 20 m y 50 m de altura. La altitud media no supera los 60 m en las mesetas y está por debajo del nivel del mar dentro de la depresión Tabla 1.

El clima es cálido y seco con temperaturas entre 22°C y 28°C, y humedad 75%.

**Tabla 1**

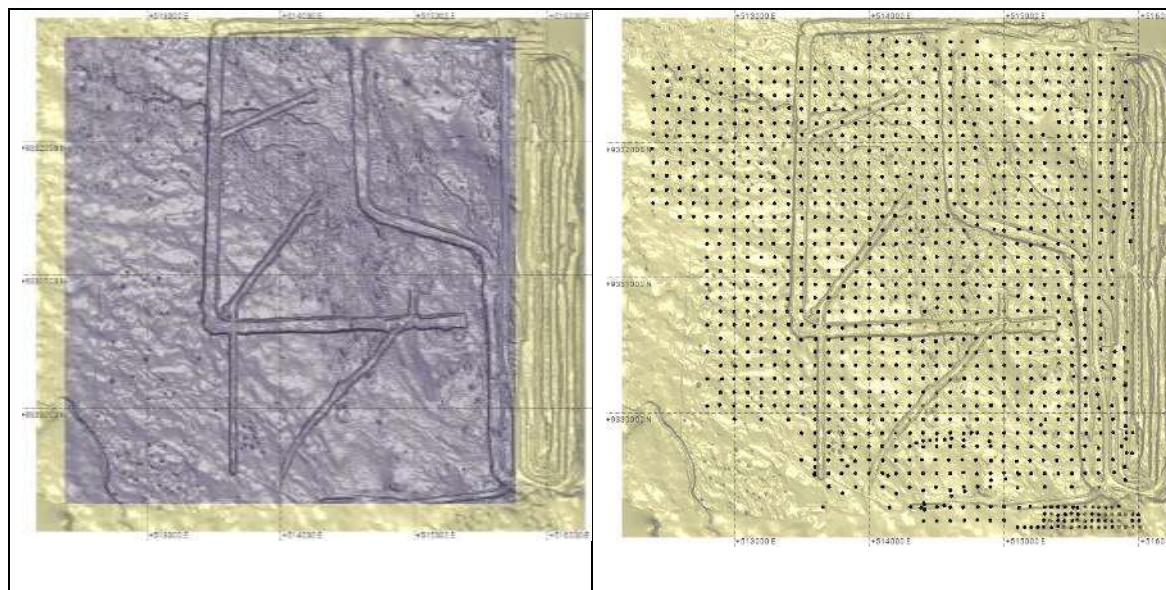
*Ubicación*

|           | Minimo  | Maximo  | Distancia |
|-----------|---------|---------|-----------|
| X (East)  | 512400  | 515700  | 3300      |
| Y (North) | 9329200 | 9332600 | 3400      |
| Z (Elev)  | -60     | 45      | 105       |

*Nota.* Elaboración Propia

**Figura 19**

*Ubicación de perforaciones y área modelada*



*Nota.* Elaboración Propia

Se perforaron un total de 1,324 perforaciones de diamantina Figura 19, distribuidas en una malla regular de 100x100 metros, lo que permitió una cobertura exhaustiva del área de estudio. A través de estas perforaciones, se obtuvieron 77,232 muestras Tabla 2, las cuales fueron analizadas para determinar la composición mineralógica y la calidad de los recursos presentes. Este enfoque sistemático no solo facilitó la identificación de zonas con

potencial mineral, sino que también proporcionó datos cruciales para la evaluación geológica y la planificación del desarrollo del proyecto.

**Tabla 2**

*Numero de muestras*

| Nombre       | Cuenta        | Longitud (m)  |
|--------------|---------------|---------------|
| OVR          | 20,521        | 25,591        |
| CA1          | 3,043         | 993           |
| I12          | 4,037         | 3,138         |
| CA2          | 4,629         | 1,207         |
| I23          | 8,898         | 2,764         |
| CA3          | 3,396         | 960           |
| I34          | 6,025         | 2,134         |
| CA4          | 1,817         | 412           |
| I45          | 7,540         | 4,016         |
| CA5          | 5,687         | 1,368         |
| BR           | 11,641        | 5,841         |
| <b>Total</b> | <b>77,234</b> | <b>48,424</b> |

*Nota. Elaboración Propia*

El proceso de compositación por distancia fue utilizada en el proyecto para agrupar y resumir datos de geología, facilitando así el análisis y la interpretación de los recursos minerales. Por la naturaleza del estudio de los depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia son contactos gradacionales con diluciones en los contactos geológicos visuales, para delimitar ello se le tomaron muestras y a cada contacto en el techo y piso de 10 cm, si las leyes son mayores a 8% de  $P_2O_5$  son consideradas como capas diluidas y luego como parte de la investigación se realizó la compositación de las capas mineralizadas en las cuales se incluye las diluciones (Lizarraga, 2023). Se compositaron 11 dominios mineralógicos dando como resultado 10 460 muestras que serán usadas para el modelamiento geológico Tabla 3.

**Tabla 3***Litología y composición*

| Nombre       | Cuenta        | Longitud (m)  |
|--------------|---------------|---------------|
| OVR          | 1,010         | 25,007        |
| CA1          | 779           | 953           |
| I12          | 853           | 2,784         |
| CA2          | 887           | 1,118         |
| I23          | 944           | 2,478         |
| CA3          | 970           | 888           |
| I34          | 975           | 1,931         |
| CA4          | 990           | 380           |
| I45          | 1,005         | 3,602         |
| CA5          | 1,030         | 1,272         |
| BR           | 1,017         | 5,457         |
| <b>Total</b> | <b>10,460</b> | <b>45,870</b> |

*Nota.* Elaboración Propia

La litología está compuesta principalmente de OVR que son arenas eólicas y areniscas y diatomitas de color blanco masivo los estratos mineralizados de CA1 a CA5 y las intercapas de la I12 a la I45 son diatomitas masivas de color gris a gris oscuro.

El proceso de elaboración del modelo estratégico inicia con la determinación de los contactos interceptados de techo y piso de cada estrato. Luego se determina superficie de la base de cada estrato en función a los interceptos, desde la base hasta la superficie topográfica Figura 20.

**Figura 20***Secuencia estratigráfica y construcción de modelo*

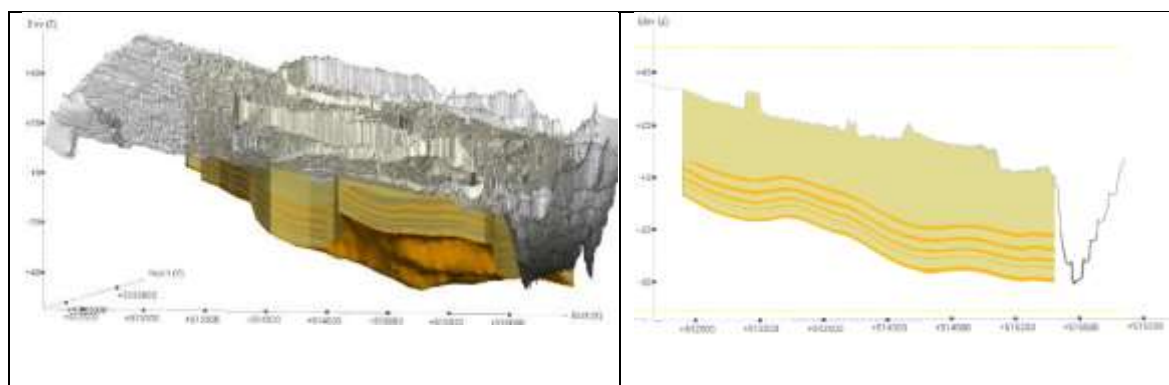
|    | Code | Colour                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|    | OVR  |    |
|    | CA1  |    |
|    | I12  |    |
|    | CA2  |    |
|    | I23  |    |
|    | CA3  |    |
|    | I34  |    |
|    | CA4  |    |
|    | I45  |    |
|    | CA5  |    |
|  | BR   |  |

| Contact surface chronology:         |                                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Contact surface                                                                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  CA1 - OVR contacts |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  I12 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  CA2 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  I23 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  CA3 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  I34 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  CA4 - I34 contacts |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  I45 contacts       |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  CA5 - I45 contacts |
| <input checked="" type="checkbox"/> |  BR contacts       |

*Nota. Elaboración Propia*

Como resultado de modelamiento, se genera en superficies del techo y el piso de cada estrato de manera secuencial desde la base hasta la topografía Figura 21.

**Figura 21***Vista isométrica y sección del modelo**Nota. Elaboración Propia*

Una vez terminado el proceso de modelamiento se pueden estimar los volúmenes sólidos generados en el proceso Tabla 4.

**Tabla 4***Volúmenes estimados por modelamiento*

| Estrato | Volumen    | Triángulos<br>Delaunay | Vértices<br>(voxel) |
|---------|------------|------------------------|---------------------|
| CA1     | 8,794,400  | 55,328                 | 27,671              |
| CA2     | 10,248,000 | 60,060                 | 30,037              |
| CA3     | 7,940,900  | 61,406                 | 30,705              |
| CA4     | 3,444,400  | 60,096                 | 30,051              |
| CA5     | 11,086,000 | 58,000                 | 29,002              |
| Total   | 41,513,700 |                        |                     |

*Nota.* Elaboración Propia**3.8.2.1 Análisis exploratorio y preparatorio de datos**

Se realizó el análisis exploratorio de datos EDA (Exploration Data Análisis) Tabla 5, para las muestras con el fin de analizar las leyes muestreadas donde la desviación varía entre 1.48 y 2.33.

**Tabla 5***EDA de muestras*

| Estrato | Variable                        | Cuenta | Longitud | Media | Desviación<br>Standard | Mínimo | Máximo |
|---------|---------------------------------|--------|----------|-------|------------------------|--------|--------|
| CA1     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 2879   | 923.92   | 26.10 | 1.48                   | 17.26  | 29.96  |
| CA2     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 4386   | 1088.21  | 17.34 | 1.85                   | 11.29  | 24.20  |
| CA3     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 3232   | 866.18   | 22.67 | 1.72                   | 16.05  | 27.50  |
| CA4     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1631   | 363.11   | 14.97 | 1.89                   | 7.71   | 24.02  |
| CA5     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 5216   | 1217.01  | 19.88 | 2.33                   | 8.33   | 26.59  |

*Nota.* Elaboración Propia

Luego se procedió a realizar el análisis exploratorio de los compósitos Tabla 6, esto con el fin de realizar un análisis preliminar de las data que se utilizará para el modelamiento geológico.

**Tabla 6***EDA de compósitos*

| Estrato | Variable                        | Cuenta | Longitud | Media | Desviación Standard | Mínimo | Máximo |
|---------|---------------------------------|--------|----------|-------|---------------------|--------|--------|
| CA1     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 757    | 930.62   | 26.11 | 1.48                | 17.26  | 29.96  |
| CA2     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 866    | 1094.71  | 17.35 | 1.86                | 11.29  | 24.20  |
| CA3     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 941    | 866.38   | 22.67 | 1.72                | 16.05  | 27.50  |
| CA4     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 957    | 367.41   | 14.96 | 1.89                | 7.71   | 24.02  |
| CA5     | RSP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 996    | 1231.11  | 19.90 | 2.34                | 8.33   | 26.59  |

*Nota.* Elaboración Propia**3.8.2.2 Variografía**

Se realizó un análisis variográfico de la información para determinar la continuidad de los dominios geológicos, para ello se analizó el efecto pepita y las direcciones de las estructuras así como la meseta el buzamiento de inclinación, esto con el fin de estimar la ley media de los bloques Tabla 7.

**Tabla 7***Análisis variográfico*

| Parámetros                  | CA1        | CA2        | CA3        | CA4        | CA5        |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Número de puntos            | 724        | 771        | 774        | 763        | 764        |
| Varianza                    | 2.106      | 3.156      | 2.83       | 3.262      | 4.169      |
| Efecto Pepita (Norm)        | 0.1        | 0.11       | 0.12       | 0.16       | 0.05       |
| Estructura 1 (Norm)         | 0.5        | 0.3        | 0.4        | 0.7        | 0.26       |
| Dist. E1 (Mayor/Semi/Menor) | 150/100/2  | 100/160/2  | 120/330/1  | 120/200/2  | 160/230/2  |
| Estructura 2 (Norm)         | 0.15       | 0.15       | 0.34       | 0.08       | 0.09       |
| Dist. E2 (Mayor/Semi/Menor) | 800/600/10 | 700/400/10 | 900/700/20 | 600/400/10 | 800/400/10 |
| Meseta Total (Norm)         | 0.75       | 0.56       | 0.86       | 0.94       | 0.4        |
| Buzamiento                  | 0.02       | 0.4        | 0          | 0          | 0          |
| Azimet del Buzamiento       | 30         | 160        | 0          | 350        | 160        |
| Inclinacion                 | 45         | 110        | 11         | 70         | 100        |

*Nota.* Elaboración Propia**3.8.2.3 Análisis Vecindade Kriging (QKNA)**

Se utilizó el Análisis Cuantitativo del Vecindad de Kriging (QKNA) con el objetivo de determinar cuál sería el tamaño de modelo de bloques óptimo para la estimación de recursos para ello se tomó en cuenta la Pendiente de la Regresión (SR), Eficiencia de kriging (KE) y Magnitud de los Pesos Negativos (NW) Tabla 8, Con esta técnica se estimó que tamaño de bloques óptimo para la estimación es el 20 x 20, con perforaciones de 100 x 100 m, estaría adecuado para el depósito.

**Tabla 8***Análisis de vecindad de kriging*

| Tamaño de Bloque | Estadístico | Num Bloques   | Volumen           | Media          | Desviación Standard | Coefficiente de Variación | Varianza    | Mínimo       | Máximo      |
|------------------|-------------|---------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 5 x 5            | SR          | 1669330       | 42,147,391        | 0.9420         | 0.11                | 0.12                      | 0.01        | 0.04         | 1.03        |
|                  | KE          | 1669330       | 42,147,391        | 0.4003         | 0.18                | 0.46                      | 0.03        | -0.43        | 0.90        |
|                  | NW          | 1669330       | 42,147,391        | -0.0154        | 0.03                | -1.85                     | 0.00        | -0.22        | 0.00        |
| 10 x 10          | SR          | 418211        | 42,247,411        | 0.9417         | 0.11                | 0.12                      | 0.01        | 0.05         | 1.03        |
|                  | KE          | 418211        | 42,247,411        | 0.4075         | 0.19                | 0.46                      | 0.03        | -0.43        | 0.88        |
|                  | NW          | 418211        | 42,247,411        | -0.0153        | 0.03                | -1.86                     | 0.00        | -0.22        | 0.00        |
| 15 x 15          | SR          | 185120        | 42,059,055        | 0.9426         | 0.11                | 0.11                      | 0.01        | 0.06         | 1.03        |
|                  | KE          | 185120        | 42,059,055        | 0.4159         | 0.19                | 0.45                      | 0.04        | -0.35        | 0.87        |
|                  | NW          | 185120        | 42,059,055        | -0.0152        | 0.03                | -1.86                     | 0.00        | -0.21        | 0.00        |
| <b>20 x 20</b>   | <b>SR</b>   | <b>104573</b> | <b>42,254,546</b> | <b>0.9414</b>  | <b>0.11</b>         | <b>0.12</b>               | <b>0.01</b> | <b>0.06</b>  | <b>1.03</b> |
|                  | <b>KE</b>   | <b>104573</b> | <b>42,254,546</b> | <b>0.4221</b>  | <b>0.19</b>         | <b>0.45</b>               | <b>0.04</b> | <b>-0.35</b> | <b>0.87</b> |
|                  | <b>NW</b>   | <b>104573</b> | <b>42,254,546</b> | <b>-0.0149</b> | <b>0.03</b>         | <b>-1.87</b>              | <b>0.00</b> | <b>-0.20</b> | <b>0.00</b> |
| 25 x 25          | SR          | 66767         | 42,153,823        | 0.9416         | 0.11                | 0.12                      | 0.01        | 0.06         | 1.03        |
|                  | KE          | 66767         | 42,153,823        | 0.4299         | 0.19                | 0.45                      | 0.04        | -0.31        | 0.87        |
|                  | NW          | 66767         | 42,153,823        | -0.0146        | 0.03                | -1.88                     | 0.00        | -0.20        | 0.00        |

*Nota.* Elaboración Propia

**3.8.3 Modelo de Bloques**

La forma y dimensión del modelo de lo que es una de las partes más importantes de la investigación, por lo tanto se seleccionaron modelos de bloques que sean representativos en función a la distancia de perforación, para ello se inició con un modelo de bloques Variable Z de dimensiones 100 x 100 metros de altura variable en función a los contactos geológicos, se fue reduciendo sus dimensiones hasta llegar a un modelo bloques de 2.5 x 2.5 metros, es importante notar que la cantidad de bloques aumenta en función a las divisiones es así que empezamos con un modelo de 13 mil bloques hasta un modelo de 22 millones de bloques, esta característica debe tomarse en cuenta ya que puede implicar procesos computacionales extensos para las estimaciones Tabla 9.

**Tabla 9***Modelos de bloques Variable Z*

| Modelo                     | Tamaño de Bloque | Numero Bloques |
|----------------------------|------------------|----------------|
| Variable Z (100 x 100)     | 100 x 100        | 13,952         |
| Variable Z (50 x 50)       | 50 x 50          | 55,538         |
| Variable Z (33.33 x 33.33) | 33.33 x 33.33    | 125,307        |
| Variable Z (25 x 25)       | 25 x 25          | 222,503        |
| Variable Z (20 x 20)       | 20 x 20          | 347,862        |
| Variable Z (16.67 x 16.67) | 16.67 x 16.67    | 500,421        |
| Variable Z (14.29 x 14.29) | 14.29 x 14.29    | 681,683        |
| Variable Z (12.5 x 12.5)   | 12.5 x 12.5      | 887,262        |
| Variable Z (11.11 x 11.11) | 11.11 x 11.11    | 1,126,136      |
| Variable Z (10 x 10)       | 10 x 10          | 1,389,028      |
| Variable Z (5 x 5)         | 5 x 5            | 5,555,497      |
| Variable Z (2.5 x 2.5)     | 2.5 x 2.5        | 22,217,475     |

*Nota. Elaboración Propia*

Otro modelo de bloques que se utilizó para el proyecto de investigación fue el Fully en el cual las dimensiones del modelo en los ejes x e y fueron constantes de 15 m y 5 metros de altura, luego se fue dividiendo inicialmente en 5 partes p(5) que da como resultado el tamaño de bloques 1 luego el bloque se dividió en 10 partes p(10) que da como resultado 0.5 y así se fue amentado la razón de la división de 10 en 10 hasta llegar a 80 partes p(80) que dio como resultado 0.0625 Tabla 10

**Tabla 10***Modelos de bloques Fully*

| Modelo                   | Divisiones | Tamaño de Bloque | Numero Bloques |
|--------------------------|------------|------------------|----------------|
| Fully (15 x 15 x 1)      | p (5)      | 15 x 15 x 1      | 985,210        |
| Fully (15 x 15 x 0.5)    | p (10)     | 15 x 15 x 0.5    | 2,063,540      |
| Fully (15 x 15 x 0.25)   | p (20)     | 15 x 15 x 0.25   | 4,219,880      |
| Fully (15 x 15 x 0.1666) | p (30)     | 15 x 15 x 0.1666 | 6,376,260      |
| Fully (15 x 15 x 0.125)  | p (40)     | 15 x 15 x 0.125  | 8,532,200      |
| Fully (15 x 15 x 0.1)    | p (50)     | 15 x 15 x 0.1    | 10,688,350     |
| Fully (15 x 15 x 0.0833) | p (60)     | 15 x 15 x 0.0833 | 12,845,460     |
| Fully (15 x 15 x 0.0714) | p (70)     | 15 x 15 x 0.0714 | 15,002,960     |
| Fully (15 x 15 x 0.0625) | p (80)     | 15 x 15 x 0.0625 | 17,159,600     |

*Nota. Elaboración Propia*

### 3.8.4 Ley Media Calculada

Para modelos Variable Z se calcularon las leyes de los bloques Tabla 11 utilizando modelos estimación geoestadística, la ley de cada bloque fue estimada individualmente en función a los parámetros de los variogramas estimados Tabla 7

**Tabla 11**

*Ley media estimada para modelos Variable Z*

| Modelo                     | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Ley Media |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------|
| Variable Z (100 x 100)     | 100 x 100        | 13,952         | 21.0117   |
| Variable Z (50 x 50)       | 50 x 50          | 55,538         | 21.0145   |
| Variable Z (33.33 x 33.33) | 33.33 x 33.33    | 125,307        | 21.0132   |
| Variable Z (25 x 25)       | 25 x 25          | 222,503        | 21.0130   |
| Variable Z (20 x 20)       | 20 x 20          | 347,862        | 21.0132   |
| Variable Z (16.67 x 16.67) | 16.67 x 16.67    | 500,421        | 21.0130   |
| Variable Z (14.29 x 14.29) | 14.29 x 14.29    | 681,683        | 21.0131   |
| Variable Z (12.5 x 12.5)   | 12.5 x 12.5      | 887,262        | 21.0131   |
| Variable Z (11.11 x 11.11) | 11.11 x 11.11    | 1,126,136      | 21.0131   |
| Variable Z (10 x 10)       | 10 x 10          | 1,389,028      | 21.0131   |
| Variable Z (5 x 5)         | 5 x 5            | 5,555,497      | 21.0131   |
| Variable Z (2.5 x 2.5)     | 2.5 x 2.5        | 22,217,475     | 21.0131   |

*Nota. Elaboración Propia*

Para modelos Fully se calcularon las leyes de los bloques utilizando modelos estimación geoestadística Tabla 12, la ley de cada bloque fue estimada individualmente en función a los parámetros de los variogramas estimados Tabla 7.

**Tabla 12**

*Ley media estimada para modelos Fully*

| Modelo                   | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Ley Media |
|--------------------------|------------------|----------------|-----------|
| Fully (15 x 15 x 1)      | 15 x 15 x 1      | 985,210        | 21.0228   |
| Fully (15 x 15 x 0.5)    | 15 x 15 x 0.5    | 2,063,540      | 21.0149   |
| Fully (15 x 15 x 0.25)   | 15 x 15 x 0.25   | 4,219,880      | 21.0138   |
| Fully (15 x 15 x 0.1666) | 15 x 15 x 0.1666 | 6,376,260      | 21.0129   |
| Fully (15 x 15 x 0.125)  | 15 x 15 x 0.125  | 8,532,200      | 21.0130   |
| Fully (15 x 15 x 0.1)    | 15 x 15 x 0.1    | 10,688,350     | 21.0133   |
| Fully (15 x 15 x 0.0833) | 15 x 15 x 0.0833 | 12,845,460     | 21.0126   |
| Fully (15 x 15 x 0.0714) | 15 x 15 x 0.0714 | 15,002,960     | 21.0124   |
| Fully (15 x 15 x 0.0625) | 15 x 15 x 0.0625 | 17,159,600     | 21.0129   |

*Nota. Elaboración Propia*

### 3.8.5 Volumen total calculado

Para modelos Variable Z, fue estimado el volumen de cada estrato utilizando el algoritmo del software basado en las triangulaciones de Delaunay Tabla 13.

**Tabla 13**

*Volumen estimado para modelos Variable Z*

| Modelo                     | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Volumen        |
|----------------------------|------------------|----------------|----------------|
| Variable Z (100 x 100)     | 100 x 100        | 13,952         | 41,407,042.564 |
| Variable Z (50 x 50)       | 50 x 50          | 55,538         | 41,537,546.044 |
| Variable Z (33.33 x 33.33) | 33.33 x 33.33    | 125,307        | 41,507,662.227 |
| Variable Z (25 x 25)       | 25 x 25          | 222,503        | 41,527,725.971 |
| Variable Z (20 x 20)       | 20 x 20          | 347,862        | 41,519,149.179 |
| Variable Z (16.67 x 16.67) | 16.67 x 16.67    | 500,421        | 41,515,264.188 |
| Variable Z (14.29 x 14.29) | 14.29 x 14.29    | 681,683        | 41,509,652.137 |
| Variable Z (12.5 x 12.5)   | 12.5 x 12.5      | 887,262        | 41,516,932.069 |
| Variable Z (11.11 x 11.11) | 11.11 x 11.11    | 1,126,136      | 41,514,259.505 |
| Variable Z (10 x 10)       | 10 x 10          | 1,389,028      | 41,514,550.557 |
| Variable Z (5 x 5)         | 5 x 5            | 5,555,497      | 41,512,972.190 |
| Variable Z (2.5 x 2.5)     | 2.5 x 2.5        | 22,217,475     | 41,513,300.372 |

*Nota. Elaboración Propia*

Para modelos Fully, fue estimado el volumen de cada estrato utilizando el algoritmo del software basado en las triangulaciones de Delaunay Tabla 14.

**Tabla 14**

*Volumen estimado para modelos Fully*

| Modelo                   | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Volumen        |
|--------------------------|------------------|----------------|----------------|
| Fully (15 x 15 x 1)      | 15 x 15 x 1      | 985,210        | 41,482,575.000 |
| Fully (15 x 15 x 0.5)    | 15 x 15 x 0.5    | 2,063,540      | 41,585,962.500 |
| Fully (15 x 15 x 0.25)   | 15 x 15 x 0.25   | 4,219,880      | 41,581,181.250 |
| Fully (15 x 15 x 0.1666) | 15 x 15 x 0.1666 | 6,376,260      | 41,596,500.000 |
| Fully (15 x 15 x 0.125)  | 15 x 15 x 0.125  | 8,532,200      | 41,585,990.625 |
| Fully (15 x 15 x 0.1)    | 15 x 15 x 0.1    | 10,688,350     | 41,592,780.000 |
| Fully (15 x 15 x 0.0833) | 15 x 15 x 0.0833 | 12,845,460     | 41,584,575.000 |
| Fully (15 x 15 x 0.0714) | 15 x 15 x 0.0714 | 15,002,960     | 41,586,235.714 |
| Fully (15 x 15 x 0.0625) | 15 x 15 x 0.0625 | 17,159,600     | 41,591,235.938 |

*Nota. Elaboración Propia*

### 3.8.6 Valorización de un Depósito Mineral

Se realizó la valorización en función a los costos estándar de este tipo de operaciones Tabla 15.

**Tabla 15**

*Costos de operaciones*

| Item                             | Valor        | Unidades                     | Ref           | Tipo                       |
|----------------------------------|--------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| <b>Costo Mina</b>                | <b>1.15</b>  | US\$ / t mov (wet)           | PFS FP        | Costo                      |
| <b>Costo Proceso</b>             | <b>3.59</b>  | US\$ / t ROM (wet)           | PFS FP        | Costo                      |
| Costo Puerto                     | 8.91         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Costo Mantenimiento              | 1.83         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Costo SG&A                       | 0.39         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Otros (Lab, AIP, WPS, Bonus)     | 3.8          | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| R&D                              | 0.23         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Royalties                        | 2.93         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Demoras                          | 0.3          | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Depeciacion                      | 8            | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| Cierre de Minas                  | 0.3          | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Costo de las ventas        |
| <b>Total Costo de las ventas</b> | <b>26.69</b> | <b>US\$/t ROM (wet 4.5%)</b> | <b>PFS FP</b> | <b>Costo de las ventas</b> |
| Costo Sostenimiento              | 4.68         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Capital de Sostenimiento   |
| Costo Flota de Equipos           | 3.49         | US\$/t ROM (wet 4.5%)        | PFS FP        | Capital Reemplazo flotas   |
| <b>Total Capital</b>             | <b>8.17</b>  | <b>US\$/t ROM (wet 4.5%)</b> | <b>PFS FP</b> | <b>Capital</b>             |

*Nota.* Tomado de (Lizarraga, 2023)

#### 3.8.6.1 Ley de corte

Para cada uno de los estratos mineralizados se estimaron las leyes de corte en función a las recuperaciones metalúrgicas costos de mina costos de proceso costo de las ventas costos de capital y sostenimiento se estimó la ley de corte económica y la ley de corte marginal Tabla 16.

**Tabla 16***Ley de corte marginal y económica*

| <b>Ley de Corte</b>        |                      |              |             |             |              |              |                 |
|----------------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| <b>Parámetro</b>           | <b>Unidad</b>        | <b>CA1</b>   | <b>CA2</b>  | <b>CA3</b>  | <b>CA4</b>   | <b>CA5</b>   | <b>Promedio</b> |
| Razón Estéril/Mineral      | Razón                | 19.0         | 2.2         | 2.3         | 4.6          | 2.0          | <b>9.7</b>      |
| Ley P2O5 ROM               | %                    | 26.3         | 17.5        | 22.7        | 15.1         | 20.0         | <b>22.2</b>     |
| Humedad ROM                | %                    | 23.9         | 36.1        | 29.6        | 38.4         | 26.5         | <b>28.9</b>     |
| Humedad Conc.              | %                    | 4.5          | 4.5         | 4.5         | 4.5          | 4.5          | <b>4.5</b>      |
| Rec. Masica                | %                    | 69.5         | 41.6        | 60.3        | 35.9         | 50.0         | <b>57.3</b>     |
| Rec. Metalúrgica           | %                    | 79.2         | 69.1        | 77.8        | 72.3         | 72.4         | <b>75.7</b>     |
| Costo Mina                 | US\$/th              | 58.55        | 3.20        | 7.31        | 5.15         | 4.54         | <b>20.56</b>    |
| Costo Proceso              | US\$/th              | 9.15         | 3.08        | 6.85        | 2.86         | 4.78         | <b>6.02</b>     |
| Costo de Sostenimiento     | US\$/t conc.h        | 0.30         | 0.30        | 0.30        | 0.30         | 0.30         | <b>0.30</b>     |
| Costo de Venta             | US\$/t conc.h        | 34.86        | 34.86       | 34.86       | 34.86        | 34.86        | <b>34.86</b>    |
| Precio de Venta Conc.      | US\$/t conc.h        | 88.24        | 88.24       | 88.24       | 88.24        | 88.24        | <b>88.24</b>    |
| LCE                        | %                    | 6.2          | 3.6         | 5.1         | 2.8          | 4.7          | 7.2             |
| LCM                        | %                    | 4.7          | 2.7         | 3.8         | 2.2          | 3.6          | 5.4             |
| Ley P2O5 Conc.             | %                    | 29.83        | 29.33       | 29.84       | 29.97        | 28.86        | 29.65           |
| <b>Beneficio Parcial</b>   | <b>US\$/t conc.h</b> | <b>-14.6</b> | <b>46.8</b> | <b>38.9</b> | <b>45.1</b>  | <b>43.8</b>  |                 |
| <b>Beneficio Acumulado</b> | <b>US\$/t conc.h</b> | <b>-14.6</b> | <b>32.2</b> | <b>71.1</b> | <b>116.1</b> | <b>159.9</b> |                 |

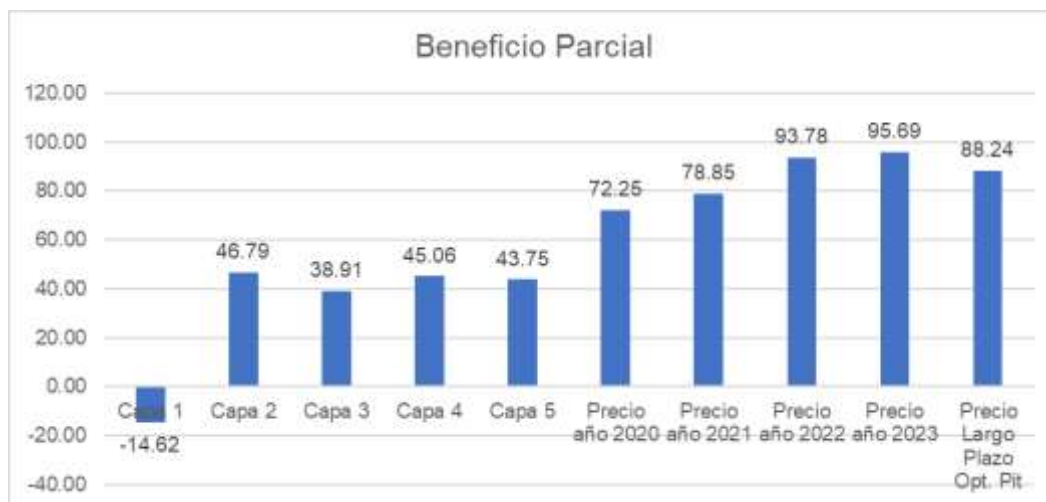
Nota. Elaboración Propia

En este tipo de depósitos es importante recalcar que se debe calcular el beneficio parcial Figura 23 y el beneficio acumulado Figura 22 de cada uno de los estratos ya que corresponde a una secuencia estratigráfica entre la extracción de estériles y minerales.

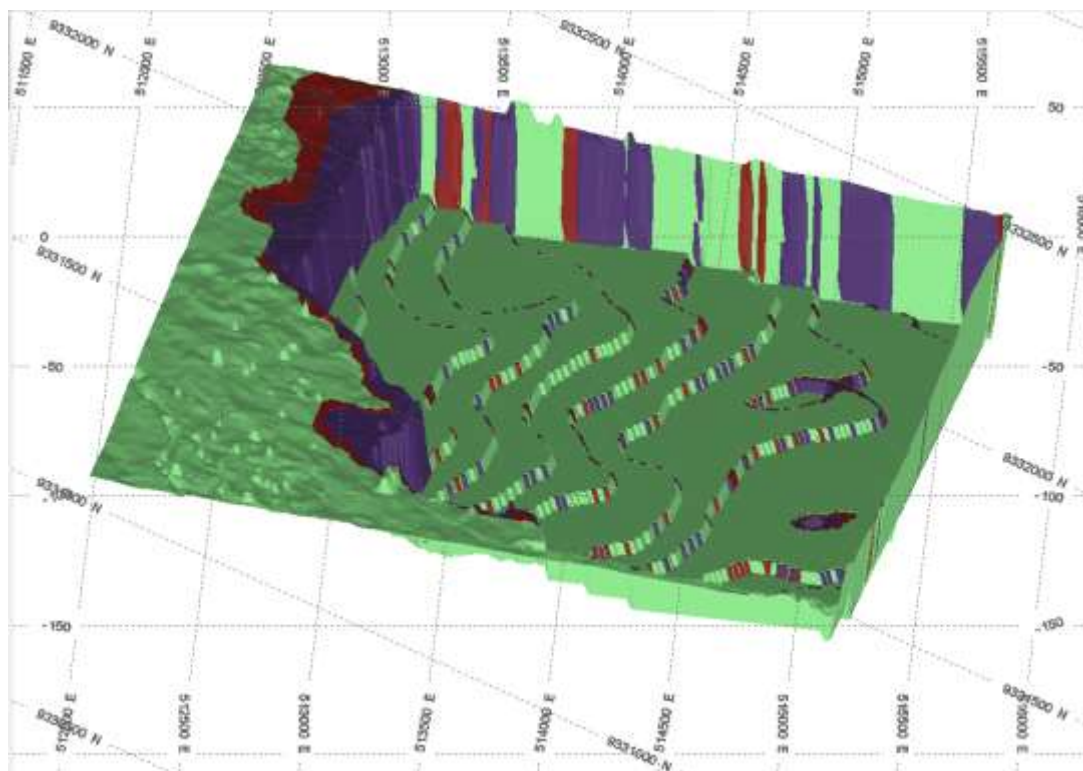
Para la estimación de los precios de venta del producto se utilizó el promedio de los 4 últimos años

**Figura 22***Beneficio acumulado*

Nota. Elaboración Propia

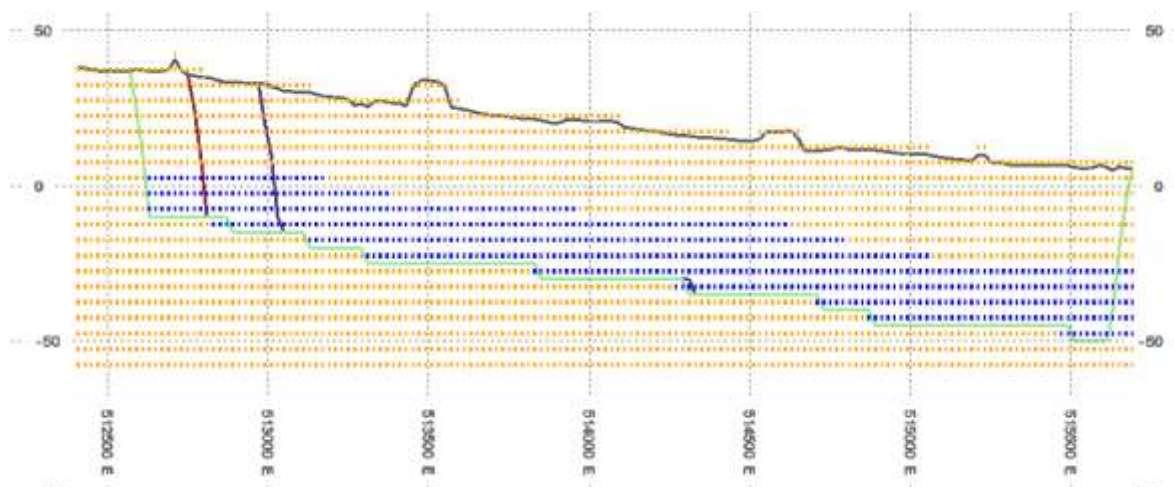
**Figura 23***Beneficio Parcial**Nota. Elaboración Propia***3.8.6.2 Diseño del límite final de una mina**

Se estimó el pit final utilizando algoritmos de optimización, con el método de Lerchs-Grossmann, Figura 24, este proceso permite determinar el límite máximo de explotación, así como un análisis de sensibilidad preliminar en función a los parámetros económicos estimados. Para realizar este proceso se realiza una transformación geométrica del modelo de bloques en un modelo convencional que es el que utiliza el software para optimizar el pit del proyecto

**Figura 24***Pit final estimado*

Nota. Elaboración Propia

En la sección se observa las zonas mineralizadas (en azul) del proyecto, así como las diferentes envolventes económicas calculadas para el proyecto Figura 25.

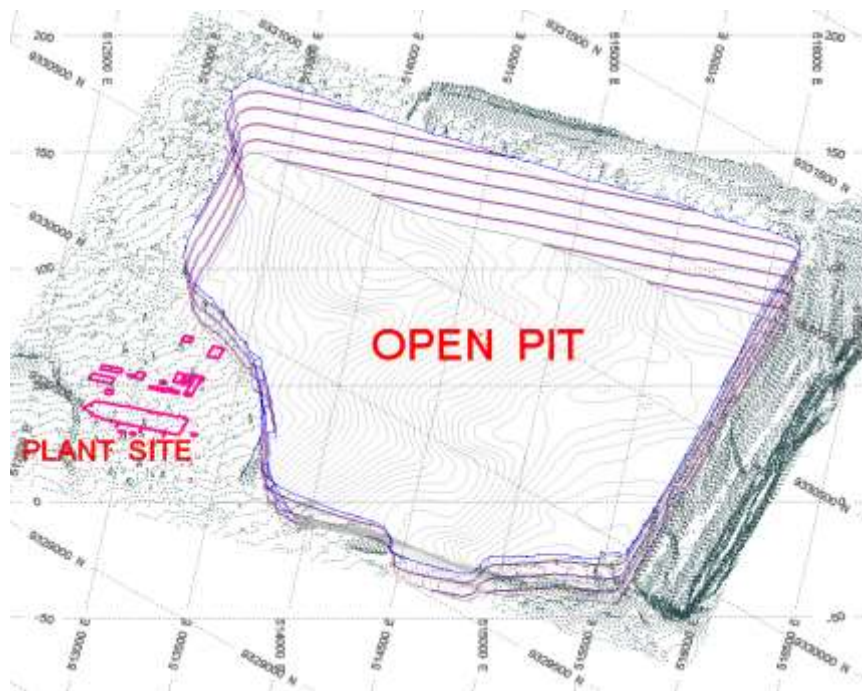
**Figura 25***Secciones mineralizadas y envolventes económicas*

Nota. Elaboración Propia

Una vez determinada la envolvente económica final se procede hacer el diseño final del proyecto Figura 26, en este proceso se integran más criterios como un modelo geotécnico que, diseño de rampas, ubicación de la planta.

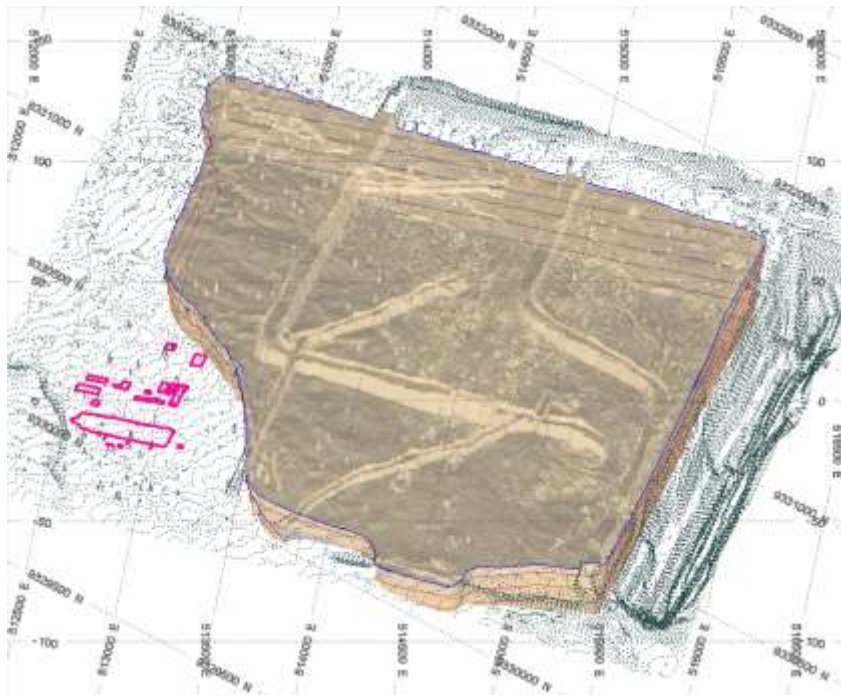
**Figura 26**

*Diseño del pit final*



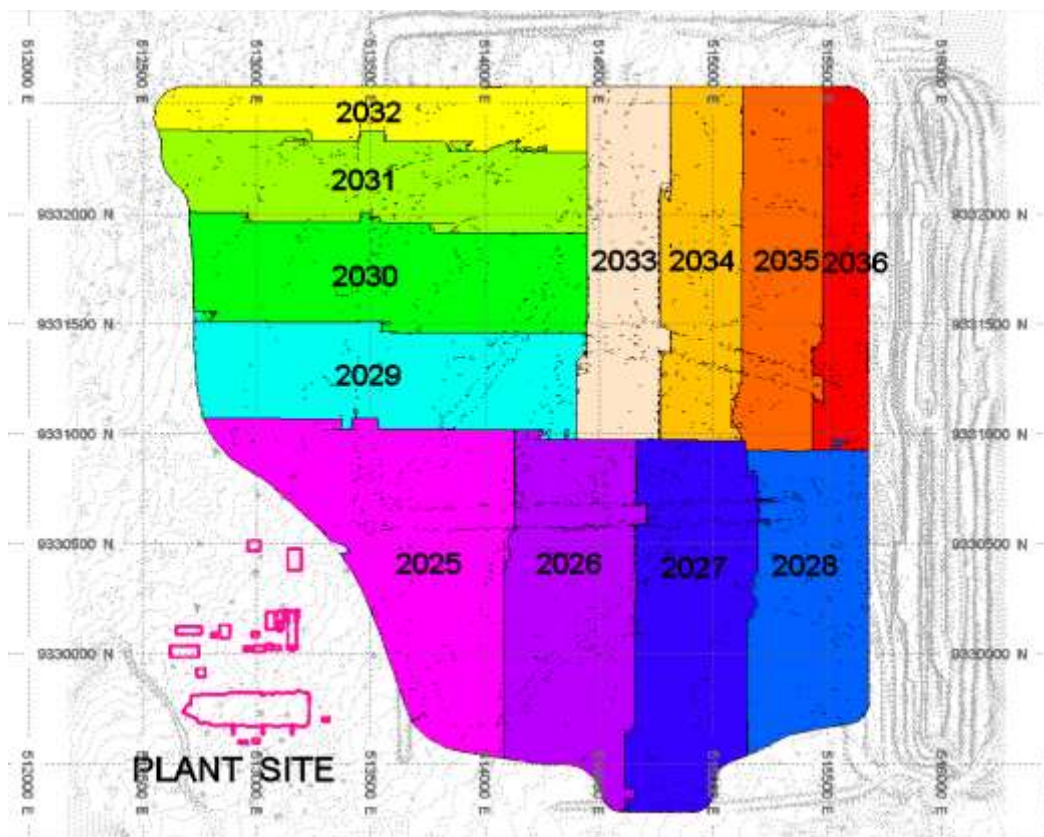
*Nota. Elaboración Propia*

Finalmente se realiza la cubicación de los recursos del proyecto, para ello se genera un sólido y en base a este sólido generado es que se realizarán los siguientes procesos de planificación.

**Figura 27***Solido de pit final**Nota. Elaboración Propia***3.8.6.3 Fases de minado**

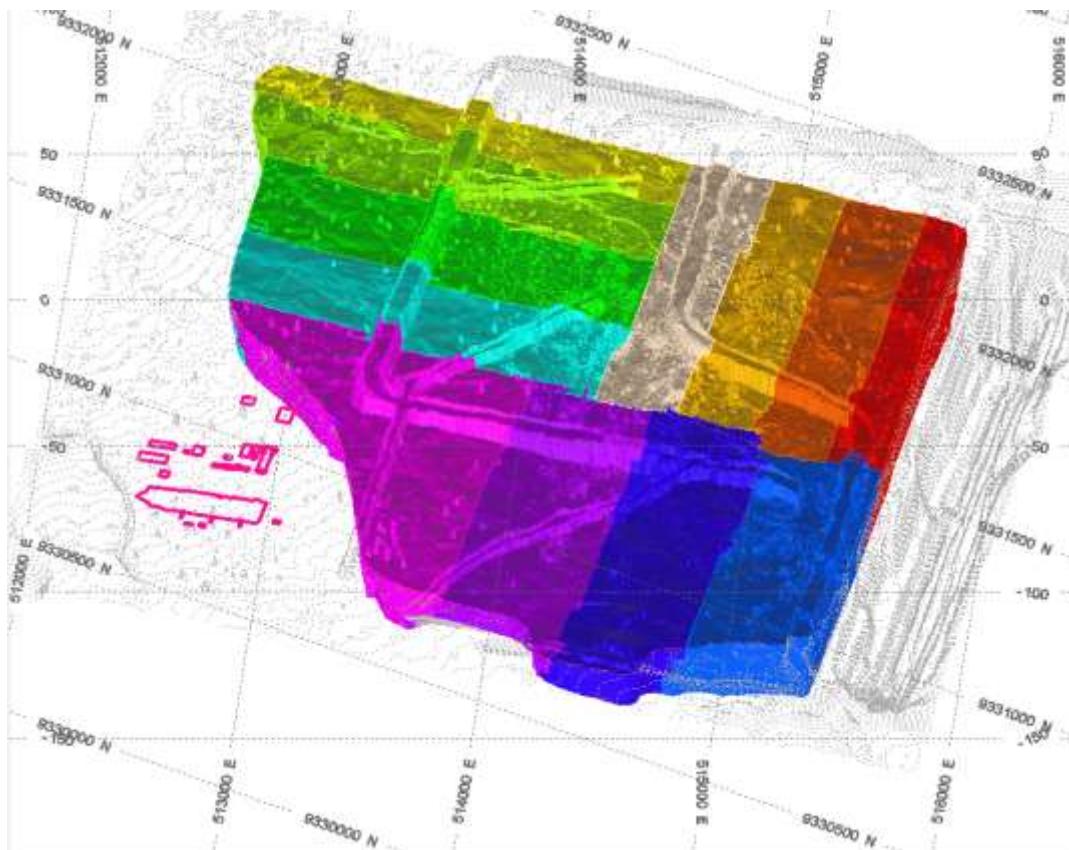
para el desarrollo del proyecto se estimaron 3 fases de minado Figura 28 de manera secuencial empezando por el sur luego por el este y finalmente por el oeste, esto garantiza la continuidad operativa y una secuencia de adecuada de la extracción del proyecto.



**Figura 29***Plan de minado LoM*

*Nota.* Elaboración Propia

En la Figura 30 se puede observar el plan de minado, una vista isométrica, todos los planes de minado tienen por objetivo cumplir con un ratio de producción respetando el volumen y parámetros geotécnicos estimados para cada periodo, todos los periodos fueron calculados utilizando factores geométricos y de estabilidad.

**Figura 30***Vista isométrica plan de mina LoM**Nota. Elaboración Propia***3.8.6.4.1 Tasa interna de retorno (TIR)**

Para estimar la tasa interna de retorno se utilizó el método CAPM en el cálculo la TIR y WACC se utilizó los valores asociados a proyectos de fosfato Tabla 17.

Para ello se utilizó como referencia la empresa cotizada en la bolsa de New York Mosaic Co.

**Tabla 17***Calculo del WAAC usando CAPM*

| <b>Costo de Capital Propio (Ce)</b> |               | <b>Fuente</b>                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tasa Libre de Riesgo (rf)           | 4.28%         | <a href="#">Front page   U.S. Department of the Treasury</a>                                                                                                 |
| Beta                                | 1.36          | <a href="#">The Mosaic Company (MOS) Stock Price, News, Quote &amp; History - Yahoo Finance</a>                                                              |
| Prima de Mercado (rm-rf)            | 4.99%         | <a href="#">Damodaran Online: Home Page for Aswath Damodaran</a>                                                                                             |
| Ce                                  | 11.06%        |                                                                                                                                                              |
| <b>Costo de la Deuda (Cd):</b>      |               |                                                                                                                                                              |
| Costo de Deuda antes de impuestos   | 5.37%         |                                                                                                                                                              |
| Gastos Intereses (Musd)             | 129.40        | <a href="#">XBRL Viewer</a>                                                                                                                                  |
| Deuda Total (Musd)                  | 2,411.90      | <a href="#">XBRL Viewer</a>                                                                                                                                  |
| <b>Tasa de Impuestos (T)</b>        | 30%           | <a href="#">Impuesto a la Renta (IR) - Orientación - Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - Plataforma del Estado Peruano</a> |
| Costo de Deuda después de impuestos | 3.76%         |                                                                                                                                                              |
| <b>Pesos</b>                        |               |                                                                                                                                                              |
| Peso del Capital (We)               | 66.21         | <a href="#">The Mosaic Company (MOS) Stock Price, News, Quote &amp; History - Yahoo Finance</a>                                                              |
| Peso de la Deuda (Wd)               | 33.79         | <a href="https://finance.yahoo.com/quote/MOS/key-statistics/">https://finance.yahoo.com/quote/MOS/key-statistics/</a>                                        |
| WACC                                | 8.59%         |                                                                                                                                                              |
| <b>Riesgo País</b>                  | 2.34%         | <a href="#">Damodaran Online: Home Page for Aswath Damodaran</a>                                                                                             |
| <b>TIR</b>                          | <b>10.93%</b> |                                                                                                                                                              |

*Nota. Elaboración Propia***3.8.6.4.2 Valor Presente Neto (VPN)**

Para modelos Variable Z, en función a las variables estimadas, el modelo financiero y el plan de minado LoM (life of mine) se estimó el VPN (valor presente neto), para cada uno de los modelos de bloques Tabla 18 Anexo 7.

**Tabla 18***Valor Presente Neto para modelos Variable Z*

| Modelo                     | Tamaño de Bloque | Total Bloques | VPN           |
|----------------------------|------------------|---------------|---------------|
| Variable Z (100 x 100)     | 100 x 100        | 13,952        | 1,968,759.261 |
| Variable Z (50 x 50)       | 50 x 50          | 55,538        | 1,992,850.892 |
| Variable Z (33.33 x 33.33) | 33.33 x 33.33    | 125,307       | 1,993,302.187 |
| Variable Z (25 x 25)       | 25 x 25          | 222,503       | 1,992,171.776 |
| Variable Z (20 x 20)       | 20 x 20          | 347,862       | 1,991,880.759 |
| Variable Z (16.67 x 16.67) | 16.67 x 16.67    | 500,421       | 1,990,210.865 |
| Variable Z (14.29 x 14.29) | 14.29 x 14.29    | 681,683       | 1,995,487.791 |
| Variable Z (12.5 x 12.5)   | 12.5 x 12.5      | 887,262       | 1,990,772.376 |
| Variable Z (11.11 x 11.11) | 11.11 x 11.11    | 1,126,136     | 1,536,873.998 |
| Variable Z (10 x 10)       | 10 x 10          | 1,389,028     | 1,537,866.007 |
| Variable Z (5 x 5)         | 5 x 5            | 5,555,497     | 1,537,720.678 |
| Variable Z (2.5 x 2.5)     | 2.5 x 2.5        | 22,217,475    | 1,537,871.582 |

*Nota. Elaboración Propia*

Para modelos fully, en función a las variables estimadas, el modelo financiero y el plan de minado se estimó el VPN (valor presente neto), para cada uno de los modelos de bloques Tabla 19 Anexo7.

**Tabla 19***Valor presente Neto para modelos Fully*

| Modelo                   | Tamaño de Bloque | Total Bloques | VPN           |
|--------------------------|------------------|---------------|---------------|
| Fully (15 x 15 x 1)      | 15 x 15 x 1      | 985,210       | 1,537,574.259 |
| Fully (15 x 15 x 0.5)    | 15 x 15 x 0.5    | 2,063,540     | 1,538,940.932 |
| Fully (15 x 15 x 0.25)   | 15 x 15 x 0.25   | 4,219,880     | 1,538,767.873 |
| Fully (15 x 15 x 0.1666) | 15 x 15 x 0.1666 | 6,376,260     | 1,539,242.102 |
| Fully (15 x 15 x 0.125)  | 15 x 15 x 0.125  | 8,532,200     | 1,538,659.032 |
| Fully (15 x 15 x 0.1)    | 15 x 15 x 0.1    | 10,688,350    | 1,539,101.094 |
| Fully (15 x 15 x 0.0833) | 15 x 15 x 0.0833 | 12,845,460    | 1,538,658.625 |
| Fully (15 x 15 x 0.0714) | 15 x 15 x 0.0714 | 15,002,960    | 1,538,808.648 |
| Fully (15 x 15 x 0.0625) | 15 x 15 x 0.0625 | 17,159,600    | 1,538,986.154 |

*Nota. Elaboración Propia*

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

### 4.1 Resultados de la Investigación

Para los modelos Variable Z, se estimaron las variables Volumen, Ley media y VPN.

Estas estimaciones se realizaron para cada modelo de bloques, utilizando todos los criterios desarrollados en el trabajo de investigación Tabla 20.

**Tabla 20**

*Resultados para modelos Variable Z*

| Modelo                     | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Volumen        | Ley Media | VPN           |
|----------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|---------------|
| Variable Z (100 x 100)     | 100 x 100        | 13,952         | 41,407,042.564 | 21.0117   | 1,968,759.261 |
| Variable Z (50 x 50)       | 50 x 50          | 55,538         | 41,537,546.044 | 21.0145   | 1,992,850.892 |
| Variable Z (33.33 x 33.33) | 33.33 x 33.33    | 125,307        | 41,507,662.227 | 21.0132   | 1,993,302.187 |
| Variable Z (25 x 25)       | 25 x 25          | 222,503        | 41,527,725.971 | 21.0130   | 1,992,171.776 |
| Variable Z (20 x 20)       | 20 x 20          | 347,862        | 41,519,149.179 | 21.0132   | 1,991,880.759 |
| Variable Z (16.67 x 16.67) | 16.67 x 16.67    | 500,421        | 41,515,264.188 | 21.0130   | 1,990,210.865 |
| Variable Z (14.29 x 14.29) | 14.29 x 14.29    | 681,683        | 41,509,652.137 | 21.0131   | 1,995,487.791 |
| Variable Z (12.5 x 12.5)   | 12.5 x 12.5      | 887,262        | 41,516,932.069 | 21.0131   | 1,990,772.376 |
| Variable Z (11.11 x 11.11) | 11.11 x 11.11    | 1,126,136      | 41,514,259.505 | 21.0131   | 1,536,873.998 |
| Variable Z (10 x 10)       | 10 x 10          | 1,389,028      | 41,514,550.557 | 21.0131   | 1,537,866.007 |
| Variable Z (5 x 5)         | 5 x 5            | 5,555,497      | 41,512,972.190 | 21.0131   | 1,537,720.678 |
| Variable Z (2.5 x 2.5)     | 2.5 x 2.5        | 22,217,475     | 41,513,300.372 | 21.0131   | 1,537,871.582 |

*Nota. Elaboración Propia*

Para los modelos Fully, se estimaron las variables Volumen, Ley media y VPN.

Estas estimaciones se realizaron para cada modelo de bloques, utilizando todos los criterios desarrollados en el trabajo de investigación Tabla 21.

**Tabla 21**

*Resultados para modelos Fully*

| Modelo                   | Tamaño de Bloque | Numero Bloques | Volumen        | Ley Media | VPN           |
|--------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|---------------|
| Fully (15 x 15 x 1)      | 15 x 15 x 1      | 985,210        | 41,482,575.000 | 21.0228   | 1,537,574.259 |
| Fully (15 x 15 x 0.5)    | 15 x 15 x 0.5    | 2,063,540      | 41,585,962.500 | 21.0149   | 1,538,940.932 |
| Fully (15 x 15 x 0.25)   | 15 x 15 x 0.25   | 4,219,880      | 41,581,181.250 | 21.0138   | 1,538,767.873 |
| Fully (15 x 15 x 0.1666) | 15 x 15 x 0.1666 | 6,376,260      | 41,596,500.000 | 21.0129   | 1,539,242.102 |
| Fully (15 x 15 x 0.125)  | 15 x 15 x 0.125  | 8,532,200      | 41,585,990.625 | 21.0130   | 1,538,659.032 |
| Fully (15 x 15 x 0.1)    | 15 x 15 x 0.1    | 10,688,350     | 41,592,780.000 | 21.0133   | 1,539,101.094 |
| Fully (15 x 15 x 0.0833) | 15 x 15 x 0.0833 | 12,845,460     | 41,584,575.000 | 21.0126   | 1,538,658.625 |
| Fully (15 x 15 x 0.0714) | 15 x 15 x 0.0714 | 15,002,960     | 41,586,235.714 | 21.0124   | 1,538,808.648 |
| Fully (15 x 15 x 0.0625) | 15 x 15 x 0.0625 | 17,159,600     | 41,591,235.938 | 21.0129   | 1,538,986.154 |

*Nota. Elaboración Propia*

## 4.2 Estadística Descriptiva de las Variables

Para modelos Variable Z, con los resultados obtenidos Tabla 20 se procedió a calcular la estadística de cada descriptiva de las variables Tabla 22. La Ley Media muestra una variabilidad extremadamente baja, con valores muy consistentes y cercanos a la media. Por otro lado, el VPN presenta la mayor dispersión, indicando una alta variabilidad en los valores. El Volumen tiene una variabilidad moderada, con valores relativamente concentrados alrededor de la media.

**Tabla 22**

*Estadísticas para modelos Variable Z*

|                        | Volumen           | Ley Media | VPN                |
|------------------------|-------------------|-----------|--------------------|
| Media                  | 41,508,004.750    | 21.0131   | 1,838,814.014      |
| Desviación estándar    | 32,820.576        | 0.0006    | 222,577.422        |
| Varianza de la muestra | 1,077,190,202.243 | 0.0000    | 49,540,708,820.727 |
| Rango                  | 130,503.480       | 0.0028    | 458,613.793        |
| Mínimo                 | 41,407,042.564    | 21.0117   | 1,536,873.998      |
| Máximo                 | 41,537,546.044    | 21.0145   | 1,995,487.791      |
| Suma                   | 498,096,057.004   | 252.1574  | 22,065,768.172     |
| Cuenta                 | 12                | 12        | 12                 |

*Nota.* Elaboración Propia

Para modelos Fully, con los resultados obtenidos Tabla 21 se procedió a calcular la estadística de cada descriptiva de las variables Tabla 23.

**Tabla 23**

*Estadísticas para modelos Fully*

|                        | Volumen           | Ley Media | VPN            |
|------------------------|-------------------|-----------|----------------|
| Media                  | 41,576,337.336    | 21.0143   | 1,538,748.747  |
| Desviación estándar    | 35,470.707        | 0.0033    | 482.233        |
| Varianza de la muestra | 1,258,171,059.009 | 0.0000    | 232,548.839    |
| Rango                  | 113,925.000       | 0.0103    | 1,667.843      |
| Mínimo                 | 41,482,575.000    | 21.0124   | 1,537,574.259  |
| Máximo                 | 41,596,500.000    | 21.0228   | 1,539,242.102  |
| Suma                   | 374,187,036.027   | 189.1286  | 13,848,738.719 |
| Cuenta                 | 9                 | 9         | 9              |

*Nota.* Elaboración Propia

### 4.3 Prueba de Normalidad

Primero analizar los datos para determinar qué tipo de pruebas realizar a las dos muestras, como el número de datos es menor a 50 usaremos el test de normalidad de Shapiro – Wick Tabla 24 y Tabla 25.

Entonces Planteamos para cada Variable:

Ho: Los datos tiene distribución normal

Ha: Los datos no tiene una distribución normal

Nivel de significancia

Confianza 95%

Significancia (alfa) 5%

Criterio de decisión

$p < 0.05$  rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

$p \geq 0.05$  aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Para modelos Variable Z

**Tabla 24**

*Pruebas de normalidad para modelos Variable Z*

|           | Shapiro-Wilk |    |       | alfa | Criterio    | D Nomal |
|-----------|--------------|----|-------|------|-------------|---------|
|           | Estadístico  | gl | p     |      |             |         |
| Volumen   | 0.556        | 12 | 0.000 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |
| Ley Media | 0.702        | 12 | 0.001 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |
| VPN       | 0.625        | 12 | 0.000 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |

*Nota.* Elaboración Propia

Rechazamos las Ho y por lo tanto no tienen una distribución normal.

**Tabla 25***Pruebas de normalidad para modelos Fully*

|           | Shapiro-Wilk |    |       | alfa | Criterio    | D Nomal |
|-----------|--------------|----|-------|------|-------------|---------|
|           | Estadístico  | gl | p     |      |             |         |
| Volumen   | 0.517        | 9  | 0.000 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |
| Ley Media | 0.580        | 9  | 0.000 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |
| VPN       | 0.783        | 9  | 0.013 | 0.05 | Rechazar Ho | No      |

*Nota.* Elaboración Propia

Rechazamos las Ho y por lo tanto no tiene una distribución normal

Conclusión:

Entonces se utiliza estadística no paramétrica.

#### 4.4 Contrastación de Hipótesis - Prueba de Hipótesis

Se realizaron pruebas de hipótesis para cada uno de los modelos de bloques variable Z y Fully.

##### 4.4.1 Para Modelos Variable Z

Para los modelos Variable Z se estimaron las correlaciones Rho de Spearman al ser estadística no paramétrica Tabla 26.

**Tabla 26***Correlaciones Rho de Spearman Variable Z*

|           |                             | Volumen | Ley Media    | VPN          |
|-----------|-----------------------------|---------|--------------|--------------|
| Volumen   | Coefficiente de correlación | 1.000   | <b>0.169</b> | <b>0.147</b> |
|           | Sig. (bilateral)            |         | 0.599        | 0.649        |
| Ley Media | Coefficiente de correlación | 0.169   | 1.000        | <b>0.493</b> |
|           | Sig. (bilateral)            | 0.599   |              | 0.103        |
| VPN       | Coefficiente de correlación | 0.147   | 0.493        | 1.000        |
|           | Sig. (bilateral)            | 0.649   | 0.103        |              |

*Nota.* Elaboración Propia

##### 4.4.2 Para Modelos Fully

Para los modelos Variable Z se estimaron las correlaciones Rho de Spearman al ser estadística no paramétrica Tabla 27.

**Tabla 27***Correlaciones Rho de Spearman Fully*

|           |                            | Volumen | Ley Media     | VPN           |
|-----------|----------------------------|---------|---------------|---------------|
| Volumen   | Coeficiente de correlación | 1.000   | <b>-0.467</b> | <b>.883**</b> |
|           | Sig. (bilateral)           |         | 0.205         | 0.002         |
| Ley Media | Coeficiente de correlación | -0.467  | 1.000         | <b>-0.183</b> |
|           | Sig. (bilateral)           | 0.205   |               | 0.637         |
| VPN       | Coeficiente de correlación | .883**  | -0.183        | 1.000         |
|           | Sig. (bilateral)           | 0.002   | 0.637         |               |

*Nota.* Elaboración Propia\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

#### 4.5 Discusión de Resultados

(Altinpinar, 2021) en su tesis “Synthetic High-Resolution Ore Deposit Model and Mine Plan” destaca la importancia fundamental de desarrollar modelos de bloques de alta resolución para representar depósitos minerales con precisión y exhaustividad. enfatiza cómo la representación detallada de datos geológicos y geoquímicos proporciona una base sólida para evaluar y comparar metodologías de planificación minera, revelando diferencias significativas entre modelos estimados y datos reales que pueden alcanzar hasta un 11.7% en contenido metálico, con implicaciones directas en la viabilidad económica y operativa de los proyectos con los resultados obtenidos de modelos de bloques en depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia confirman y amplían ya que las diferencias identificadas entre los modelos Variable Z y Fully demuestran la criticidad en la selección de modelos apropiados para la estimación de recursos. El modelo Variable Z mostró una variabilidad notable en el NPV 24.94%, incluso con variaciones mínimas en la ley de bloques 0.01%, mientras que el modelo Fully exhibió una estabilidad substancialmente superior con apenas 0.11% de variación en NPV. Estas pequeñas diferencias en los parámetros de estimación pueden traducirse en impactos económicos considerables, reforzando la necesidad de implementar modelos de bloques para evaluaciones más precisas y confiables de proyectos mineros.

(Cáceres, 2022) en su tesis de maestría "Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de bloques en el yacimiento Pampacancha, Constancia - Perú" enfatiza la

importancia del análisis geoquímico detallado para mejorar la precisión de los modelos de bloques. El autor demuestra cómo la identificación de dominios geoquímicos mediante el modelamiento de cuerpos con características similares permitió optimizar significativamente la estimación de recursos minerales. Sus resultados revelaron mejoras considerables en la reconciliación de diversos elementos: 2% para el cobre, 16% para el zinc, 13% para el oro, 3% para el plomo y 1% para la plata durante un período de evaluación de 8 meses.

Existe una diferencia fundamental entre el trabajo de Cáceres y nuestra investigación en términos del enfoque y tipo de modelamiento de bloques empleado. Mientras Cáceres se centró en la optimización mediante dominios geoquímicos en un yacimiento polimetálico, nuestra investigación aborda modelos específicos Variable Z y Fully en depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia, contextos geológicos sustancialmente diferentes. Los resultados de ambos estudios respaldan esta diferenciación Cáceres reporta variaciones significativas en las leyes minerales hasta 16% para zinc, mientras que en nuestro caso las variaciones en ley de bloques son considerablemente menores (0.01% para Variable Z y 0.05% para Fully). Estos porcentajes contrastantes confirman cómo el tipo de modelo de bloques implementado y el contexto geológico influyen decisivamente en la magnitud de las variaciones de ley, subrayando la importancia de seleccionar metodologías apropiadas según las características específicas de cada depósito mineral.

(Vila, 2023), en su tesis de maestría "Uso de la reconciliación para reducir la incertidumbre de la ley en la estimación de recursos minerales en la Mina San Rafael" demuestra la importancia crítica de perfeccionar los procesos de estimación de recursos minerales para reducir la incertidumbre en las leyes identificadas mediante prácticas de reconciliación. El autor evidencia cómo el aumento de información de muestreo geológico contribuye a un "sinceramiento" de las leyes minerales y documenta resultados cuantitativos significativos: una variación del 6% entre leyes sin mejoras y con mejoras en

la estimación, y una variación del 7% entre leyes mejoradas y leyes reales extraídas. Este refinamiento metodológico generó un impacto económico sustancial, con un beneficio de \$30 millones en el Valor Actual Neto al implementar las mejoras en la estimación.

Nuestra investigación sobre modelos de bloques en depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia muestra importantes paralelismos con el trabajo de Vila, aunque con magnitudes diferentes. Mientras Vila reportó variaciones del 6-7% en las leyes minerales, nuestro estudio reveló variaciones considerablemente menores 0.01% en la ley de bloques para el modelo Variable Z y 0.05% para el modelo Fully. Sin embargo, estas pequeñas diferencias en ley generaron un impacto desproporcionado en el NPV el modelo Variable Z exhibió una variabilidad del 24.94% en NPV (con valores que oscilaron entre \$1.54 y \$2.00 millones), mientras que el modelo Fully demostró mayor estabilidad con apenas 0.11% de variación. Esta disparidad entre la magnitud de las variaciones en ley y su impacto económico refuerza la conclusión de Vila sobre cómo pequeñas mejoras en la estimación de leyes pueden traducirse en beneficios económicos significativos, aunque en nuestro caso las diferencias en ley fueron menores pero con impactos económicos proporcionalmente mayores.

#### **4.5.1 Para Modelos Variable Z**

La correlación entre Volumen y Ley Media, existe una correlación positiva muy débil ( $\rho = 0.169$ ), y al ser  $p > 0.05$  (0.599), la correlación no es estadísticamente significativa.

La correlación entre Volumen y VPN (valor presente neto), existe una correlación positiva muy débil ( $\rho = 0.147$ ), y al ser  $p > 0.05$  (0.649), la correlación no es estadísticamente significativa.

La correlación entre Ley Media y VPN (valor presente neto), existe una correlación positiva moderada ( $\rho = 0.493$ ), y al ser  $p > 0.05$  (0.103), la correlación no es estadísticamente significativa.

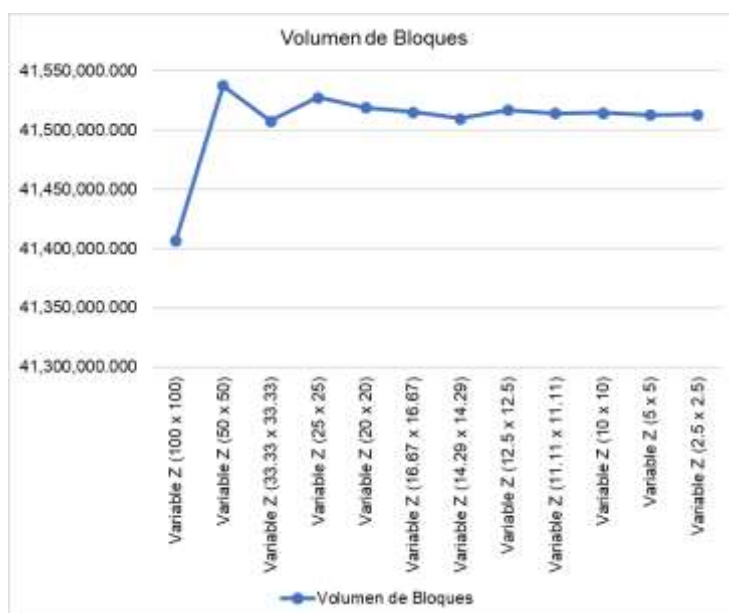
Ho: ACEPTADA - Los resultados apoyan la hipótesis nula, ya que ninguna de las correlaciones resultó estadísticamente significativa (todos los p-valores  $> 0.05$ ).

H1, H2, H3: RECHAZADAS - No hay evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo de bloques influye significativamente en ninguna de las variables estudiadas.

El volumen total muestra pequeñas variaciones entre 41,407,042 m<sup>3</sup> y 41,537,546 m<sup>3</sup> Figura 31.

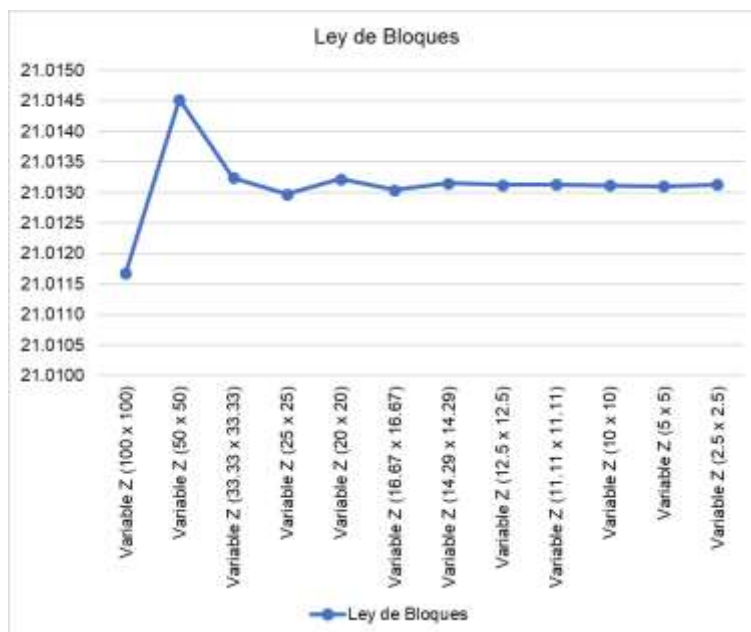
**Figura 31**

*Modelos Variable Z Volumen*

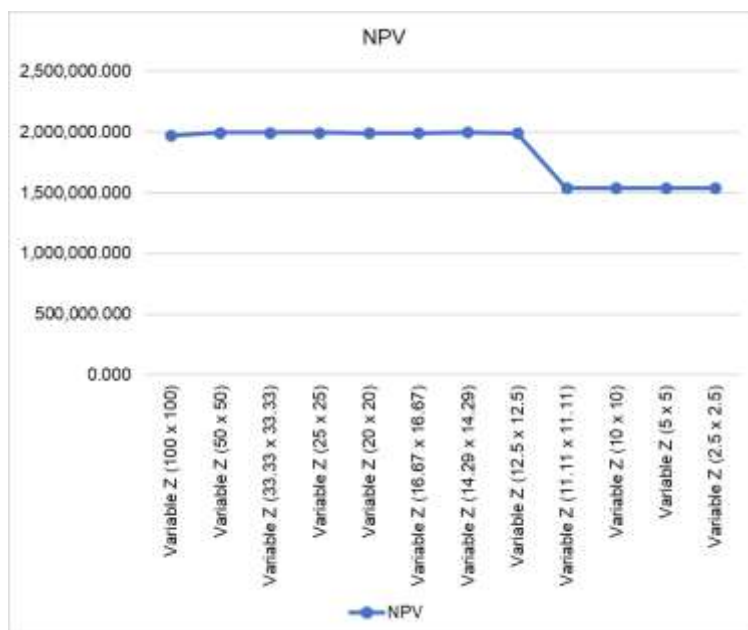


*Nota. Elaboración Propia*

La ley media muestra una variación mínima en todo el rango de tamaños, fluctuando entre 21.0117% y 21.0145% Figura 32.

**Figura 32***Modelos Variable Z Ley media**Nota. Elaboración Propia*

El VPN muestra un comportamiento con dos rangos claramente diferenciados, existe un punto crítico en el tamaño 11.11 x 11.11, donde el VPN cae un 23% Figura 33.

**Figura 33***Modelos Variable Z VPN**Nota. Elaboración Propia*

#### **4.5.2 Para Modelos Fully**

La correlación entre Volumen y Ley media, existe una correlación negativa moderada ( $\rho = -0.467$ ), y al ser  $p > 0.05$ , la correlación no es estadísticamente significativa.

La correlación entre Volumen y VPN, existe una correlación positiva fuerte ( $\rho = 0.883$ ), y al ser  $p < 0.05$ , la correlación es estadísticamente significativa.

La correlación entre Ley media y VPN, existe una correlación negativa muy débil ( $\rho = -0.183$ ), y al ser  $p > 0.05$ , la correlación no es estadísticamente significativa

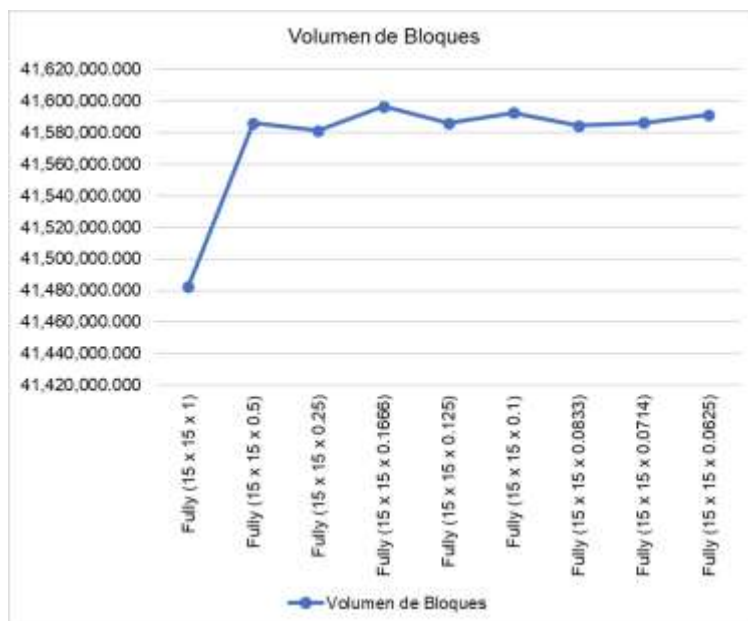
H0: SE RECHAZA PARCIALMENTE - No se puede aceptar completamente la hipótesis nula ya que se encontró que el modelo de bloques sí tiene una influencia significativa en al menos una de las relaciones estudiadas (Volumen-VPN).

H1: SE ACEPTA - El modelo de bloques influye significativamente en el valor presente neto (VPN), evidenciado por una correlación fuerte y estadísticamente significativa con el volumen ( $\rho = 0.883$ ,  $p = 0.002$ ).

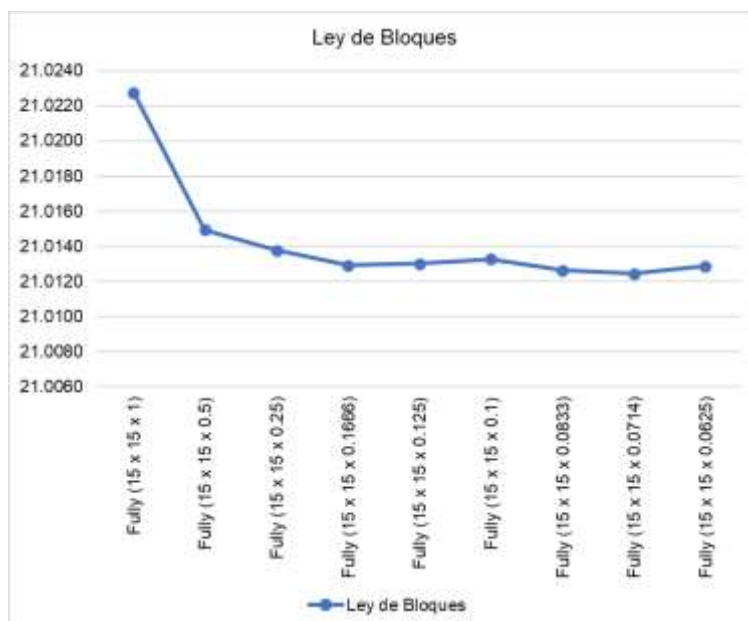
H2: SE RECHAZA - El modelo de bloques no influye significativamente en la ley media, demostrado por correlaciones no significativas tanto con el volumen ( $p = 0.205$ ) como con el VPN ( $p = 0.637$ ).

H3: SE ACEPTA - El modelo de bloques influye significativamente en el volumen, confirmado por su fuerte correlación con el VPN ( $\rho = 0.883$ ) que es estadísticamente significativa ( $p = 0.002$ ).

El volumen total varía entre 41,482,575 m<sup>3</sup> y 41,596,500 m<sup>3</sup> Figura 34.

**Figura 34***Modelos Fully Volumen**Nota. Elaboración Propia*

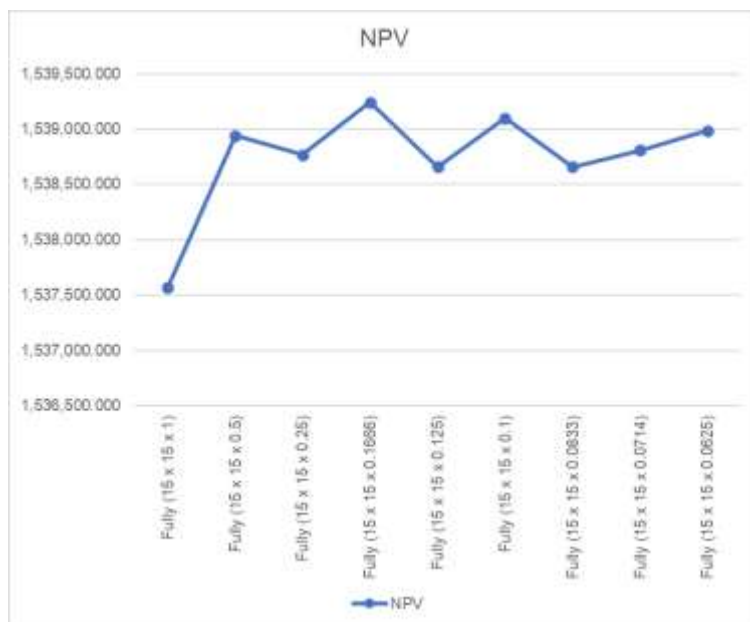
La ley media muestra una tendencia decreciente sutil desde 21.0228% hasta estabilizarse alrededor de 21.0129%. Figura 35.

**Figura 35***Modelos Fully Ley media**Nota. Elaboración Propia*

El VPN muestra un comportamiento muy estable, variando entre \$1,537,574 y \$1,539,242, Figura 36.

**Figura 36**

*Modelos Variable Z VPN*



*Nota. Elaboración Propia*

## CONCLUSIONES

Para la hipótesis nula ( $H_0$ ), se observan comportamientos contrastantes entre los modelos estudiados. El modelo Variable Z acepta la hipótesis nula al no presentar correlaciones estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). En contraste, el modelo Fully rechaza parcialmente la hipótesis debido a una correlación significativa ( $p = 0.002$ ) y fuerte ( $p = 0.883$ ) entre volumen y VPN. Esto indica que el modelamiento con espesor variable tiene un impacto más significativo en las relaciones entre variables que el modelamiento con dimensiones horizontales variables.

La hipótesis sobre la influencia en el VPN muestra resultados divergentes. En el modelo Variable Z, se rechaza la hipótesis al no encontrar correlaciones significativas. Sin embargo, en el modelo Fully, se acepta la hipótesis debido a la fuerte correlación con el volumen ( $p = 0.883$ ,  $p = 0.002$ ). Esta diferencia sugiere que el VPN es más sensible a las variaciones en el espesor del bloque que a los cambios en las dimensiones horizontales, indicando una mayor influencia de la discretización vertical.

La hipótesis sobre la influencia en la ley media muestra consistencia en ambos modelos. Tanto en Variable Z como en Fully, se rechaza la hipótesis al no encontrar correlaciones significativas con el volumen ( $p = 0.205$ ) ni con el VPN ( $p = 0.637$ ). Esto sugiere que la ley media es una variable robusta que mantiene su estabilidad independientemente del tipo de modelamiento utilizado, sea por variación de dimensiones horizontales o de espesor.

La hipótesis sobre la influencia en el volumen presenta resultados diferentes en cada modelo. En Variable Z se rechaza la hipótesis al no mostrar correlaciones significativas. En contraste, el modelo Fully acepta la hipótesis debido a su correlación significativa con el VPN ( $p = 0.883$ ,  $p = 0.002$ ). Esto indica que el volumen es más sensible a las variaciones en el espesor del bloque que a los cambios en las dimensiones horizontales.

## RECOMENDACIONES

Para optimización del Tamaño de Bloque se recomienda utilizar bloques con dimensiones superiores a Variable Z ( $11.11 \times 11.11$ ) en el modelo Variable Z, ya que tamaños menores resultan en una caída significativa del 23% en el VPN sin beneficios aparentes en la estimación de ley media o volumen.

Para factores económicos, se sugiere priorizar el modelo Fully debido a su estabilidad en el VPN, con variaciones máximas de solo 0.1%, lo que proporciona mayor confiabilidad en las estimaciones financieras.

Se recomienda mantener un espesor de bloque moderado en el modelo Fully, ya que la reducción excesiva del espesor no mejora significativamente la estimación de la ley media ni el VPN, pero aumenta considerablemente el número de bloques y el tiempo de procesamiento.

Para optimizar recursos computacionales, se sugiere evitar tamaños de bloque extremadamente pequeños (como  $2.5 \times 2.5$  en Variable Z), ya que el aumento exponencial en el número de bloques no aporta mejoras significativas en las variables estudiadas.

Para proyectos donde la precisión del VPN es crítica, se recomienda utilizar el modelo Fully debido a su estabilidad y correlaciones significativas, especialmente en la relación Volumen Vs VPN.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo de la ley media, independientemente del modelo seleccionado, ya que esta variable muestra estabilidad y robustez en ambos modelos, sirviendo como un indicador confiable de la calidad de la estimación.

## BIBLIOGRAFIA

- Agramonte, J. (1983). *Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar*. Sociedad Geológica del Perú, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3667>
- Ahmadi, M. (2018). Cutoff grade optimization based on maximizing net present value using a computer model. *Journal of Sustainable Mining*, 17, 68-75.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.04.002>
- Ahmed, K., Elwageeh, M., Bonduà, S., & Elkarmoty, M. (2023). Evaluation of mining projects subjected to economic uncertainties using the Monte Carlo simulation and the binomial tree method: Case study in a phosphate mine in Egypt. *Resources Policy*, 80(103266), 2-3.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103266>
- Allende, V., Preve, L., & Fraile, G. (2020). *Las Finanzas en la Empresa*. Buenos Aires, Argentina: TEMAS Grupo Editorial. 978-987-3887-27-7
- Altinpinar, M. (2021). *Synthetic High Resolution Block Model for Benchmarking Mining Technologies [Master of Applied Science]*. Queen's University, Ontario.  
<http://hdl.handle.net/1974/29527>
- Andika, T. (2014). Stripping Ratios, Pit Limits & Cutoff Grade Optimization. *USM*, 18-21.  
[https://www.academia.edu/10611632/Stripping\\_Ratios\\_Pit\\_Limits\\_and\\_Cutoff\\_Grade\\_Optimization](https://www.academia.edu/10611632/Stripping_Ratios_Pit_Limits_and_Cutoff_Grade_Optimization)
- Arias, F. (2016). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7ma ed.). Caracas, Venezuela: Episteme. <https://doi.org/980-07-8529-9>
- Aristien, H. (2022). *Production schedule optimization using linear programming concept in Minesight 3D for a multi-pit coal mine in Indonesia [Master of Applied Science]*. Colorado School of Mines, USA. <https://hdl.handle.net/11124/15402>
- Baca, G. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Económica* (Séptima ed.). Mexico D.F.: Mc Graw Hill. Retrieved 22 de Junio de 2021, from  
[https://www.academia.edu/13450952/Evaluacion\\_de\\_Proyectos\\_6ta\\_ed\\_Gabriel\\_Baca\\_Urbina](https://www.academia.edu/13450952/Evaluacion_de_Proyectos_6ta_ed_Gabriel_Baca_Urbina)
- Barboza, I., & Deutsch, C. (2024). Quantitative Kriging Neighborhood Analysis (QKNA). *Geostatistics Lessons*, 10.  
<https://doi.org/http://www.geostatisticslessons.com/lessons/qkna>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (3ra, Ed.) Bogotá, Colombia: Pearson Educación. <https://doi.org/978-958-699-128-5>
- Bowyer, A. (1981). Computing Dirichlet tessellations\* . *The Computer Journal*, 2, 162-166.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/comjnl/24.2.162>

- Cáceres, L. (2022). *Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de bloques en el yacimiento Pampacancha, Constancia - Perú [Magíster en Geología]*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18903>
- Calder, P. (2000). *Tópicos de Ingeniería en Minas a Rajo Abierto*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Calder, P., Koniaris, E., & McCann. (1995). Diseño y Planificación de Minas a Tajo Abierto con Q Pit. *Revista Minería Chilena* N° 160, 85-95.
- Castillo, R. (2022). *Modelamiento multivariable y cuantificación de la incertidumbre de los recursos en un yacimiento tipo pórfido cuprífero usando datos de muestreo de largo y corto plazo*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191477>
- Cheney, T., McClellan, G., & Montgomery, E. (1979). Sechura phosphate deposits, their stratigraphy, origin, and composition. *Economic Geology*, 74, 232-259. <https://doi.org/https://doi.org/10.2113/gsecongeo.74.2.232>
- Córdoba, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Sede Académica La Paz: Ecoe ediciones.
- Cressie, N. (1985). Fitting variogram models by weighted least squares. *Mathematical Geology*, 17, 563-586. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01032109>
- Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. New York: Wiley. [https://doi.org/ISBN 978-1-119-11461-1](https://doi.org/ISBN%20978-1-119-11461-1)
- Cressie, N., & Hawkins, D. (1980). *Robust estimation of the variogram* (Vol. 12). Journal of the international Association for Mathematical Geology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01035243>
- De Boer, M., Wolzak, L., & Slootweg, C. (2019). *Phosphorus: Reserves, Production, and Applications*. Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-8031-9\\_5](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-8031-9_5)
- Deutsch, J., Szymanski, J., & Deutsch, C. (2014). Checks and measures of performance for kriging estimates. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(3), 223-223. [https://doi.org/ISSN 2411-9717](https://doi.org/ISSN%202411-9717)
- Deutsch, M. (2023). *Open-pit mine planning with operational constraints [Doctor of Philosophy]*. Colorado School of Mines, USA. <https://hdl.handle.net/11124/178655>
- Diehl, P., & David, M. (1982). Classification of ore reserves/resources based on geostatistical methods. *CIM Bulletin*, 75(838).
- Fayed, M., & Mouftah, H. (2009). Localised alpha-shape computations for boundary recognition in sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 7, 1529-1269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2008.12.001>

- Focus Ventures. (2014). *NI 43-101 Mineral Resource Technical Report on the Bayovar 12 Phosphate Project, Piura Region, Peru*. British Columbia.  
<https://www.scribd.com/document/244706722/Bayovar-12-NI-43-101-pdf>
- Forster, M., Arvidson, H., & Carrasco, C. (2023). A New High-Performance Approach to Block Model Governance and Data Democratization. *Society for Mining, Metallurgy & Exploration*, 1-2. <https://onemine.org/documents/a-new-high-performance-approach-to-block-model-governance-and-data-democratization>
- Fraile, G., Preve, L., & Allende, V. (2016). *Las Finanzas en la empresa*. TEMAS Grupo Editorial SRL.  
[https://doi.org/ISBN 978-987-3887-27-7](https://doi.org/ISBN%20978-987-3887-27-7)
- Genton, M. (1998). Highly Robust Variogram Estimation. *Mathematical Geology*, 30, 213-221.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1021728614555>
- Gestión. (21 de Noviembre de 2020a). *¿Qué es el punto de equilibrio de una empresa y cómo calcularlo con un ejemplo?* Retrieved 24 de Junio de 2021, from Gestión:  
<https://gestion.pe/economia/que-es-el-punto-de-equilibrio-de-una-empresa-y-como-calcularlo-con-un-ejemplo-nnda-nnlt-noticia/?ref=gesr>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oso/9780195115383.001.0001>
- Gringarten, E., & Deutsch, C. (2001). Teacher's Aide Variogram Interpretation and Modeling. *Mathematical Geology*, 33, 507-534.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1011093014141>
- Guibal, D. (2001). Variography, a tool for the resource geologist. *Mineral resource and ore reserve estimation – the AusIMM guide to good practice*. AusIMM, 85-90.
- Gutiérrez Betancur, J. F. (2007). *Formulación de proyectos*,  
<https://www.efdeportes.com/efd106/formulacion-de-proyectos.htm>. (U. d. Antioquia, Editor) Programa de Maestría en Línea: ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS.
- Hamoud, M., Sulong, G., & Shuaib, I. (2015). Alpha shape theory for 3D visualization and volumetric measurement of brain tumor progression using magnetic resonance images. *Magnetic Resonance Imaging*, 33, 708-803.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mri.2015.03.008>
- Hansen, A., & Levin, P. (1992). On confirming Delaunay mesh generation. *Advances in Engineering Software*, 14(2), 129-135. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0965-9978\(92\)90058-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0965-9978(92)90058-N)
- He, H., Bai, S., Zhao, X., & Chen, J. (2002). Discussion on strata partition in three dimension. *Rock and Soil Mechanics* 23 (5), 637–639 (in Chinese).  
<http://ytlx.whrsm.ac.cn/EN/Y2002/V23/I5/637>

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill Interamericana.  
<https://doi.org/978-1-4562-6096-5>
- Isaaks, E., & Srivastava, R. (1991). An Introduction to Applied Geostatistics. *Computers & Geosciences*, 17, 471-473. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90055-I](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90055-I)
- Kampf, R., Majerčák, P., & Švagr, P. (2016). Application of Break-Even Point Analysis. 126-128.
- Krige, D. (1996). A practical analysis of the effects of spatial structure and of data available and accessed, on conditional biases in ordinary kriging. *Geostatistics Wollongong(2)*, 779-810.  
<https://doi.org/https://www.saimm.co.za/Conferences/DanieKrige/DGK43.pdf>
- Lane, K. (1964). Choosing the optimum cut-off grade. *Colorado School of Mines Quarterly*, 59 (4) , 811-829.
- Lawson, C. (1977). Software for C1 Surface Interpolation. *Mathematical Software(28)*, 161-194.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-587260-7.50011-X>
- Lemon, A., & Jones, N. (2003). Building solid models from boreholes and user-defined. *Computers and Geosciences* 29 (5), 29, 547–555. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(03\)00051-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0098-3004(03)00051-7)
- Lerchs, H., & Grossman, I. (1965). Optimum Design of Open Pit Mines.
- Lizarraga, M. (2023). *Evaluación del valor presente neto (VPN) en función de los contactos gradacionales diluciones del depósito sedimentario de fosfatos "las tortugas"*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, Piura.  
<https://doi.org/http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/4909>
- Maldonado, C., & Mayorga, J. (2022). Influencia y efectos de la dimensión espacial del soporte en la estimación de recursos minerales. 25(49), 21-29.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.23024>
- Marchant, B., & Lark, R. (2004). Estimating Variogram Uncertainty. *Mathematical Geology* , 36, 867-898. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/B:MATG.0000048797.08986.a7>
- Mariscal , E. (2022). *Gestión para la predicción de recursos y reservas de un yacimiento minero, utilizando programaciones en Matlab [Magíster en Regulacion, Gestion y Economía Minera]*. Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/23095>
- Mavila, D., & Polar, E. (2005). Flujo de caja y tasa de corte para la evaluación de proyectos de inversión. *Industrial Data*, 8, 2. Retrieved 27 de Junio de 2021, from  
[https://www.researchgate.net/publication/307180752\\_FLUJO\\_DE\\_CAJA\\_Y\\_TASA\\_DE\\_CORTE\\_PARA\\_LA\\_EVALUACION\\_DE\\_PROYECTOS\\_DE\\_INVERSION](https://www.researchgate.net/publication/307180752_FLUJO_DE_CAJA_Y_TASA_DE_CORTE_PARA_LA_EVALUACION_DE_PROYECTOS_DE_INVERSION)
- Mazón, L., Villao, D., Nuñez, W., & Serrano, M. (2017). Análisis de punto de equilibrio en la toma de decisiones de un negocio: caso Grand Bazar Riobamba. *Revista de Estrategias del*

- Desarrollo Empresarial*, 14-15. Retrieved Junio 15, 2021, from [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias\\_del\\_Desarrollo\\_Empresarial/vol3num8/Revista\\_de\\_Estrategias\\_del\\_Desarrollo\\_Empresarial\\_V3\\_N8\\_2.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial/vol3num8/Revista_de_Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial_V3_N8_2.pdf)
- Medenbach, O., & Sussieck-Formefeld, C. (1983). *Minerales*. Blume. [https://doi.org/ISBN 84-7031-506-4](https://doi.org/ISBN%2084-7031-506-4)
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 67-85. Retrieved 20 de Junio de 2021, from [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7\\_a06.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf)
- Meza, J. (2005). *Evaluación financiera de proyectos*. Bogotá: ECOE Ediciones. Retrieved 24 de Junio de 2021, from <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2017/04/Evaluaci%C3%B3n-financiera-de-proyectos-4ta-Edici%C3%B3n.pdf>
- Minnitt, R. (2004). Cut-off grade determination for the maximum value of a small Wits-type gold mining operation. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104 (5), 277-283.
- Orejuela, S., & Sandoval, P. (2002). *Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos*. (Tesis de licenciatura, Universidad de Chile). [https://www.eenbasque.net/guia\\_transferencia\\_resultados/files/Univ.Chile\\_Tesis\\_Guia\\_del\\_Estudio\\_de\\_Mercado\\_para\\_la\\_Evaluacion\\_de\\_Proyectos.pdf](https://www.eenbasque.net/guia_transferencia_resultados/files/Univ.Chile_Tesis_Guia_del_Estudio_de_Mercado_para_la_Evaluacion_de_Proyectos.pdf)
- Orlando, Z. (2006). Tipos de Investigacion. *Revista Científica General José María*, 4(4), 13-14. <https://doi.org/1900-6586>
- Osanloo, M., & Ataei, M. (2003). Using equivalent grade factors to find the optimum cut-off grades of multiple metal deposits. *Minerals Engineering*, 16 (8), 16, 771-776. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00163-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00163-8)
- Osanloo, M., Rashidinejad, F., & Rezai, B. (2008). Incorporating environmental issues into optimum cut-off grades modeling at porphyry copper deposits. *Resources Policy*, 33 (4) , 222-229.
- Osanloo, O., Gholamnejad, J., & Karimi, B. (2008). Long-term open pit mine production planning: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 1-4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17480930601118947>
- Perez, L. (2018). *Estadística aplicada a la investigación: Métodos y técnicas para el análisis de dato* (2da ed.). Madrid, España: Síntesis.
- Poniewierski, J. (2019). *Block Model Knowledge for Mining Engineers – An Introduction*. Deswik. <https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2019/07/Block-model-knowledge-for-mining-engineers-An-introduction.pdf>

- Rivoirard, J. (1987). Two key parameters when choosing the kriging neighborhood. *Mathematical Geology*, 851-856. <https://doi.org/https://api.semanticscholar.org/CorpusID:120894674>
- Rodríguez, J. (2008). Flujo de caja. Herramienta clave para la toma de decisiones en la microempresa. *Dialnet*, 2(4), 12. Retrieved 29 de Junio de 2021, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4780127>
- Santos, T. (2008). Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio. *Contribuciones a la Economía*. Retrieved 16 de Junio de 2021, from <https://www.eumed.net/ce/2008b/tss.htm>
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogota, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Seequent. (2023). *Help and Resources for Leapfrog Geo 2023.2*, 2023.2. (T. B. Company, Editor) <https://help.seequent.com/Geo/2023.2/en-GB/Content/block-models/block-models.htm>
- Tatiya, R. (1996). Cutoff-grade decisions in relation to an Indian copper-mining complex. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section A. Mining Industry*, 105.
- Temizyürek, B. (2023). *A predictive model using block data for dilution control in open pit mining [Master of Applied Science]*. University of British Columbia, Vancouver. <http://hdl.handle.net/2429/86970>
- Turner, A. (2006). Challenges and trends for geological modelling and visualization. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 65 (2), 109–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10064-005-0015-0>
- Vila, X. (2023). *Uso de la reconciliación para reducir la incertidumbre de la ley en la estimación de recursos minerales en la Mina San Rafael [Magíster en Regulación, Gestión y Economía Minera]*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26420>
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications* (Tercera ed.). France: Springer Science & Business Media. <https://doi.org/3540441425,9783540441427>
- Watson, D. (1981). Computing the n-Dimensional Delaunay Tessellation with Application to Voronoi Polytopes. *Computer Science, Mathematics*, 2(24), 167-172. <https://doi.org/doi:10.1093/comjnl/24.2.167>
- Yong, L., & Yanwei, Z. (2021). Accurate Volume Calculation Driven by Delaunay Triangulation for Coal Measurement. *Scientific Programming*, 1, 3-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/6613264>
- Yong, L., & Yanwei, Z. (2021). Accurate Volume Calculation Driven by Delaunay Triangulation for Coal Measurement. *School of Computer Science and Technology*, 2021, 3-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/6613264>

- Zahra, A., & Clayton V, D. (2024). Kriging with Constraints. 9.  
<https://doi.org/https://geostatisticslessons.com/pdfs/krigingconstraints.pdf>
- Zegarra, J., & Canales, H. (2012). *Importancia de los fosfatos en la industria agrícola y agroquímica*. Lima: Sociedad Geológica del Perú.  
<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG16-192.pdf>
- Zhu, H., & Wu, J. (2005). 2D and 2.5D Modeling of strata based on Delaunay triangulation. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* 24 (22), 4073–4079 (in Chinese).
- Zhu, L., Wu, X., Liu, X., & Shang, J. (2004). Reconstruction of 3D strata model based on borehole data. *Geography and Geo-Information Science* 20 (3), 26–30 (in Chinese).  
[http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-DLGT200403006.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-DLGT200403006.htm)
- Zhu, L., Zhang, C., Li, M., Pan, X., & Sun, J. (2006). Building 3D solid models of sedimentary stratigraphic systems from borehole data: An automatic method and case studies. *Engineering Geology*, 127, 1-13.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.001>
- Zhu, L., Zhang, C., Li, M., Pan, X., & Sun, J. (2011, Diciembre 29). Building 3D solid models of sedimentary stratigraphic systems from borehole data. (Z. E. B.V., Ed.) *Engineering Geology*, 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.001>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de Consistencia.

| TITULO: "INFLUENCIA DEL MODELO DE BLOQUES EN EL VALOR PRESENTE NETO, LEY MEDIA Y VOLUMEN DE DEPOSITOS SEDIMENTARIOS DE FOSFATOS DE BAJA POTENCIA"                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | VARIABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | TIPO/ DISEÑO                                                                                              |
| <p><b>PROBLEMA GENERAL:</b><br/>¿En qué medida del modelo de bloques influye en el valor presente neto, ley media y volumen de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b><br/>¿Cuál es efecto modelo de bloques en la estimación valor presente neto, inversiones, ingresos, egresos de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?<br/>¿De qué manera influye el modelo de bloques en la ley media calculada de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?<br/>¿Cómo afecta el modelo de bloques en el volumen total calculado de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia?</p> | <p><b>OBJETIVO GENERAL:</b><br/>Determinar el grado de influencia del modelo de bloques en la estimación del valor presente neto, ley media y volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b><br/>Cuantificar el efecto del modelo de bloques en la estimación de valor presente neto inversiones, ingresos y egresos de un depósito sedimentario de fosfatos de baja.<br/><br/>Analizar la influencia del modelo de bloques en el cálculo de la ley media de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.<br/><br/>Conocer cómo afecta el modelo de bloques en el cálculo del volumen total de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia</p> | <p><b>HIPÓTESIS NULA:</b><br/>El modelo de bloques no influye significativamente en el valor presente neto, ley media y volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.</p> <p><b>HIPÓTESIS ALTERNATIVA:</b><br/>H1: El modelo de bloques influye significativamente en el valor presente neto de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.<br/>H2: El modelo de bloques influye significativamente en la ley media de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.<br/>H3: El modelo de bloques influye significativamente en el volumen de depósitos sedimentarios de fosfatos de baja potencia.</p> | <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b><br/>Modelo de bloques</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b><br/>V1: Valor presente neto de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia<br/>V2: Ley media de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia<br/>V3: Volumen de un depósito sedimentario de fosfatos de baja potencia</p> | <p>Tipo de investigación:<br/>Cuantitativa<br/>Enfoque:<br/>Correlacional<br/>Diseño:<br/>Transversal</p> |

## Anexo 2 Matriz de Operacionalización de Variables

| Variable                                      | Definición Conceptual                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Definición Operacional                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Indicadores                                                                                         |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VI Modelo de Bloques                          | Los modelos de bloques son creados para representar la geología y las características de las rocas de los depósitos minerales representan enormes conjuntos de datos complejos, (Forster y otros, 2023).                                                                                                                     | <p>Para calcular el volumen del modelo de bloques (<math>Vol_{Blk}</math>) se debe estimar por bloques individuales, todos con una longitud designada (incremento X), ancho (incremento Y) y altura (incremento Z). La posición del bloque puede estar definida por un centroide (<math>X_c, Y_c, Z_c</math>) o un origen de bloque (<math>X_{min}, Y_{min}, Z_{min}</math>).</p> $Vol_{Blk} = V_0 + \sum_{t=1}^n dX_t \times dY_t \times dZ_t$ <p>Donde:</p> <p>dX: incremento en Longitud</p> <p>dY: incremento en ancho</p> <p>dZ: incremento en altura</p> <p>Vo: Volumen Inicial.</p> | Longitud(m)<br>Ancho (m)<br>Altura (m)                                                              |
| VD: Valor Presente Neto (VPN) de la inversión | El valor presente neto (VPN) es el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente. Es un método de modelado financiero para la elaboración de presupuestos de capital y por analistas e inversores para evaluar la rentabilidad de las inversiones y proyectos propuestos. (Gutiérrez Betancur, 2007). | <p>Para calcular el valor presente neto (VPN) hay que visualizar todos los flujos de caja hasta el momento actual y descontarles el tipo de interés determinado. De esta forma, cada entrada y salida de efectivo se restará del valor actual y se sumará, tal como lo establece la siguiente fórmula:</p> $VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t}$ <p>Donde:</p> <p>FET: flujo de efectivo en el periodo t, puede tomar un valor positivo o negativo.</p> <p>i: tasa de descuento.</p> <p>I<sub>0</sub>: inversión inicial.</p>                                                   | Ingresos<br>Egresos (USD).<br>Inversión (USD).<br>Flujo de efectivo (USD)<br>Tasa de descuento (%). |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                               |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| VD Ley Media | <p>El kriging ordinario (OK) es el método de kriging más utilizado. Son estimadores lineales insesgados ya que el error medio es igual a cero. En OK, la media local se filtra del estimador lineal forzando que los pesos de kriging sumen 1. Generalmente se prefiere el OK al kriging simple porque no requiere conocimiento ni estacionariedad de la media en toda el área.</p> | <p>Para calcular la ley media (<math>Z_{OK(u)}</math>) se utiliza la siguiente formula:</p> $Z_{OK}(\mu) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mu)} \gamma_{\alpha}^{OK}(\mu) z(\mu_{\alpha}) \text{ con } \sum_{\alpha=1}^{n(\mu)} \gamma_{\alpha}^{OK} = 1$ <p>Dónde:</p> <p><math>\gamma_{\alpha}^{OK}</math>= Peso asignado a las variables en la ubicación (<math>\mu_{\alpha}</math>)</p> <p><math>n(\mu)</math>= Numero de valores medidos cercanos a <math>\mu</math></p> | <p>Variograma</p> <p>Alcance (m)</p> <p>Meseta</p> <p>Rango</p> <p>Pepita</p> |
| VD Volumen   | <p>El volumen final se puede determinar mediante la suma de todos los volúmenes de los tetraedros dentro de las formas <math>\alpha</math> calculadas mediante triangulación 3D de Delaunay. Triangulación Delaunay (Hansen &amp; Levin, 1992)</p>                                                                                                                                  | <p>Para Calcular el volumen (<math>Vol_i</math>) primero se calcula el volumen de Delaunay de cada triangulo</p> $Vol_i = \frac{1}{3} Ah$ <p>Luego de calcular el volumen total acumulado</p> $Vol_f = \sum_{i=0}^n Vol_i$ <p>Donde:</p> <p>A: área</p> <p>h : altura</p> <p>Vo: Volumen Inicial.</p> <p>Vf : Volumen final</p>                                                                                                                                   | <p>Area (m<sup>2</sup>)</p> <p>Altura (m)</p>                                 |

### Anexo 3 Recuperación Metalúrgica

#### Modelo de regresión para Recuperación de Masa

| Recuperación Másica                                                                                                                           |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Capa 1-5:</b> $\text{Rec Masa \%} = (\text{Const} + \text{Coef} \times \text{Ley \% P}_2\text{O}_5 \text{ ROM}) \times [\text{FE} = *0.9]$ |       |       |       |       |       |
| MODELO                                                                                                                                        | CA1   | CA2   | CA3   | CA4   | CA5   |
| Constante k                                                                                                                                   | -1.31 | -10.4 | -3.92 | -5.05 | -2.94 |
| Ley % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ROM                                                                                                       | 2.99  | 3.23  | 3.12  | 2.98  | 2.93  |

#### Modelo de regresión para Recuperación Metalúrgica

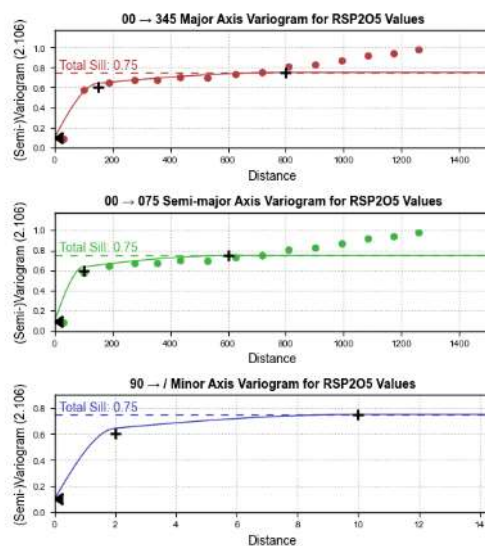
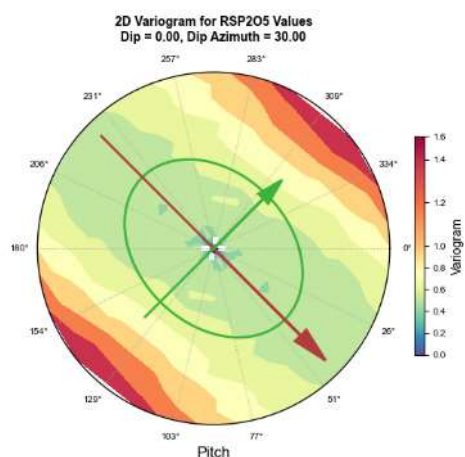
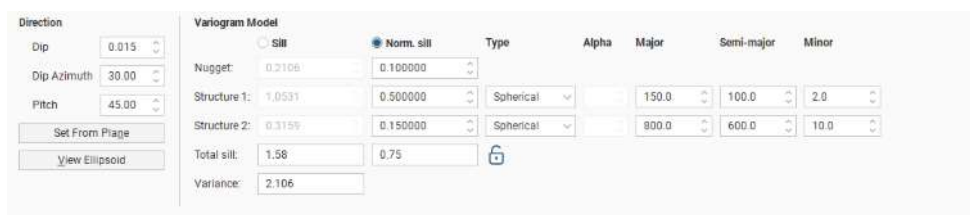
| Recuperación Metalúrgica                                                                                                                                                                      |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Capa 1-5:</b> $\text{Rec Metalúrgica \%} = (\text{Const} + \text{Coef} \times \text{Rec Masa \%} + \text{Coef} \times \text{Ley \% P}_2\text{O}_5 \text{ ROM}) \times [\text{FE} = *0.97]$ |        |        |        |        |        |
| MODELO                                                                                                                                                                                        | CA1    | CA2    | CA3    | CA4    | CA5    |
| Constante k                                                                                                                                                                                   | 79.983 | 64.683 | 79.099 | 75.292 | 74.189 |
| Rec Masa %                                                                                                                                                                                    | 1.08   | 1.865  | 1.372  | 1.995  | 1.628  |
| Ley % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ROM                                                                                                                                                       | -2.793 | -4.054 | -3.592 | -4.802 | -4.054 |

#### Modelo de Regresión para ley de Concentrado

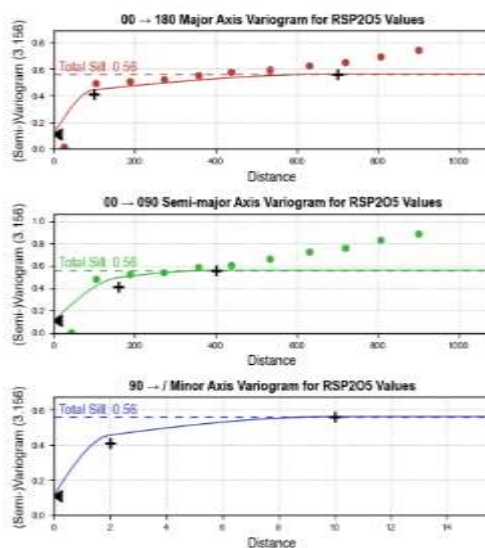
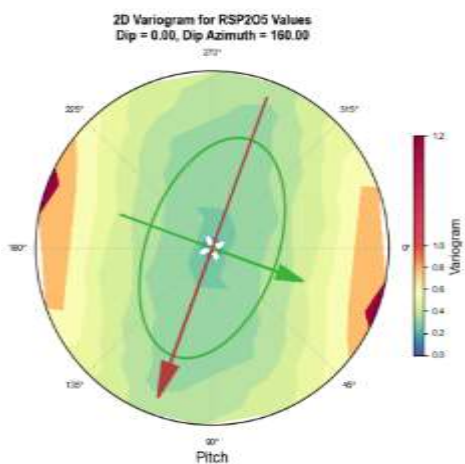
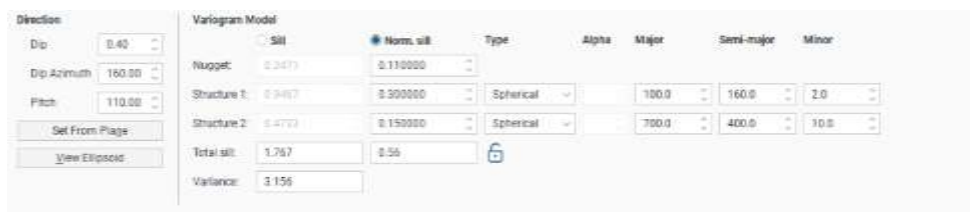
| Ley de Concentrado % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                                                                                                                                                                           |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Capa 1-5:</b> $\text{Rec Metalúrgica \%} = (\text{Const} + \text{Coef} \times \text{Rec Masa \%} + \text{Coef} \times \text{Rec Metalúrgica \%} + \text{Coef} \times \text{Ley \% P}_2\text{O}_5 \text{ ROM}) \times [\text{FE} = *0.99]$ |        |        |        |        |        |
| MODELO                                                                                                                                                                                                                                       | CA1    | CA2    | CA3    | CA4    | CA5    |
| Constante k                                                                                                                                                                                                                                  | 1.786  | 9.429  | 7.984  | 11.995 | 6.241  |
| Rec Metalúrgica %                                                                                                                                                                                                                            | 0.33   | 0.272  | 0.242  | 0.221  | 0.289  |
| Rec Masa %                                                                                                                                                                                                                                   | -0.412 | -0.556 | -0.405 | -0.496 | -0.501 |
| Ley % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ROM                                                                                                                                                                                                      | 1.174  | 1.4    | 1.221  | 1.334  | 1.354  |

## Anexo 4 Análisis Variografico

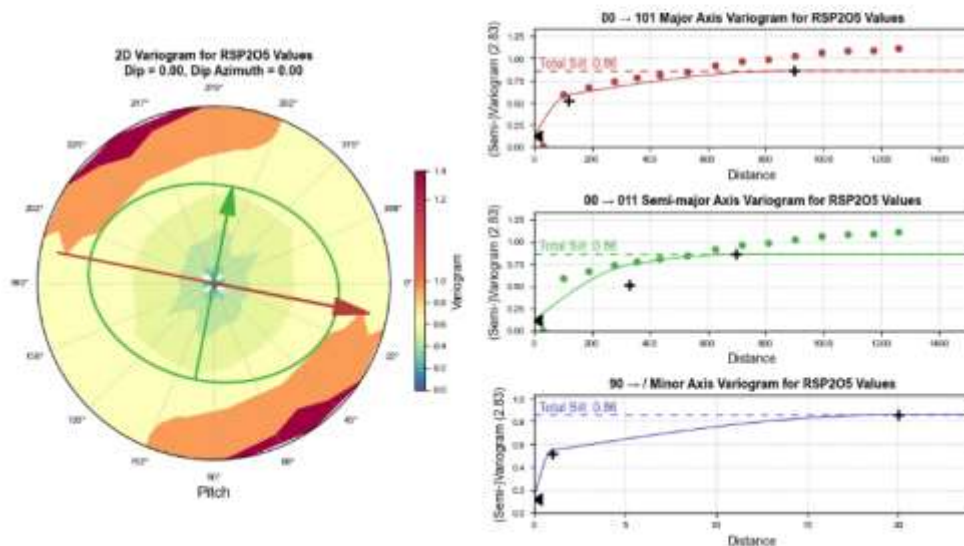
### Ca1



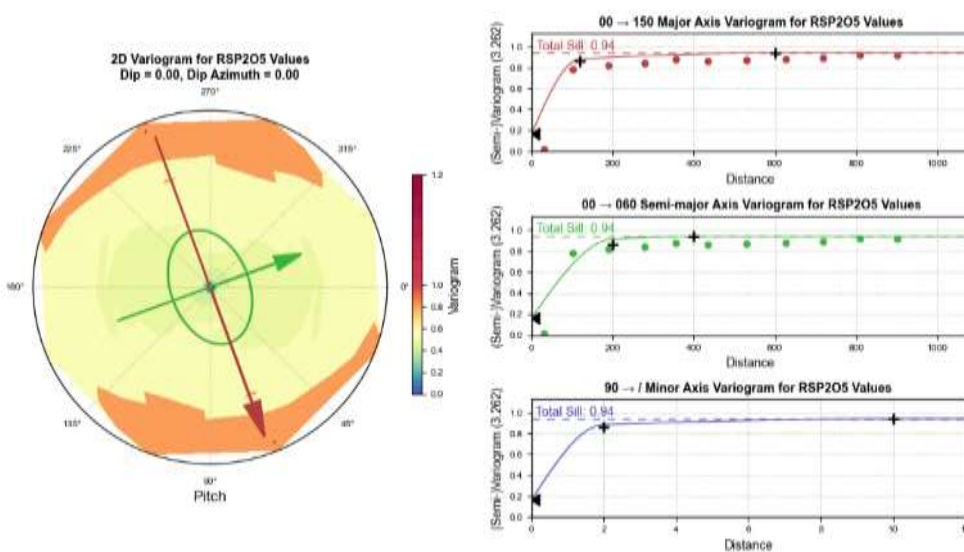
### Ca2



Ca3

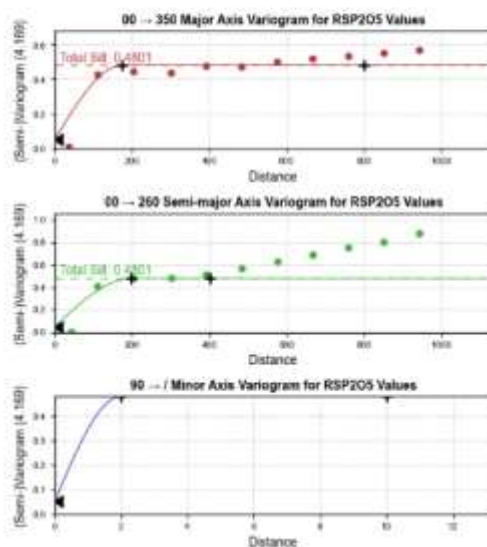
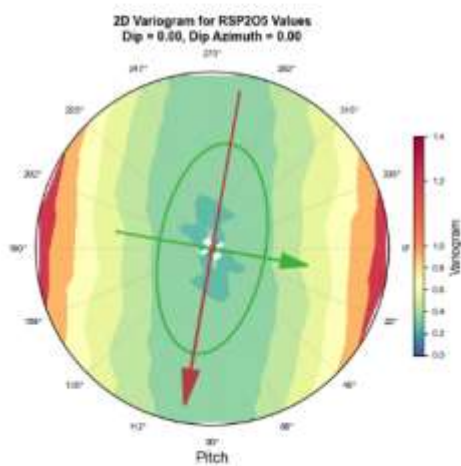


Ca4

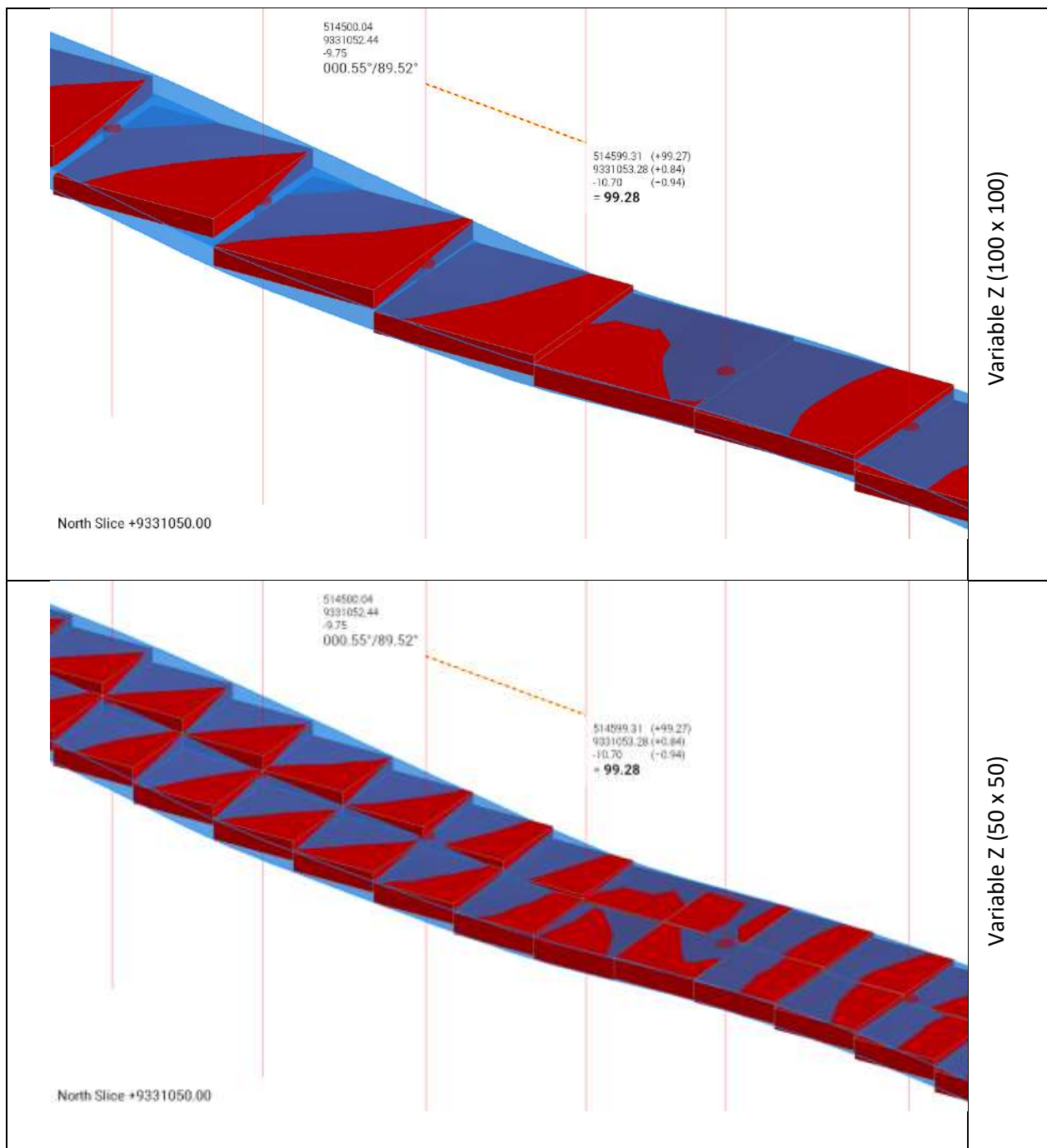


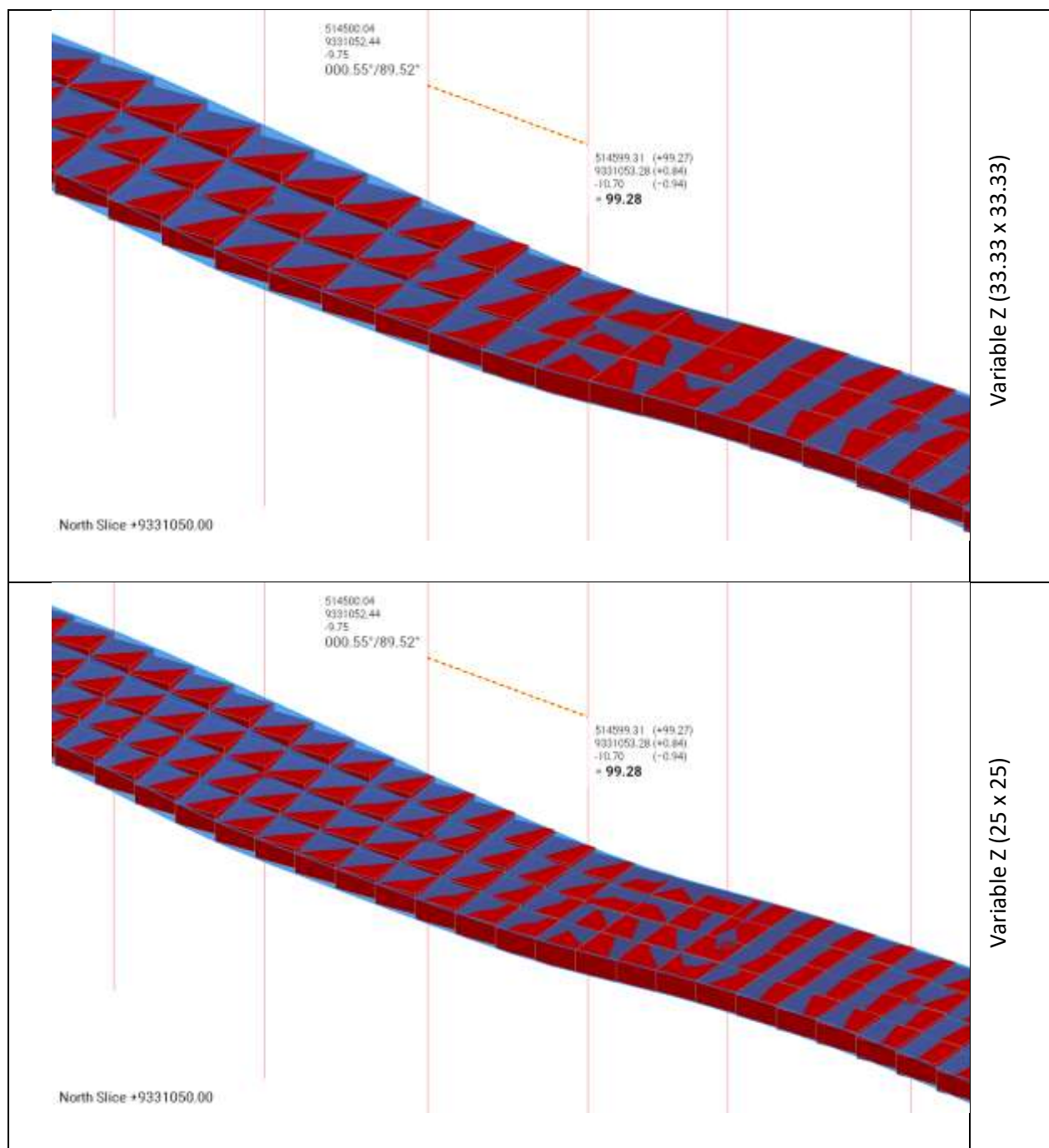
CA5

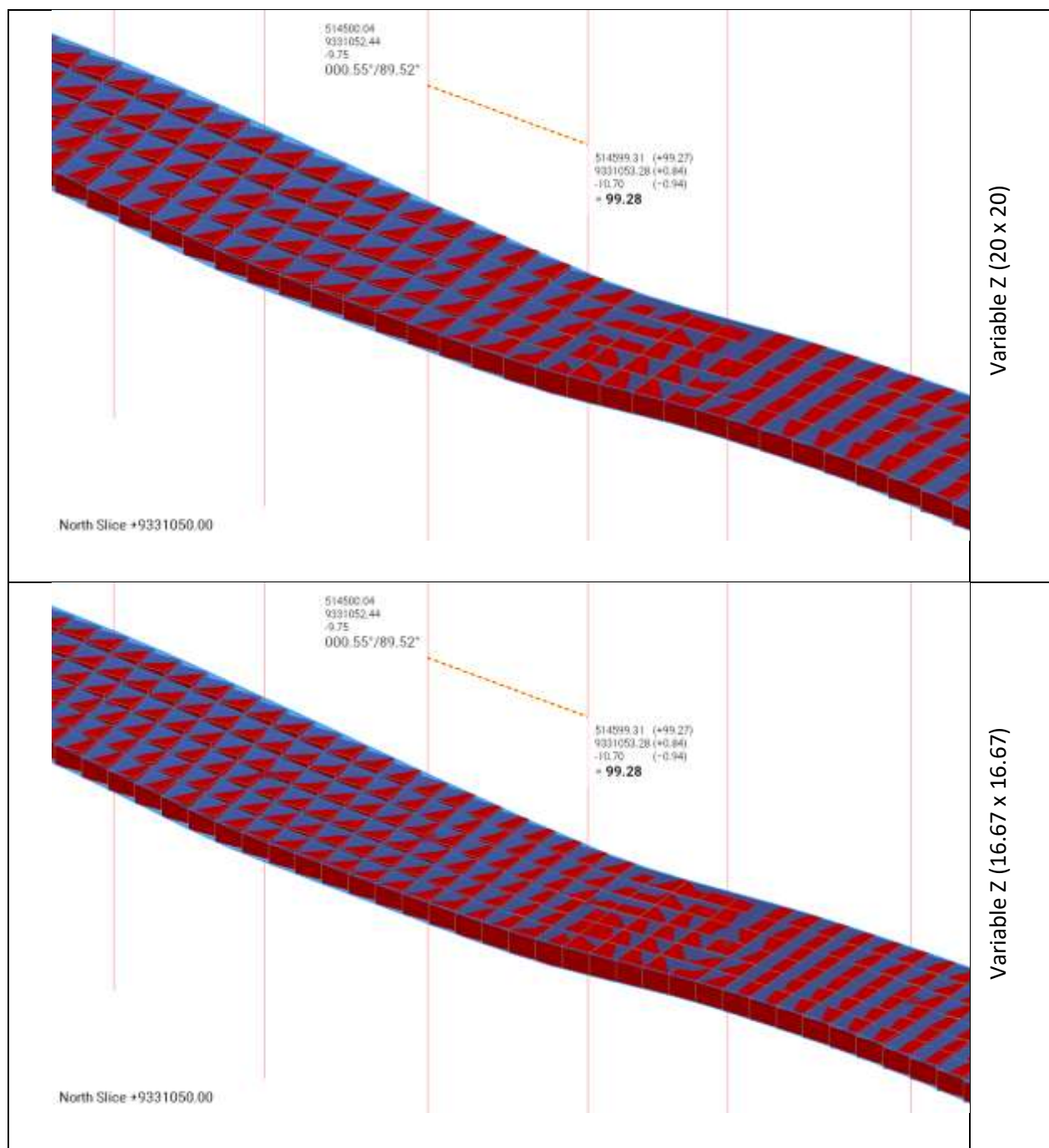
| Direction     |        | Variogram Model |        | Type     |           | Alpha |        | Major |       | Semi-major |      | Minor |  |
|---------------|--------|-----------------|--------|----------|-----------|-------|--------|-------|-------|------------|------|-------|--|
| Dip           | 0.00   | Nugget          | 0.2000 | 0.000000 |           |       |        |       |       |            |      |       |  |
| Dip Azimuth   | 160.00 | Structure 1     | 1.7000 | 0.400000 | Spherical |       | 1.70.1 |       | 196.1 |            | 2.0  |       |  |
| Pitch         | 100.00 | Structure 2     | 0.0000 | 0.000000 | Spherical |       | 800.0  |       | 400.0 |            | 10.0 |       |  |
| Get From File |        | Total sill      | 2.0000 | 0.4000   |           |       |        |       |       |            |      |       |  |
| Save Changes  |        | Variance        | 4.169  |          |           |       |        |       |       |            |      |       |  |

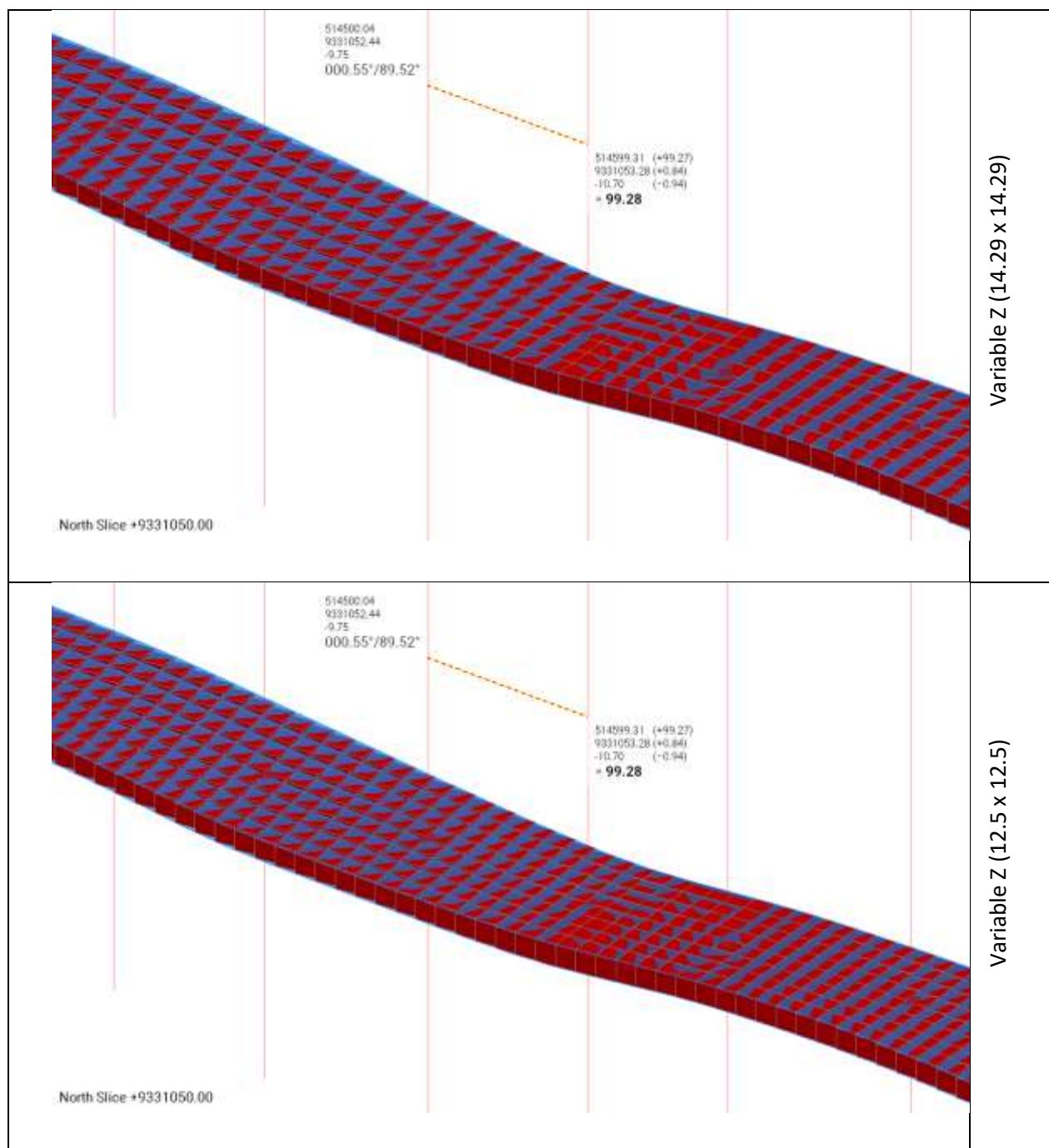


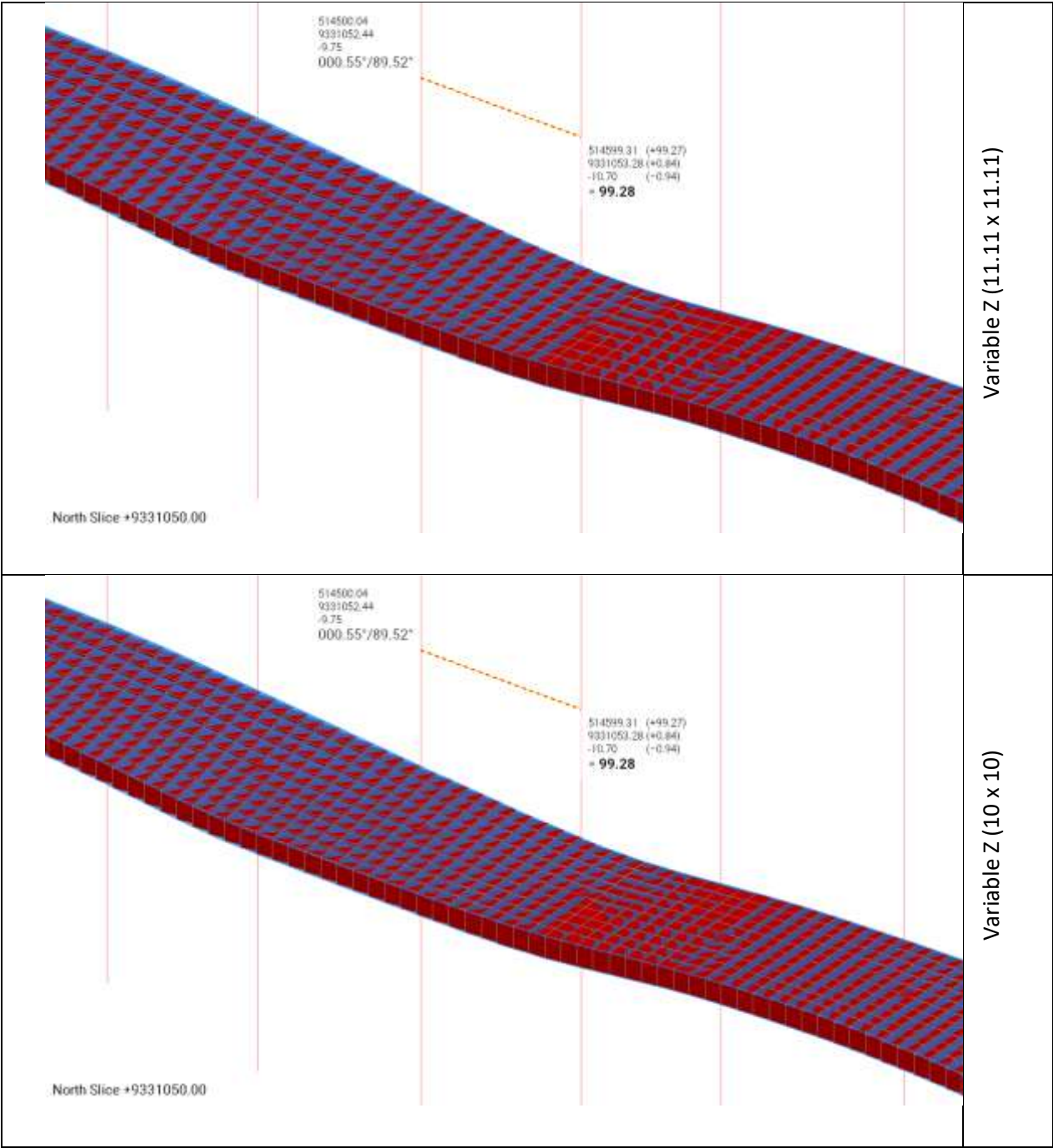
## Anexo 5 Modelos de Bloques Variable Z y Fully

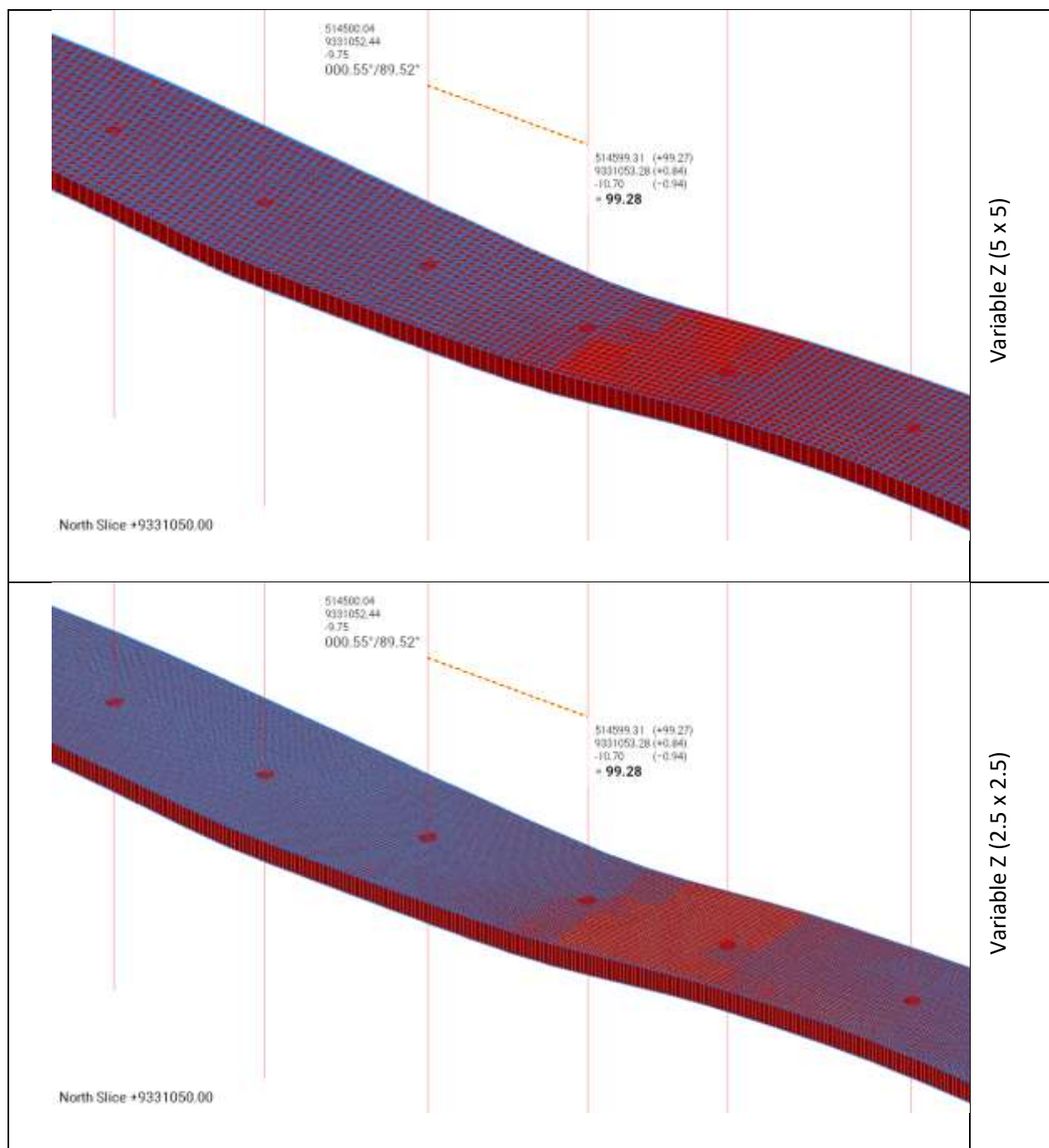


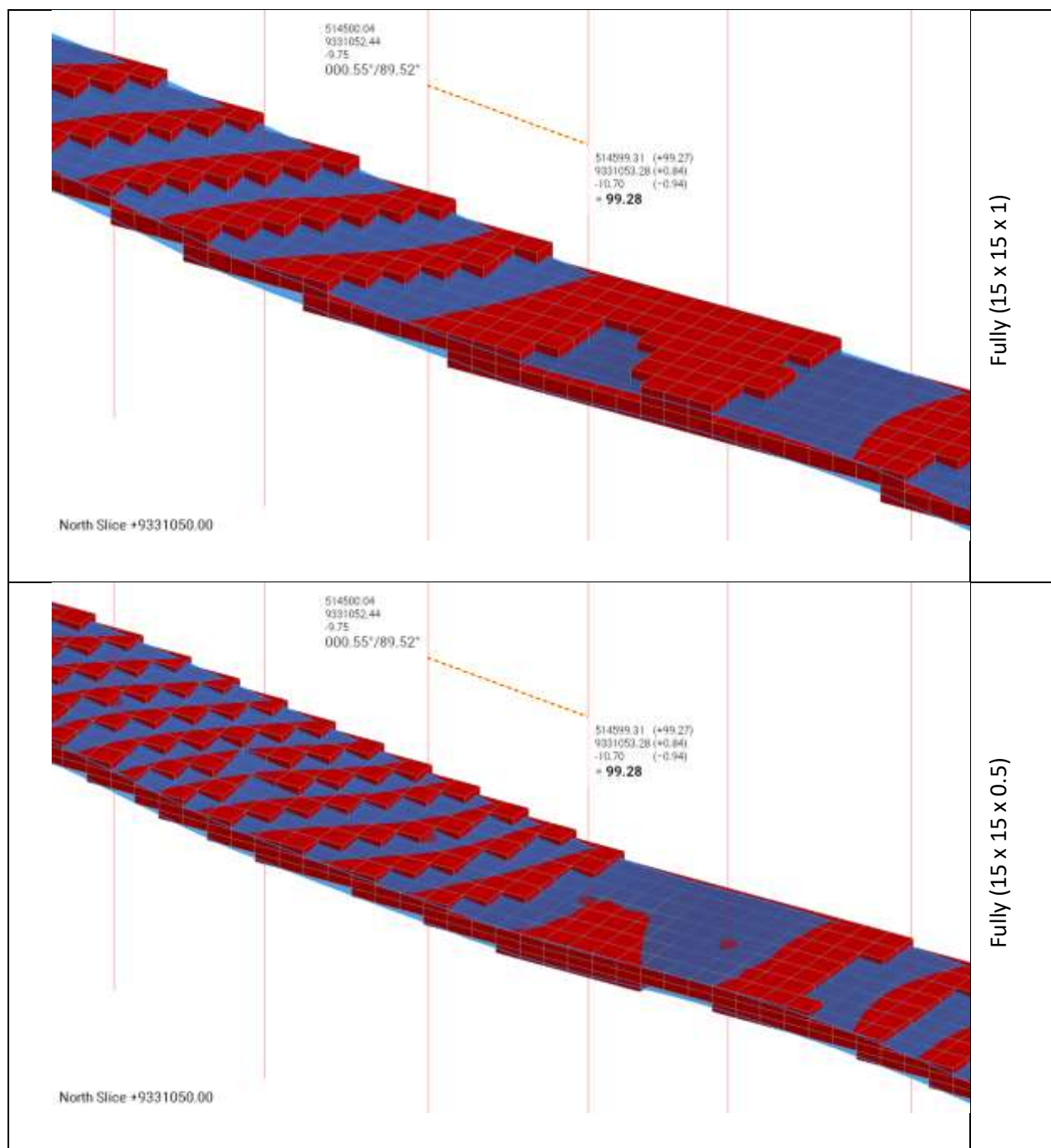


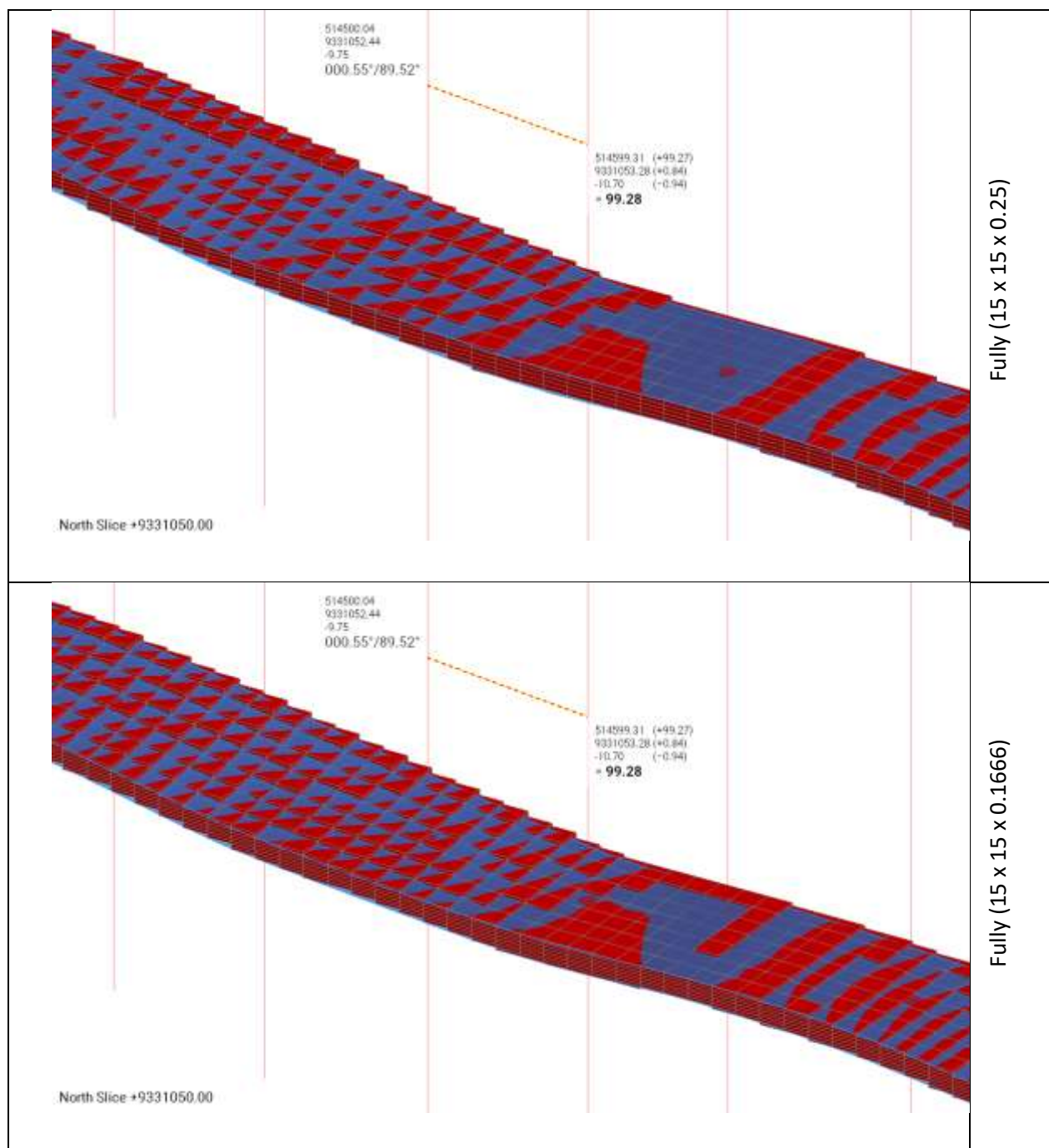


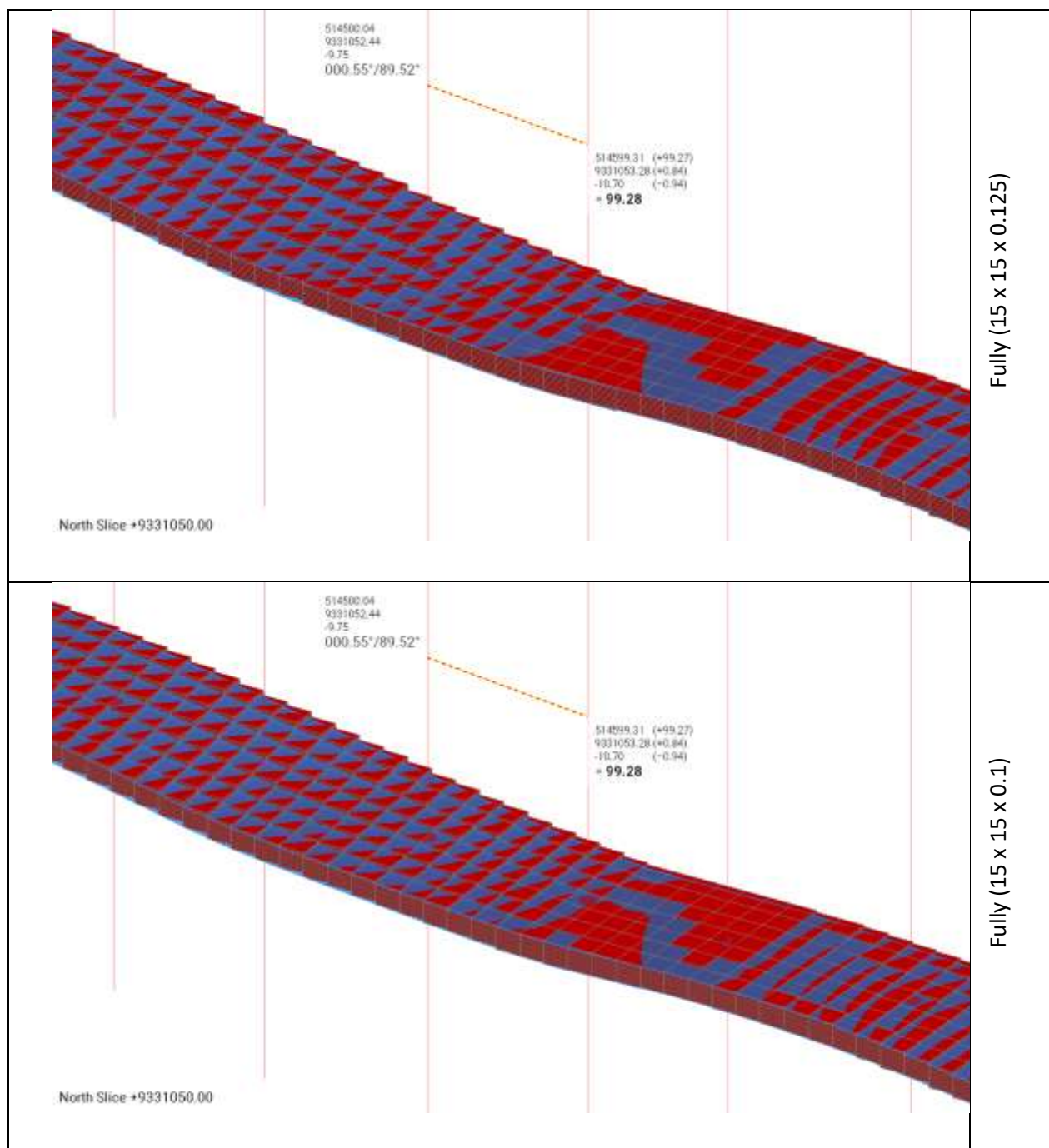


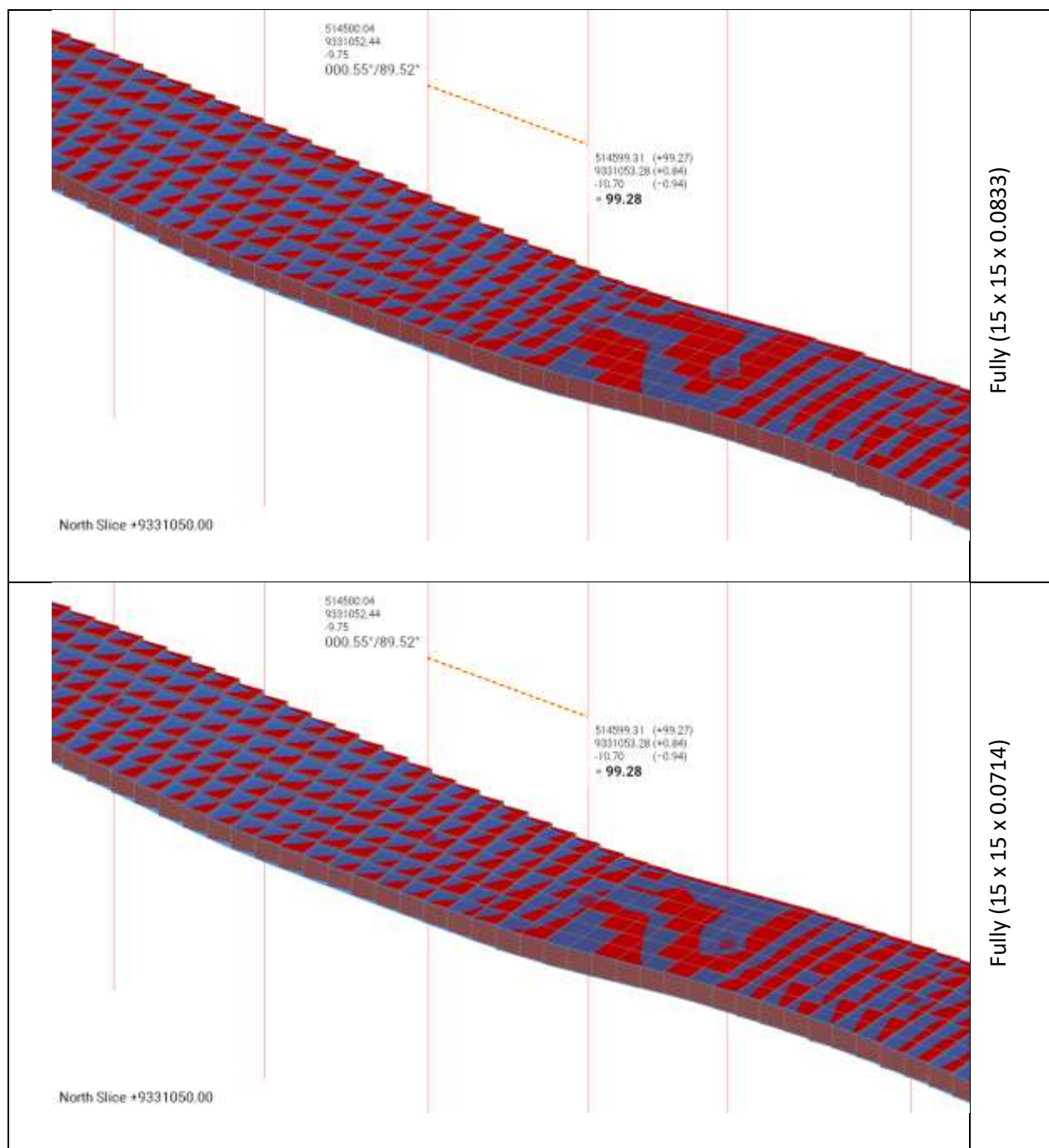


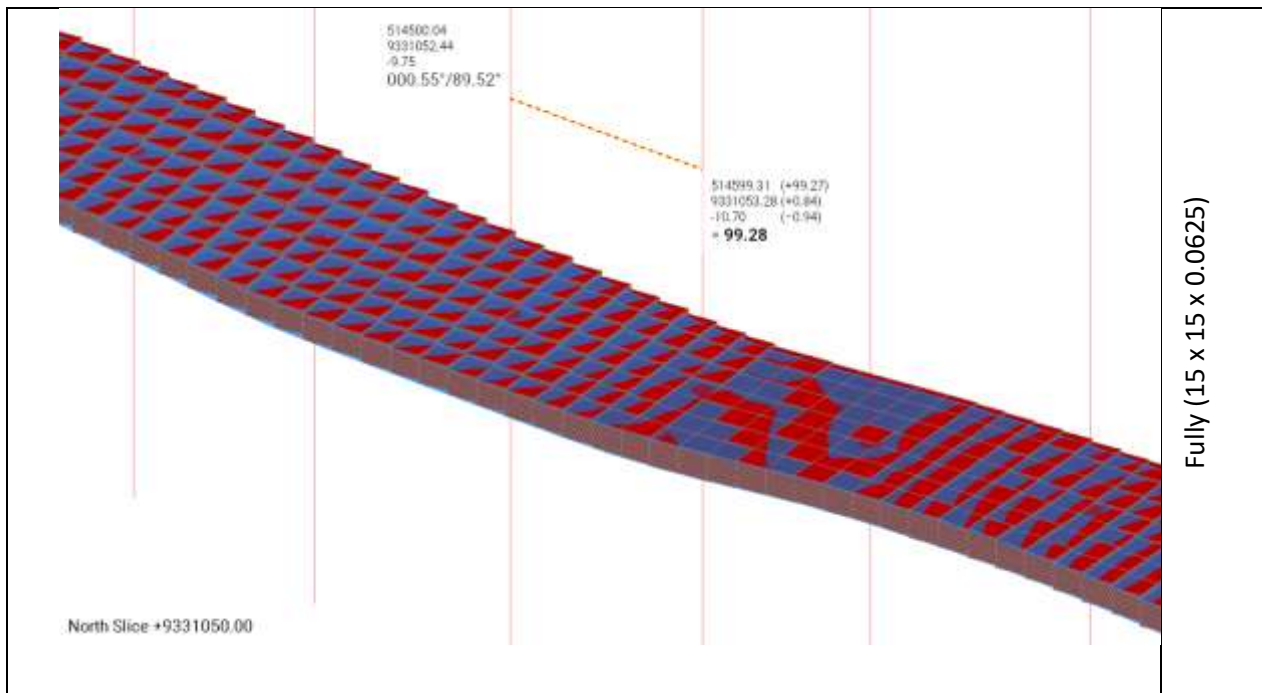


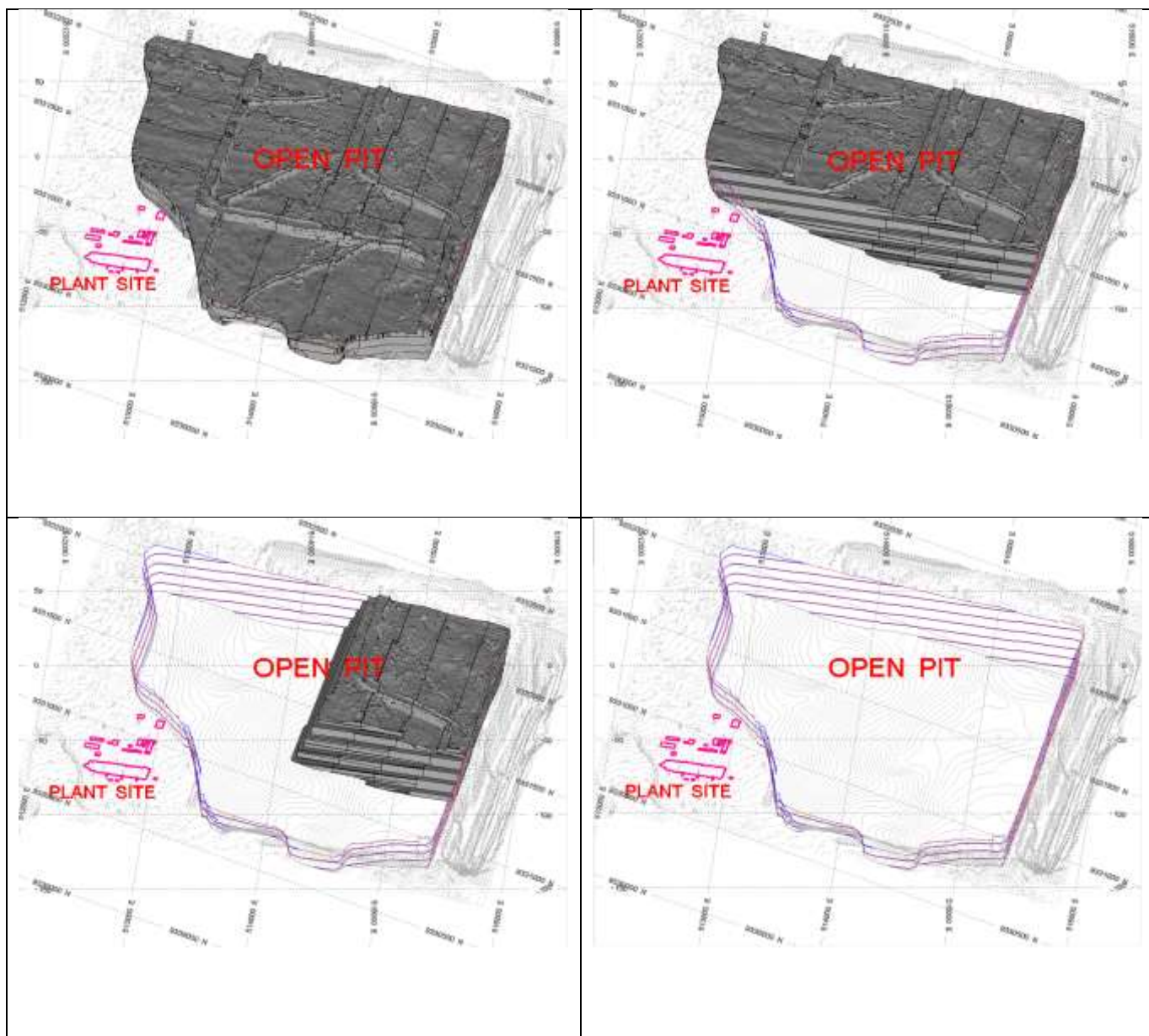










**Anexo 6 Fases de Minado**

## Anexo 7 Cálculos de Valor Presente Neto

### Z Variable 2.5

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025            | 2026             | 2027             | 2028             | 2029            | 2030             | 2031            | 2032             | 2033            | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,327            | 39,194          | 36,603           | 38,904           | 37,013           | 35,841          | 41,324           | 39,726          | 37,952           | 35,723          | 35,877           | 35,503           | 28,668           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,258             | 4,018           | 5,208            | 5,448            | 6,103            | 4,362           | 4,999            | 4,417           | 4,933            | 4,842           | 5,278            | 5,739            | 5,911            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.30              | 22.34           | 22.01            | 21.15            | 20.78            | 22.15           | 21.65            | 21.80           | 21.52            | 21.03           | 20.68            | 20.87            | 20.35            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 54.35              | 57.08           | 56.33            | 53.88            | 52.93            | 56.64           | 55.26            | 55.71           | 54.88            | 53.66           | 52.67            | 53.32            | 51.80            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 24,532             | 1,734           | 2,229            | 2,206            | 2,427            | 1,827           | 1,992            | 1,774           | 1,951            | 1,888           | 2,022            | 2,243            | 2,239            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68           | 29.58            | 29.46            | 29.41            | 29.60           | 29.52            | 29.52           | 29.50            | 29.44           | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,164,699</b>   | <b>153,032</b>  | <b>196,656</b>   | <b>194,674</b>   | <b>214,120</b>   | <b>161,195</b>  | <b>175,790</b>   | <b>156,515</b>  | <b>172,157</b>   | <b>166,630</b>  | <b>178,425</b>   | <b>197,925</b>   | <b>197,580</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,123)          | (49,693)        | (48,062)         | (51,005)         | (49,583)         | (46,234)        | (53,271)         | (50,765)        | (49,318)         | (46,650)        | (47,327)         | (47,428)         | (39,766)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (219,917)          | (14,424)        | (18,696)         | (19,558)         | (21,910)         | (15,660)        | (17,947)         | (15,858)        | (17,711)         | (17,382)        | (18,947)         | (20,604)         | (21,220)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (218,580)          | (15,452)        | (19,857)         | (19,657)         | (21,621)         | (16,277)        | (17,750)         | (15,804)        | (17,383)         | (16,825)        | (18,016)         | (19,985)         | (19,951)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (44,893)           | (3,174)         | (4,078)          | (4,037)          | (4,441)          | (3,343)         | (3,646)          | (3,246)         | (3,570)          | (3,456)         | (3,700)          | (4,105)          | (4,098)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (93,221)           | (6,590)         | (8,469)          | (8,384)          | (9,221)          | (6,942)         | (7,570)          | (6,740)         | (7,414)          | (7,176)         | (7,684)          | (8,524)          | (8,509)          |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,155,734)</b> | <b>(89,333)</b> | <b>(99,182)</b>  | <b>(102,641)</b> | <b>(106,775)</b> | <b>(88,454)</b> | <b>(100,185)</b> | <b>(92,413)</b> | <b>(95,396)</b>  | <b>(91,488)</b> | <b>(95,675)</b>  | <b>(100,646)</b> | <b>(93,544)</b>  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (71,879)           | (5,081)         | (6,530)          | (6,464)          | (7,110)          | (5,352)         | (5,837)          | (5,197)         | (5,716)          | (5,533)         | (5,925)          | (6,572)          | (6,561)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (7,360)            | (520)           | (669)            | (662)            | (728)            | (548)           | (598)            | (532)           | (585)            | (567)           | (607)            | (673)            | (672)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (9,567)            | (676)           | (869)            | (860)            | (946)            | (712)           | (777)            | (692)           | (761)            | (736)           | (789)            | (875)            | (873)            |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (5,642)            | (399)           | (513)            | (507)            | (558)            | (420)           | (458)            | (408)           | (449)            | (434)           | (465)            | (516)            | (515)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(94,448)</b>    | <b>(6,677)</b>  | <b>(8,580)</b>   | <b>(8,494)</b>   | <b>(9,342)</b>   | <b>(7,033)</b>  | <b>(7,670)</b>   | <b>(6,829)</b>  | <b>(7,511)</b>   | <b>(7,270)</b>  | <b>(7,785)</b>   | <b>(8,636)</b>   | <b>(8,621)</b>   |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,250,182)</b> | <b>(96,010)</b> | <b>(107,763)</b> | <b>(111,135)</b> | <b>(116,118)</b> | <b>(95,488)</b> | <b>(107,855)</b> | <b>(99,242)</b> | <b>(102,908)</b> | <b>(98,759)</b> | <b>(103,460)</b> | <b>(109,282)</b> | <b>(102,164)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 3,414,881          | 249,041         | 304,419          | 305,810          | 330,238          | 256,682         | 283,644          | 255,758         | 272,065          | 265,388         | 281,885          | 307,206          | 299,745          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (196,256)          | (13,874)        | (17,829)         | (17,650)         | (19,413)         | (14,614)        | (15,937)         | (14,190)        | (15,608)         | (15,107)        | (16,176)         | (17,944)         | (17,913)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 3,611,137          | 262,916         | 322,248          | 323,459          | 349,650          | 271,297         | 299,582          | 290,674         | 290,674          | 280,495         | 298,061          | 325,151          | 317,658          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,065,285)        | (77,560)        | (95,063)         | (95,420)         | (103,147)        | (80,033)        | (88,377)         | (79,635)        | (85,748)         | (82,746)        | (87,928)         | (95,919)         | (93,709)         |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>2,349,596</b>   | <b>171,481</b>  | <b>209,356</b>   | <b>212,989</b>   | <b>227,091</b>   | <b>176,650</b>  | <b>195,268</b>   | <b>176,123</b>  | <b>189,316</b>   | <b>182,642</b>  | <b>193,957</b>   | <b>211,287</b>   | <b>206,036</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (5,301,414)        | (520)           | (669)            | (662)            | (728)            | (548)           | (598)            | (532)           | (585)            | (567)           | (607)            | (673)            | (672)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (82,730,235)       | (8,119)         | (10,434)         | (10,328)         | (11,360)         | (8,552)         | (9,327)          | (8,304)         | (9,134)          | (8,841)         | (9,466)          | (10,501)         | (10,483)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (61,692,526)       | (6,054)         | (7,780)          | (7,702)          | (8,471)          | (6,377)         | (6,955)          | (6,192)         | (6,811)          | (6,592)         | (7,059)          | (7,831)          | (7,817)          |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(207,852)</b>   | <b>(14,694)</b> | <b>(18,883)</b>  | <b>(18,692)</b>  | <b>(20,560)</b>  | <b>(15,478)</b> | <b>(16,879)</b>  | <b>(15,028)</b> | <b>(16,530)</b>  | <b>(16,000)</b> | <b>(17,132)</b>  | <b>(19,004)</b>  | <b>(18,971)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>2,557,447</b>   | <b>186,175</b>  | <b>228,238</b>   | <b>229,082</b>   | <b>247,651</b>   | <b>192,128</b>  | <b>212,147</b>   | <b>191,151</b>  | <b>205,846</b>   | <b>198,642</b>  | <b>211,089</b>   | <b>230,291</b>   | <b>225,007</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,537,872          |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |

### Z Variable 5

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025            | 2026             | 2027             | 2028             | 2029            | 2030             | 2031            | 2032             | 2033            | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,334            | 39,186          | 36,600           | 38,899           | 37,011           | 35,846          | 41,321           | 39,724          | 37,949           | 35,744          | 35,883           | 35,502           | 28,669           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,249             | 4,020           | 5,208            | 5,444            | 6,104            | 4,362           | 4,999            | 4,413           | 4,934            | 4,844           | 5,270            | 5,742            | 5,908            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.30              | 22.34           | 22.01            | 21.15            | 20.79            | 22.15           | 21.65            | 21.80           | 21.52            | 21.03           | 20.70            | 20.86            | 20.34            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 54.35              | 57.08           | 56.33            | 53.87            | 52.95            | 56.64           | 55.26            | 55.71           | 54.88            | 53.68           | 52.72            | 53.30            | 51.77            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 24,528             | 1,735           | 2,229            | 2,204            | 2,428            | 1,827           | 1,992            | 1,772           | 1,951            | 1,890           | 2,021            | 2,243            | 2,236            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68           | 29.58            | 29.46            | 29.41            | 29.60           | 29.52            | 29.53           | 29.50            | 29.44           | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,164,350</b>   | <b>153,098</b>  | <b>196,672</b>   | <b>194,463</b>   | <b>214,241</b>   | <b>161,176</b>  | <b>175,773</b>   | <b>156,350</b>  | <b>172,174</b>   | <b>166,783</b>  | <b>178,340</b>   | <b>197,939</b>   | <b>197,342</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,119)          | (49,687)        | (48,079)         | (50,994)         | (49,583)         | (46,238)        | (53,268)         | (50,757)        | (49,315)         | (46,676)        | (47,326)         | (47,431)         | (39,764)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (219,883)          | (14,431)        | (18,697)         | (19,543)         | (21,915)         | (15,659)        | (17,947)         | (15,842)        | (17,713)         | (17,390)        | (18,920)         | (20,615)         | (21,211)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (218,544)          | (15,459)        | (19,859)         | (19,636)         | (21,633)         | (16,275)        | (17,749)         | (15,787)        | (17,385)         | (16,841)        | (18,008)         | (19,987)         | (19,927)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (44,886)           | (3,175)         | (4,079)          | (4,033)          | (4,443)          | (3,343)         | (3,645)          | (3,243)         | (3,571)          | (3,459)         | (3,699)          | (4,105)          | (4,093)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (93,206)           | (6,593)         | (8,470)          | (8,374)          | (9,226)          | (6,941)         | (7,570)          | (6,733)         | (7,415)          | (7,182)         | (7,680)          | (8,524)          | (8,498)          |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,155,639)</b> | <b>(89,345)</b> | <b>(99,183)</b>  | <b>(102,580)</b> | <b>(106,800)</b> | <b>(88,455)</b> | <b>(100,178)</b> | <b>(92,362)</b> | <b>(95,399)</b>  | <b>(91,549)</b> | <b>(95,632)</b>  | <b>(100,662)</b> | <b>(93,493)</b>  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (71,867)           | (5,084)         | (6,530)          | (6,457)          | (7,114)          | (5,352)         | (5,837)          | (5,192)         | (5,717)          | (5,538)         | (5,922)          | (6,573)          | (6,563)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (7,358)            | (521)           | (669)            | (661)            | (728)            | (548)           | (598)            | (532)           | (585)            | (567)           | (606)            | (673)            | (671)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (9,566)            | (677)           | (869)            | (859)            | (947)            | (712)           | (777)            | (691)           | (761)            | (737)           | (788)            | (875)            | (872)            |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (5,641)            | (399)           | (513)            | (507)            | (558)            | (420)           | (458)            | (408)           | (449)            | (435)           | (465)            | (516)            | (514)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(94,433)</b>    | <b>(6,680)</b>  | <b>(8,581)</b>   | <b>(8,485)</b>   | <b>(9,348)</b>   | <b>(7,032)</b>  | <b>(7,669)</b>   | <b>(6,822)</b>  | <b>(7,512)</b>   | <b>(7,277)</b>  | <b>(7,781)</b>   | <b>(8,636)</b>   | <b>(8,610)</b>   |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,250,072)</b> | <b>(96,025)</b> | <b>(107,764)</b> | <b>(111,065)</b> | <b>(116,147)</b> | <b>(95,488)</b> | <b>(107,847)</b> | <b>(99,183)</b> | <b>(102,911)</b> | <b>(98,825)</b> | <b>(103,413)</b> | <b>(109,298)</b> | <b>(102,103)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 3,414,421          | 249,123         | 304,436          | 305,528          | 330,286          | 256,663         | 283,620          | 255,533         | 272,085          | 265,608         | 281,753          | 307,238          | 299,445          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (196,224)          | (13,880)        | (17,831)         | (17,630)         | (19,423)         | (14,612)        | (15,936)         | (14,175)        | (15,610)         | (15,121)        | (16,169)         | (17,946)         | (17,891)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 3,610,645          | 263,003         | 322,267          | 323,159          | 349,812          | 271,276         | 299,556          | 290,695         | 290,695          | 280,729         | 297,922          | 325,183          | 317,337          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,065,140)        | (77,586)        | (95,069)         | (95,332)         | (103,194)        | (80,026)        | (88,369)         | (79,564)        | (85,755)         | (82,815)        | (87,887)         | (95,929)         | (93,614)         |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>2,349,281</b>   | <b>171,537</b>  | <b>209,367</b>   | <b>210,196</b>   | <b>227,194</b>   | <b>176,637</b>  | <b>195,251</b>   | <b>175,969</b>  | <b>189,330</b>   | <b>182,793</b>  | <b>193,866</b>   | <b>211,309</b>   | <b>205,831</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (3,271,441)        | (521)           | (669)            | (661)            | (728)            | (548)           | (598)            | (532)           | (585)            | (567)           | (606)            | (673)            | (671)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (51,051,870)       | (8,123)         | (10,434)         | (10,317)         | (11,367)         | (8,551)         | (9,326)          | (8,295)         | (9,135)          | (8,849)         | (9,462)          | (10,502)         | (10,470)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (38,069,743)       | (6,057)         | (7,781)          | (7,694)          | (8,476)          | (6,377)         | (6,954)          | (6,186)         | (6,812)          | (6,599)         | (7,055)          | (7,831)          | (7,808)          |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(207,818)</b>   | <b>(14,700)</b> | <b>(18,884)</b>  | <b>(18,672)</b>  | <b>(20,571)</b>  | <b>(15,476)</b> | <b>(16,878)</b>  | <b>(15,013)</b> | <b>(16,532)</b>  | <b>(16,014)</b> | <b>(17,124)</b>  | <b>(19,006)</b>  | <b>(18,949)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>2,557,099</b>   | <b>186,237</b>  | <b>228,251</b>   | <b>228,868</b>   | <b>247,765</b>   | <b>192,113</b>  | <b>212,129</b>   | <b>190,982</b>  | <b>205,862</b>   | <b>198,807</b>  | <b>210,990</b>   | <b>230,315</b>   | <b>224,780</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,537,721          |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |

### Z Variable 10

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales      | 2025     | 2026      | 2027      | 2028      | 2029     | 2030      | 2031     | 2032      | 2033     | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 442,388      | 39,079   | 36,611    | 38,998    | 36,878    | 35,845   | 41,262    | 39,717   | 38,151    | 35,656   | 36,103    | 35,240    | 28,847    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,282       | 3,989    | 5,207     | 5,470     | 6,102     | 4,354    | 5,011     | 4,420    | 4,937     | 4,879    | 5,279     | 5,709     | 5,924     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.30        | 22.34    | 22.01     | 21.15     | 20.76     | 22.15    | 21.64     | 21.80    | 21.53     | 21.01    | 20.70     | 20.86     | 20.37     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 54.35        | 57.10    | 56.35     | 53.89     | 52.86     | 56.66    | 55.23     | 55.73    | 54.90     | 53.61    | 52.73     | 53.31     | 51.87     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 24,542       | 1,722    | 2,229     | 2,216     | 2,423     | 1,824    | 1,996     | 1,775    | 1,953     | 1,900    | 2,025     | 2,231     | 2,247     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48        | 29.68    | 29.58     | 29.46     | 29.40     | 29.60    | 29.52     | 29.52    | 29.50     | 29.44    | 29.40     | 29.40     | 29.33     |
| Precio de Venta                               | M USD    | 88.24        | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,165,558    | 151,976  | 196,689   | 195,517   | 213,764   | 160,992  | 176,119   | 156,658  | 172,305   | 167,685  | 178,698   | 196,842   | 198,314   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (579,220)    | (49,528) | (48,091)  | (51,138)  | (49,427)  | (46,229) | (53,214)  | (50,775) | (49,551)  | (46,616) | (47,589)  | (47,092)  | (39,987)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (220,001)    | (14,320) | (18,692)  | (19,639)  | (21,906)  | (15,632) | (17,989)  | (15,867) | (17,724)  | (17,516) | (18,952)  | (20,496)  | (21,267)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (218,666)    | (15,346) | (19,861)  | (19,742)  | (21,585)  | (16,256) | (17,784)  | (15,818) | (17,398)  | (16,932) | (18,044)  | (19,876)  | (20,025)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (44,911)     | (3,152)  | (4,079)   | (4,055)   | (4,433)   | (3,339)  | (3,653)   | (3,249)  | (3,573)   | (3,478)  | (3,706)   | (4,082)   | (4,113)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (93,258)     | (6,545)  | (8,470)   | (8,420)   | (9,206)   | (6,933)  | (7,584)   | (6,746)  | (7,420)   | (7,221)  | (7,696)   | (8,477)   | (8,540)   |
| Costos Operativos                             | M USD    | (1,156,057)  | (88,891) | (99,193)  | (102,994) | (106,557) | (88,389) | (100,223) | (92,438) | (95,667)  | (91,763) | (95,987)  | (100,024) | (93,932)  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (71,907)     | (5,046)  | (6,531)   | (6,492)   | (7,098)   | (5,346)  | (5,848)   | (5,202)  | (5,721)   | (5,568)  | (5,934)   | (6,536)   | (6,585)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (7,363)      | (517)    | (669)     | (665)     | (747)     | (577)    | (599)     | (533)    | (586)     | (570)    | (608)     | (669)     | (674)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (9,571)      | (672)    | (869)     | (864)     | (945)     | (712)    | (778)     | (692)    | (762)     | (741)    | (790)     | (870)     | (876)     |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (5,645)      | (396)    | (513)     | (510)     | (557)     | (420)    | (459)     | (408)    | (449)     | (437)    | (466)     | (513)     | (517)     |
| Gasto Adm y Ventas                            | M USD    | (94,485)     | (6,631)  | (8,582)   | (8,531)   | (9,327)   | (7,024)  | (7,684)   | (6,835)  | (7,518)   | (7,316)  | (7,797)   | (8,588)   | (8,653)   |
| Total Costos Operativos                       | M USD    | (1,250,542)  | (95,521) | (107,774) | (111,524) | (115,883) | (95,414) | (107,907) | (99,273) | (103,185) | (99,079) | (103,784) | (108,612) | (102,584) |
| EBITDA                                        | M USD    | 3,416,100    | 247,497  | 304,647   | 307,041   | 329,647   | 256,406  | 284,026   | 255,931  | 275,490   | 266,764  | 282,482   | 305,454   | 300,898   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (196,333)    | (13,778) | (17,832)  | (17,726)  | (19,380)  | (14,596) | (15,967)  | (14,203) | (15,621)  | (15,203) | (16,201)  | (17,846)  | (17,979)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 3,612,433    | 261,275  | 322,966   | 324,767   | 349,027   | 271,002  | 299,994   | 270,134  | 291,112   | 281,966  | 298,683   | 323,300   | 318,877   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,065,668)  | (77,076) | (95,077)  | (95,806)  | (102,963) | (79,946) | (88,498)  | (79,689) | (85,878)  | (83,180) | (88,111)  | (95,373)  | (94,069)  |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 2,350,432    | 170,421  | 209,386   | 211,235   | 226,684   | 176,460  | 195,528   | 176,241  | 189,612   | 183,584  | 194,370   | 210,080   | 206,829   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (2,016,589)  | (517)    | (669)     | (665)     | (727)     | (547)    | (599)     | (533)    | (586)     | (570)    | (608)     | (669)     | (674)     |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD    | (31,469,055) | (8,063)  | (10,435)  | (10,373)  | (11,341)  | (8,541)  | (9,344)   | (8,312)  | (9,142)   | (8,897)  | (9,481)   | (10,443)  | (10,522)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (23,467,034) | (6,013)  | (7,782)   | (7,735)   | (8,457)   | (6,369)  | (6,968)   | (6,198)  | (6,817)   | (6,634)  | (7,070)   | (7,788)   | (7,846)   |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (207,934)    | (14,592) | (18,886)  | (18,773)  | (20,525)  | (15,458) | (16,911)  | (15,042) | (16,545)  | (16,101) | (17,158)  | (18,900)  | (19,042)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 2,558,366    | 185,013  | 228,272   | 230,008   | 247,209   | 191,919  | 212,439   | 191,283  | 206,157   | 199,684  | 211,529   | 228,981   | 225,871   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,537,866    |          |           |           |           |          |           |          |           |          |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%        |          |           |           |           |          |           |          |           |          |           |           |           |

## Z Variable 11.11

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025            | 2026             | 2027             | 2028             | 2029            | 2030             | 2031            | 2032             | 2033            | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,437            | 39,164          | 36,624           | 38,887           | 37,043           | 35,842          | 41,377           | 39,720          | 38,017           | 35,716          | 35,887           | 35,481           | 28,679           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,179             | 4,011           | 5,209            | 5,460            | 6,103            | 4,368           | 4,993            | 4,417           | 4,910            | 4,825           | 5,270            | 5,740            | 5,874            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.30              | 22.35           | 22.00            | 21.15            | 20.80            | 22.14           | 21.64            | 21.80           | 21.53            | 21.06           | 20.67            | 20.87            | 20.35            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 54.35              | 57.11           | 56.29            | 53.87            | 52.97            | 56.62           | 55.22            | 55.73           | 54.89            | 53.74           | 52.64            | 53.31            | 51.79            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 24,502             | 1,733           | 2,227            | 2,210            | 2,429            | 1,828           | 1,988            | 1,774           | 1,942            | 1,886           | 2,016            | 2,243            | 2,225            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68           | 29.57            | 29.46            | 29.41            | 29.60           | 29.52            | 29.53           | 29.50            | 29.44           | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,162,030</b>   | <b>152,984</b>  | <b>196,506</b>   | <b>195,044</b>   | <b>214,310</b>   | <b>161,318</b>  | <b>175,440</b>   | <b>156,566</b>  | <b>171,323</b>   | <b>166,403</b>  | <b>177,908</b>   | <b>197,949</b>   | <b>196,377</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,158)          | (49,652)        | (48,107)         | (50,999)         | (49,618)         | (46,241)        | (53,325)         | (50,758)        | (49,368)         | (46,622)        | (47,330)         | (47,404)         | (39,735)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (219,631)          | (14,401)        | (18,700)         | (19,600)         | (21,910)         | (15,680)        | (17,923)         | (15,857)        | (17,626)         | (17,322)        | (18,918)         | (20,607)         | (21,086)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (218,310)          | (15,437)        | (19,842)         | (19,695)         | (21,640)         | (16,289)        | (17,715)         | (15,809)        | (17,299)         | (16,803)        | (17,964)         | (19,988)         | (19,829)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (44,838)           | (3,171)         | (4,075)          | (4,045)          | (4,445)          | (3,346)         | (3,638)          | (3,247)         | (3,553)          | (3,451)         | (3,690)          | (4,105)          | (4,073)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (93,106)           | (6,584)         | (8,462)          | (8,399)          | (9,229)          | (6,947)         | (7,555)          | (6,742)         | (7,378)          | (7,166)         | (7,662)          | (8,525)          | (8,457)          |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,155,044)</b> | <b>(89,245)</b> | <b>(99,187)</b>  | <b>(102,738)</b> | <b>(106,842)</b> | <b>(88,503)</b> | <b>(100,156)</b> | <b>(92,414)</b> | <b>(95,222)</b>  | <b>(91,364)</b> | <b>(95,564)</b>  | <b>(100,629)</b> | <b>(93,180)</b>  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (71,790)           | (5,076)         | (6,525)          | (6,476)          | (7,116)          | (5,357)         | (5,825)          | (5,199)         | (5,689)          | (5,525)         | (5,907)          | (6,573)          | (6,521)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (7,351)            | (520)           | (668)            | (663)            | (729)            | (548)           | (596)            | (532)           | (582)            | (566)           | (605)            | (673)            | (668)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (9,556)            | (676)           | (869)            | (862)            | (947)            | (713)           | (775)            | (692)           | (757)            | (735)           | (786)            | (875)            | (868)            |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (5,635)            | (398)           | (512)            | (508)            | (559)            | (420)           | (457)            | (408)           | (447)            | (434)           | (464)            | (516)            | (512)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(94,332)</b>    | <b>(6,670)</b>  | <b>(8,574)</b>   | <b>(8,510)</b>   | <b>(9,351)</b>   | <b>(7,038)</b>  | <b>(7,655)</b>   | <b>(6,831)</b>  | <b>(7,475)</b>   | <b>(7,260)</b>  | <b>(7,762)</b>   | <b>(8,637)</b>   | <b>(8,568)</b>   |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,249,375)</b> | <b>(95,915)</b> | <b>(107,761)</b> | <b>(111,248)</b> | <b>(116,192)</b> | <b>(95,542)</b> | <b>(107,811)</b> | <b>(99,245)</b> | <b>(102,697)</b> | <b>(98,624)</b> | <b>(103,326)</b> | <b>(109,266)</b> | <b>(101,748)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 3,411,405          | 248,799         | 304,267          | 306,292          | 330,502          | 256,860         | 283,251          | 255,812         | 274,020          | 265,027         | 281,235          | 307,215          | 298,125          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (196,014)          | (13,861)        | (17,816)         | (17,683)         | (19,430)         | (14,625)        | (15,906)         | (14,195)        | (15,532)         | (15,086)        | (16,129)         | (17,946)         | (17,804)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 3,607,419          | 262,659         | 322,083          | 323,975          | 349,932          | 271,486         | 299,156          | 270,006         | 289,552          | 280,114         | 297,364          | 325,162          | 315,929          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,064,189)        | (77,485)        | (95,014)         | (95,573)         | (103,230)        | (80,088)        | (88,251)         | (79,652)        | (85,418)         | (82,634)        | (87,722)         | (95,923)         | (93,199)         |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>2,347,217</b>   | <b>171,314</b>  | <b>209,253</b>   | <b>210,719</b>   | <b>227,272</b>   | <b>176,772</b>  | <b>195,000</b>   | <b>176,160</b>  | <b>188,602</b>   | <b>182,394</b>  | <b>193,512</b>   | <b>211,293</b>   | <b>204,926</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (1,241,462)        | (520)           | (668)            | (663)            | (729)            | (548)           | (596)            | (532)           | (582)            | (566)           | (605)            | (673)            | (668)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (19,373,404)       | (8,111)         | (10,426)         | (10,348)         | (11,370)         | (8,559)         | (9,308)          | (8,307)         | (9,090)          | (8,829)         | (9,439)          | (10,502)         | (10,419)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (14,446,885)       | (6,049)         | (7,775)          | (7,717)          | (8,479)          | (6,382)         | (6,941)          | (6,194)         | (6,778)          | (6,584)         | (7,039)          | (7,832)          | (7,769)          |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(207,595)</b>   | <b>(14,680)</b> | <b>(18,868)</b>  | <b>(18,728)</b>  | <b>(20,578)</b>  | <b>(15,490)</b> | <b>(16,846)</b>  | <b>(15,033)</b> | <b>(16,450)</b>  | <b>(15,978)</b> | <b>(17,083)</b>  | <b>(19,007)</b>  | <b>(18,856)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>2,554,812</b>   | <b>185,994</b>  | <b>228,121</b>   | <b>229,447</b>   | <b>247,850</b>   | <b>192,262</b>  | <b>211,845</b>   | <b>191,193</b>  | <b>205,052</b>   | <b>198,372</b>  | <b>210,595</b>   | <b>230,299</b>   | <b>223,782</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,536,874          |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |

## Z Variable 12.25

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025             | 2026             | 2027             | 2028             | 2029             | 2030             | 2031             | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 441,614            | 39,336           | 36,837           | 39,010           | 36,715           | 35,802           | 41,149           | 40,031           | 37,519           | 35,374           | 35,781           | 35,791           | 28,269           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,243             | 4,056            | 5,205            | 5,452            | 6,080            | 4,337            | 4,974            | 4,470            | 4,897            | 4,803            | 5,281            | 5,834            | 5,853            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.07              | 22.12            | 21.77            | 20.90            | 20.56            | 21.92            | 21.42            | 21.57            | 21.28            | 20.79            | 20.44            | 20.67            | 20.14            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 53.64              | 56.40            | 55.60            | 53.11            | 52.24            | 55.90            | 54.52            | 55.01            | 54.12            | 52.90            | 51.91            | 52.70            | 51.14            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 33,986             | 2,366            | 2,993            | 2,994            | 3,285            | 2,509            | 2,808            | 2,546            | 2,744            | 2,629            | 2,836            | 3,180            | 3,096            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68            | 29.57            | 29.46            | 29.41            | 29.60            | 29.52            | 29.53            | 29.50            | 29.44            | 29.40            | 29.41            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,998,947</b>   | <b>208,818</b>   | <b>264,117</b>   | <b>264,233</b>   | <b>289,881</b>   | <b>221,391</b>   | <b>247,779</b>   | <b>224,659</b>   | <b>242,124</b>   | <b>231,959</b>   | <b>250,223</b>   | <b>280,568</b>   | <b>273,194</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (578,285)          | (49,001)         | (48,348)         | (51,131)         | (49,214)         | (46,160)         | (53,042)         | (51,176)         | (48,778)         | (46,204)         | (47,220)         | (47,869)         | (39,241)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (219,861)          | (14,561)         | (18,687)         | (19,572)         | (21,827)         | (15,569)         | (17,857)         | (16,047)         | (17,580)         | (17,244)         | (18,957)         | (20,945)         | (21,014)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (302,817)          | (21,085)         | (26,669)         | (26,681)         | (29,271)         | (22,355)         | (25,019)         | (22,685)         | (24,448)         | (23,422)         | (25,266)         | (28,330)         | (27,586)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (62,195)           | (4,331)          | (5,478)          | (5,480)          | (6,012)          | (4,591)          | (5,139)          | (4,659)          | (5,021)          | (4,811)          | (5,189)          | (5,819)          | (5,666)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (129,148)          | (8,993)          | (11,374)         | (11,379)         | (12,484)         | (9,534)          | (10,670)         | (9,675)          | (10,427)         | (9,989)          | (10,776)         | (12,083)         | (11,765)         |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,292,306)</b> | <b>(98,871)</b>  | <b>(110,556)</b> | <b>(114,242)</b> | <b>(118,808)</b> | <b>(98,209)</b>  | <b>(111,728)</b> | <b>(104,242)</b> | <b>(106,254)</b> | <b>(101,670)</b> | <b>(107,409)</b> | <b>(115,046)</b> | <b>(105,271)</b> |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (99,580)           | (6,934)          | (8,770)          | (8,774)          | (9,625)          | (7,351)          | (8,227)          | (7,460)          | (8,040)          | (7,702)          | (8,309)          | (9,316)          | (9,071)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (10,196)           | (710)            | (898)            | (898)            | (986)            | (753)            | (842)            | (764)            | (823)            | (789)            | (851)            | (954)            | (929)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (13,255)           | (923)            | (1,167)          | (1,168)          | (1,281)          | (978)            | (1,095)          | (993)            | (1,070)          | (1,025)          | (1,106)          | (1,240)          | (1,207)          |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (7,817)            | (544)            | (688)            | (689)            | (756)            | (577)            | (646)            | (586)            | (631)            | (605)            | (652)            | (731)            | (712)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(130,847)</b>   | <b>(9,111)</b>   | <b>(11,524)</b>  | <b>(11,529)</b>  | <b>(12,648)</b>  | <b>(9,659)</b>   | <b>(10,811)</b>  | <b>(9,802)</b>   | <b>(10,564)</b>  | <b>(10,121)</b>  | <b>(10,917)</b>  | <b>(12,241)</b>  | <b>(11,920)</b>  |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,423,153)</b> | <b>(107,982)</b> | <b>(122,080)</b> | <b>(125,771)</b> | <b>(131,455)</b> | <b>(107,868)</b> | <b>(122,539)</b> | <b>(114,044)</b> | <b>(116,819)</b> | <b>(111,791)</b> | <b>(118,326)</b> | <b>(127,288)</b> | <b>(117,191)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 4,422,100          | 316,801          | 386,197          | 390,004          | 421,337          | 329,259          | 370,318          | 338,702          | 358,943          | 343,750          | 368,549          | 407,856          | 390,385          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (271,890)          | (18,932)         | (23,945)         | (23,956)         | (26,281)         | (20,072)         | (22,464)         | (20,368)         | (21,951)         | (21,030)         | (22,686)         | (25,437)         | (24,768)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 4,693,990          | 335,733          | 410,142          | 413,960          | 447,618          | 349,331          | 392,782          | 359,070          | 380,894          | 364,780          | 391,235          | 433,293          | 415,153          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,384,727)        | (99,041)         | (120,992)        | (122,118)        | (132,047)        | (103,053)        | (115,871)        | (105,926)        | (112,364)        | (107,610)        | (115,414)        | (127,821)        | (122,407)        |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>3,037,373</b>   | <b>217,760</b>   | <b>265,205</b>   | <b>267,886</b>   | <b>289,289</b>   | <b>226,206</b>   | <b>254,447</b>   | <b>232,776</b>   | <b>246,579</b>   | <b>236,140</b>   | <b>253,135</b>   | <b>280,035</b>   | <b>267,915</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (761,554)          | (710)            | (898)            | (898)            | (986)            | (753)            | (842)            | (764)            | (823)            | (789)            | (851)            | (954)            | (929)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (11,884,293)       | (11,079)         | (14,013)         | (14,019)         | (15,380)         | (11,746)         | (13,146)         | (11,919)         | (12,846)         | (12,307)         | (13,276)         | (14,886)         | (14,494)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (8,862,202)        | (8,262)          | (10,449)         | (10,454)         | (11,469)         | (8,759)          | (9,803)          | (8,888)          | (9,579)          | (9,177)          | (9,900)          | (11,100)         | (10,809)         |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(287,955)</b>   | <b>(20,050)</b>  | <b>(25,360)</b>  | <b>(25,371)</b>  | <b>(27,834)</b>  | <b>(21,258)</b>  | <b>(23,791)</b>  | <b>(21,571)</b>  | <b>(23,248)</b>  | <b>(22,272)</b>  | <b>(24,026)</b>  | <b>(26,940)</b>  | <b>(26,232)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>3,325,328</b>   | <b>237,810</b>   | <b>290,565</b>   | <b>293,257</b>   | <b>317,123</b>   | <b>247,464</b>   | <b>278,239</b>   | <b>254,348</b>   | <b>269,828</b>   | <b>258,412</b>   | <b>277,161</b>   | <b>306,974</b>   | <b>294,146</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,990,772          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## Z Variable 14.29

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025      | 2026      | 2027      | 2028      | 2029      | 2030      | 2031      | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 443,494     | 39,236    | 36,628    | 38,805    | 37,265    | 35,841    | 41,362    | 39,696    | 38,368    | 35,746    | 35,910    | 35,622    | 29,015    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,430      | 4,022     | 5,212     | 5,453     | 6,138     | 4,350     | 5,032     | 4,409     | 4,969     | 4,830     | 5,273     | 5,762     | 5,981     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.07       | 22.13     | 21.76     | 20.90     | 20.59     | 21.92     | 21.41     | 21.58     | 21.28     | 20.77     | 20.48     | 20.63     | 20.17     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 53.64       | 56.42     | 55.55     | 53.11     | 52.33     | 55.90     | 54.49     | 55.03     | 54.14     | 52.84     | 52.03     | 52.58     | 51.23     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 34,092      | 2,347     | 2,994     | 2,995     | 3,322     | 2,517     | 2,839     | 2,512     | 2,785     | 2,641     | 2,838     | 3,133     | 3,169     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68     | 29.57     | 29.46     | 29.41     | 29.60     | 29.52     | 29.53     | 29.50     | 29.43     | 29.40     | 29.40     | 29.34     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 3,008,263   | 207,141   | 264,212   | 264,294   | 293,121   | 222,057   | 250,504   | 221,670   | 245,763   | 233,000   | 250,399   | 276,443   | 279,658   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (580,663)   | (49,747)  | (48,116)  | (50,897)  | (49,914)  | (46,220)  | (53,353)  | (50,721)  | (49,837)  | (46,662)  | (47,360)  | (47,591)  | (40,246)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (220,535)   | (14,439)  | (18,711)  | (19,878)  | (22,035)  | (15,618)  | (18,064)  | (15,827)  | (17,838)  | (17,340)  | (18,929)  | (20,684)  | (21,473)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (303,758)   | (20,916)  | (26,679)  | (26,687)  | (29,598)  | (22,422)  | (25,295)  | (22,383)  | (24,816)  | (23,527)  | (25,284)  | (27,914)  | (28,238)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (62,388)    | (4,296)   | (5,479)   | (5,481)   | (6,079)   | (4,605)   | (5,195)   | (4,597)   | (5,097)   | (4,832)   | (5,193)   | (5,733)   | (5,800)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (129,549)   | (8,920)   | (11,378)  | (11,382)  | (12,623)  | (9,563)   | (10,788)  | (9,546)   | (10,584)  | (10,034)  | (10,783)  | (11,905)  | (12,043)  |
| Costos Operativos                             |          | (1,296,894) | (98,319)  | (110,364) | (114,024) | (120,248) | (98,428)  | (112,694) | (103,074) | (108,171) | (102,396) | (107,549) | (113,827) | (107,801) |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (99,889)    | (6,878)   | (8,773)   | (8,776)   | (9,733)   | (7,373)   | (8,318)   | (7,361)   | (8,161)   | (7,737)   | (8,314)   | (9,179)   | (9,286)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (10,228)    | (704)     | (898)     | (899)     | (997)     | (755)     | (852)     | (754)     | (836)     | (792)     | (851)     | (940)     | (951)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (13,296)    | (916)     | (1,168)   | (1,168)   | (1,296)   | (981)     | (1,107)   | (980)     | (1,086)   | (1,030)   | (1,107)   | (1,222)   | (1,236)   |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (7,841)     | (540)     | (689)     | (689)     | (764)     | (579)     | (653)     | (578)     | (641)     | (607)     | (653)     | (721)     | (729)     |
| Gasto Adm y Ventas                            |          | (131,254)   | (9,038)   | (11,528)  | (11,531)  | (12,789)  | (9,689)   | (10,930)  | (9,672)   | (10,723)  | (10,166)  | (10,925)  | (12,061)  | (12,202)  |
| Total Costos Operaivos                        |          | (1,428,147) | (107,357) | (121,892) | (125,556) | (133,038) | (108,116) | (123,624) | (112,745) | (118,894) | (112,562) | (118,474) | (125,888) | (120,093) |
| EBITDA                                        | M USD    | 4,436,410   | 314,498   | 386,104   | 389,850   | 426,158   | 330,174   | 374,128   | 334,415   | 364,657   | 345,562   | 368,873   | 402,332   | 399,661   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (272,735)   | (18,780)  | (23,954)  | (23,961)  | (26,575)  | (20,132)  | (22,711)  | (20,097)  | (22,281)  | (21,124)  | (22,702)  | (25,063)  | (25,354)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 4,709,145   | 333,278   | 410,058   | 413,811   | 452,733   | 350,306   | 396,839   | 354,512   | 386,938   | 366,686   | 391,574   | 427,394   | 425,015   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,389,198) | (98,317)  | (120,967) | (122,074) | (133,556) | (103,340) | (117,068) | (104,581) | (114,147) | (108,172) | (115,514) | (126,081) | (125,379) |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 3,047,212   | 216,181   | 265,137   | 267,775   | 292,602   | 226,833   | 257,061   | 229,834   | 250,510   | 237,389   | 253,358   | 276,250   | 274,281   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (463,508)   | (704)     | (898)     | (899)     | (997)     | (755)     | (852)     | (754)     | (836)     | (792)     | (851)     | (940)     | (951)     |
| Costo de Sosteenimiento                       | M USD    | (7,233,189) | (10,990)  | (14,018)  | (14,022)  | (15,552)  | (11,781)  | (13,291)  | (11,761)  | (13,039)  | (12,362)  | (13,285)  | (14,667)  | (14,837)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (5,393,841) | (8,195)   | (10,453)  | (10,456)  | (11,597)  | (8,785)   | (9,911)   | (8,770)   | (9,723)   | (9,218)   | (9,907)   | (10,937)  | (11,064)  |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (288,850)   | (19,889)  | (25,369)  | (25,377)  | (28,145)  | (21,322)  | (24,053)  | (21,284)  | (23,598)  | (22,372)  | (24,043)  | (26,544)  | (26,852)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 3,336,062   | 236,070   | 290,506   | 293,153   | 320,747   | 248,155   | 281,114   | 251,119   | 274,108   | 259,762   | 277,401   | 302,794   | 301,134   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,995,488   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

## Z Variable 16.67

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025             | 2026             | 2027             | 2028             | 2029             | 2030             | 2031             | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,197            | 39,085           | 36,603           | 38,697           | 36,705           | 36,563           | 41,319           | 39,399           | 37,855           | 35,930           | 36,121           | 35,279           | 28,642           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,277             | 3,992            | 5,239            | 5,399            | 6,086            | 4,443            | 4,974            | 4,370            | 4,967            | 4,863            | 5,360            | 5,653            | 5,932            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.07              | 22.13            | 21.76            | 20.91            | 20.53            | 21.92            | 21.43            | 21.57            | 21.28            | 20.77            | 20.45            | 20.67            | 20.14            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 53.63              | 56.44            | 55.55            | 53.14            | 52.16            | 55.90            | 54.53            | 55.01            | 54.13            | 52.86            | 51.94            | 52.70            | 51.14            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 33,999             | 2,330            | 3,010            | 2,967            | 3,283            | 2,570            | 2,808            | 2,489            | 2,783            | 2,659            | 2,880            | 3,081            | 3,138            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68            | 29.57            | 29.46            | 29.40            | 29.60            | 29.52            | 29.53            | 29.50            | 29.44            | 29.40            | 29.41            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>3,000,086</b>   | <b>205,632</b>   | <b>265,577</b>   | <b>261,804</b>   | <b>289,696</b>   | <b>226,769</b>   | <b>247,815</b>   | <b>219,617</b>   | <b>245,611</b>   | <b>234,656</b>   | <b>254,140</b>   | <b>271,079</b>   | <b>276,891</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (578,986)          | (49,539)         | (48,118)         | (50,711)         | (49,210)         | (47,156)         | (53,237)         | (50,334)         | (49,246)         | (46,911)         | (47,703)         | (47,073)         | (39,760)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (219,956)          | (14,331)         | (18,809)         | (19,382)         | (21,847)         | (15,949)         | (17,858)         | (15,687)         | (17,831)         | (17,457)         | (19,244)         | (20,296)         | (21,296)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (302,933)          | (20,764)         | (26,816)         | (26,436)         | (29,252)         | (22,898)         | (25,023)         | (22,176)         | (24,800)         | (23,694)         | (25,662)         | (27,453)         | (27,959)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (62,218)           | (4,265)          | (5,508)          | (5,430)          | (6,008)          | (4,703)          | (5,139)          | (4,555)          | (5,094)          | (4,867)          | (5,271)          | (5,638)          | (5,742)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (129,197)          | (8,855)          | (11,437)         | (11,274)         | (12,476)         | (9,766)          | (10,672)         | (9,458)          | (10,577)         | (10,105)         | (10,944)         | (11,708)         | (11,924)         |
| <b>Costos Operativos</b>                      |              | <b>(1,293,330)</b> | <b>(97,753)</b>  | <b>(110,688)</b> | <b>(113,232)</b> | <b>(118,792)</b> | <b>(100,471)</b> | <b>(111,929)</b> | <b>(102,209)</b> | <b>(107,548)</b> | <b>(103,034)</b> | <b>(108,823)</b> | <b>(112,168)</b> | <b>(106,682)</b> |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (99,618)           | (6,828)          | (8,818)          | (8,693)          | (9,619)          | (7,530)          | (8,229)          | (7,292)          | (8,155)          | (7,792)          | (8,439)          | (9,028)          | (9,194)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (10,200)           | (699)            | (903)            | (890)            | (985)            | (771)            | (843)            | (747)            | (835)            | (798)            | (864)            | (924)            | (941)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (13,260)           | (909)            | (1,174)          | (1,157)          | (1,280)          | (1,002)          | (1,095)          | (971)            | (1,086)          | (1,037)          | (1,123)          | (1,202)          | (1,224)          |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (7,820)            | (536)            | (692)            | (682)            | (755)            | (591)            | (646)            | (572)            | (640)            | (612)            | (662)            | (709)            | (722)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     |              | <b>(130,897)</b>   | <b>(8,972)</b>   | <b>(11,587)</b>  | <b>(11,423)</b>  | <b>(12,640)</b>  | <b>(9,894)</b>   | <b>(10,812)</b>  | <b>(9,582)</b>   | <b>(10,716)</b>  | <b>(10,238)</b>  | <b>(11,088)</b>  | <b>(11,862)</b>  | <b>(12,081)</b>  |
| <b>Total Costos Operativos</b>                |              | <b>(1,424,227)</b> | <b>(106,725)</b> | <b>(122,275)</b> | <b>(124,655)</b> | <b>(131,432)</b> | <b>(110,365)</b> | <b>(122,742)</b> | <b>(111,791)</b> | <b>(118,264)</b> | <b>(113,273)</b> | <b>(119,112)</b> | <b>(124,030)</b> | <b>(118,763)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 4,424,313          | 312,357          | 387,852          | 386,459          | 421,128          | 337,134          | 370,557          | 331,408          | 363,875          | 347,929          | 374,052          | 395,900          | 395,653          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (271,993)          | (18,643)         | (24,078)         | (23,736)         | (26,264)         | (20,559)         | (22,467)         | (19,911)         | (22,268)         | (21,274)         | (23,041)         | (24,649)         | (25,103)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 4,696,306          | 331,000          | 411,929          | 410,194          | 447,392          | 357,694          | 393,024          | 351,319          | 386,142          | 369,204          | 397,093          | 420,558          | 420,757          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,385,410)        | (97,645)         | (121,519)        | (121,007)        | (131,981)        | (105,520)        | (115,942)        | (103,639)        | (113,912)        | (108,915)        | (117,142)        | (124,065)        | (124,123)        |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>3,038,902</b>   | <b>214,712</b>   | <b>266,332</b>   | <b>265,451</b>   | <b>289,147</b>   | <b>231,615</b>   | <b>254,615</b>   | <b>227,769</b>   | <b>249,963</b>   | <b>239,014</b>   | <b>256,910</b>   | <b>271,844</b>   | <b>271,530</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (279,430)          | (699)            | (903)            | (890)            | (985)            | (771)            | (843)            | (747)            | (835)            | (798)            | (864)            | (924)            | (941)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (4,360,591)        | (10,910)         | (14,090)         | (13,890)         | (15,370)         | (12,031)         | (13,148)         | (11,652)         | (13,031)         | (12,450)         | (13,483)         | (14,425)         | (14,691)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (3,251,724)        | (8,136)          | (10,507)         | (10,358)         | (11,461)         | (8,972)          | (9,804)          | (8,689)          | (9,717)          | (9,284)          | (10,055)         | (10,757)         | (10,955)         |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(288,064)</b>   | <b>(19,745)</b>  | <b>(25,500)</b>  | <b>(25,138)</b>  | <b>(27,816)</b>  | <b>(21,774)</b>  | <b>(23,795)</b>  | <b>(21,087)</b>  | <b>(23,583)</b>  | <b>(22,531)</b>  | <b>(24,402)</b>  | <b>(26,105)</b>  | <b>(26,587)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>3,326,967</b>   | <b>234,457</b>   | <b>291,833</b>   | <b>290,589</b>   | <b>316,963</b>   | <b>253,389</b>   | <b>278,410</b>   | <b>248,856</b>   | <b>273,546</b>   | <b>261,546</b>   | <b>281,312</b>   | <b>297,950</b>   | <b>298,117</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,990,211          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## Z Variable 20

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025             | 2026             | 2027             | 2028             | 2029             | 2030             | 2031             | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,296            | 39,335           | 36,570           | 38,756           | 37,151           | 35,799           | 41,446           | 39,775           | 37,834           | 35,618           | 35,680           | 35,795           | 28,538           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,288             | 4,021            | 5,236            | 5,418            | 6,116            | 4,366            | 5,013            | 4,410            | 4,932            | 4,806            | 5,280            | 5,782            | 5,908            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.07              | 22.12            | 21.77            | 20.88            | 20.60            | 21.90            | 21.44            | 21.54            | 21.29            | 20.79            | 20.47            | 20.66            | 20.13            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 53.64              | 56.39            | 55.59            | 53.05            | 52.35            | 55.86            | 54.57            | 54.91            | 54.17            | 52.91            | 52.00            | 52.67            | 51.12            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 34,013             | 2,345            | 3,010            | 2,972            | 3,312            | 2,524            | 2,832            | 2,508            | 2,766            | 2,631            | 2,840            | 3,150            | 3,124            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68            | 29.57            | 29.45            | 29.41            | 29.60            | 29.53            | 29.53            | 29.50            | 29.44            | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>3,001,351</b>   | <b>206,964</b>   | <b>265,614</b>   | <b>262,253</b>   | <b>292,224</b>   | <b>222,718</b>   | <b>249,917</b>   | <b>221,264</b>   | <b>244,057</b>   | <b>232,127</b>   | <b>250,608</b>   | <b>277,953</b>   | <b>275,652</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,122)          | (49,539)         | (48,077)         | (50,799)         | (49,757)         | (46,190)         | (53,428)         | (50,813)         | (49,180)         | (46,488)         | (47,104)         | (47,814)         | (39,612)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (220,025)          | (14,436)         | (18,796)         | (19,449)         | (21,956)         | (15,675)         | (17,996)         | (15,834)         | (17,704)         | (17,255)         | (18,955)         | (20,759)         | (21,209)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (303,060)          | (20,889)         | (26,820)         | (26,481)         | (29,507)         | (22,489)         | (25,235)         | (22,342)         | (24,644)         | (23,439)         | (25,305)         | (28,066)         | (27,834)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (62,245)           | (4,292)          | (5,509)          | (5,439)          | (6,006)          | (4,619)          | (5,183)          | (4,589)          | (5,061)          | (4,814)          | (5,197)          | (5,674)          | (5,717)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (129,251)          | (8,913)          | (11,438)         | (11,294)         | (12,584)         | (9,591)          | (10,763)         | (9,529)          | (10,510)         | (9,996)          | (10,792)         | (11,970)         | (11,871)         |
| <b>Costos Operativos</b>                      |              | <b>(1,293,702)</b> | <b>(98,399)</b>  | <b>(110,640)</b> | <b>(113,462)</b> | <b>(119,865)</b> | <b>(98,564)</b>  | <b>(112,605)</b> | <b>(103,166)</b> | <b>(107,100)</b> | <b>(101,992)</b> | <b>(107,354)</b> | <b>(114,373)</b> | <b>(106,243)</b> |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (99,660)           | (6,872)          | (8,820)          | (8,708)          | (9,703)          | (7,395)          | (8,298)          | (7,347)          | (8,104)          | (7,708)          | (8,321)          | (9,229)          | (9,153)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (10,204)           | (704)            | (903)            | (892)            | (994)            | (757)            | (850)            | (752)            | (830)            | (789)            | (852)            | (945)            | (937)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (13,265)           | (915)            | (1,174)          | (1,159)          | (1,292)          | (984)            | (1,105)          | (978)            | (1,079)          | (1,026)          | (1,108)          | (1,228)          | (1,218)          |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (7,823)            | (539)            | (692)            | (684)            | (762)            | (581)            | (651)            | (577)            | (636)            | (605)            | (653)            | (724)            | (718)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     |              | <b>(130,952)</b>   | <b>(9,030)</b>   | <b>(11,589)</b>  | <b>(11,442)</b>  | <b>(12,750)</b>  | <b>(9,717)</b>   | <b>(10,904)</b>  | <b>(9,654)</b>   | <b>(10,648)</b>  | <b>(10,128)</b>  | <b>(10,934)</b>  | <b>(12,127)</b>  | <b>(12,027)</b>  |
| <b>Total Costos Operativos</b>                |              | <b>(1,424,654)</b> | <b>(107,429)</b> | <b>(122,229)</b> | <b>(124,904)</b> | <b>(132,615)</b> | <b>(108,281)</b> | <b>(123,509)</b> | <b>(112,760)</b> | <b>(117,748)</b> | <b>(112,120)</b> | <b>(118,288)</b> | <b>(126,500)</b> | <b>(118,270)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 4,426,005          | 314,392          | 387,843          | 387,157          | 424,840          | 330,999          | 373,426          | 334,025          | 361,805          | 344,247          | 368,897          | 404,453          | 393,922          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (272,108)          | (18,764)         | (24,081)         | (23,776)         | (26,484)         | (20,192)         | (22,658)         | (20,060)         | (22,127)         | (21,045)         | (22,721)         | (25,200)         | (24,991)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 4,698,113          | 333,156          | 411,924          | 410,934          | 451,333          | 351,191          | 396,084          | 354,085          | 383,932          | 365,292          | 391,617          | 429,653          | 418,913          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,385,943)        | (98,281)         | (121,518)        | (121,225)        | (133,143)        | (103,601)        | (116,845)        | (104,455)        | (113,260)        | (107,761)        | (115,527)        | (126,748)        | (123,579)        |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>3,040,062</b>   | <b>214,111</b>   | <b>266,325</b>   | <b>265,932</b>   | <b>291,696</b>   | <b>237,987</b>   | <b>256,581</b>   | <b>229,570</b>   | <b>248,545</b>   | <b>236,486</b>   | <b>253,370</b>   | <b>271,705</b>   | <b>270,342</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (165,448)          | (704)            | (903)            | (892)            | (994)            | (757)            | (850)            | (752)            | (830)            | (789)            | (852)            | (945)            | (937)            |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD        | (2,581,873)        | (10,980)         | (14,092)         | (13,914)         | (15,504)         | (11,816)         | (13,259)         | (11,739)         | (12,949)         | (12,316)         | (13,296)         | (14,747)         | (14,625)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (1,925,321)        | (8,188)          | (10,509)         | (10,376)         | (11,561)         | (8,812)          | (9,888)          | (8,754)          | (9,656)          | (9,184)          | (9,915)          | (10,997)         | (10,906)         |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(288,186)</b>   | <b>(19,872)</b>  | <b>(25,504)</b>  | <b>(25,181)</b>  | <b>(28,059)</b>  | <b>(21,385)</b>  | <b>(23,997)</b>  | <b>(21,246)</b>  | <b>(23,434)</b>  | <b>(22,289)</b>  | <b>(24,063)</b>  | <b>(26,689)</b>  | <b>(26,468)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>3,328,248</b>   | <b>235,984</b>   | <b>291,829</b>   | <b>291,113</b>   | <b>319,755</b>   | <b>248,783</b>   | <b>280,578</b>   | <b>250,815</b>   | <b>271,980</b>   | <b>258,775</b>   | <b>277,433</b>   | <b>304,394</b>   | <b>296,810</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,991,881          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## Z Variable 25

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025      | 2026      | 2027      | 2028      | 2029      | 2030      | 2031      | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 443,404     | 39,091    | 36,517    | 39,659    | 37,058    | 35,149    | 41,995    | 38,707    | 39,266    | 36,345    | 35,032    | 34,944    | 29,641    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,280      | 3,975     | 5,243     | 5,492     | 6,127     | 4,327     | 5,081     | 4,217     | 5,046     | 4,984     | 5,093     | 5,631     | 6,065     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.08       | 22.14     | 21.75     | 20.93     | 20.55     | 21.92     | 21.43     | 21.57     | 21.30     | 20.79     | 20.45     | 20.66     | 20.17     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 53.65       | 56.45     | 55.51     | 53.21     | 52.23     | 55.92     | 54.54     | 54.98     | 54.20     | 52.90     | 51.95     | 52.67     | 51.24     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 34,013      | 2,321     | 3,010     | 3,023     | 3,310     | 2,504     | 2,869     | 2,401     | 2,832     | 2,728     | 2,737     | 3,067     | 3,214     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68     | 29.57     | 29.46     | 29.41     | 29.60     | 29.52     | 29.53     | 29.50     | 29.44     | 29.40     | 29.41     | 29.34     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 3,001,328   | 204,785   | 265,581   | 266,708   | 292,054   | 220,969   | 253,153   | 211,832   | 249,871   | 240,681   | 241,477   | 270,621   | 283,597   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (580,387)   | (49,525)  | (48,024)  | (51,923)  | (49,662)  | (45,398)  | (54,137)  | (49,363)  | (50,959)  | (47,528)  | (46,144)  | (46,661)  | (41,062)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (219,995)   | (14,269)  | (18,823)  | (19,717)  | (21,995)  | (15,535)  | (18,239)  | (15,139)  | (18,116)  | (17,892)  | (18,284)  | (20,214)  | (21,772)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (303,058)   | (20,678)  | (26,817)  | (26,931)  | (29,490)  | (22,312)  | (25,562)  | (21,390)  | (25,231)  | (24,303)  | (24,383)  | (27,326)  | (28,636)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (62,244)    | (4,247)   | (5,508)   | (5,531)   | (6,057)   | (4,583)   | (5,250)   | (4,393)   | (5,182)   | (4,991)   | (5,008)   | (5,612)   | (5,881)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (129,250)   | (8,819)   | (11,437)  | (11,486)  | (12,577)  | (9,516)   | (10,902)  | (9,122)   | (10,761)  | (10,365)  | (10,399)  | (11,654)  | (12,213)  |
| Costos Operativos                             |          | (1,294,934) | (97,539)  | (110,609) | (115,588) | (119,782) | (97,344)  | (114,090) | (99,406)  | (110,248) | (105,078) | (104,217) | (111,468) | (109,564) |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (99,659)    | (6,800)   | (8,819)   | (8,856)   | (9,698)   | (7,337)   | (8,406)   | (7,034)   | (8,297)   | (7,992)   | (8,018)   | (8,986)   | (9,417)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (10,204)    | (696)     | (903)     | (907)     | (993)     | (751)     | (861)     | (720)     | (850)     | (818)     | (821)     | (920)     | (964)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (13,265)    | (905)     | (1,174)   | (1,179)   | (1,291)   | (977)     | (1,119)   | (936)     | (1,104)   | (1,064)   | (1,067)   | (1,196)   | (1,253)   |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (7,823)     | (534)     | (692)     | (695)     | (761)     | (576)     | (660)     | (552)     | (651)     | (627)     | (629)     | (705)     | (739)     |
| Gasto Adm y Ventas                            |          | (130,951)   | (8,935)   | (11,588)  | (11,637)  | (12,743)  | (9,641)   | (11,045)  | (9,242)   | (10,902)  | (10,501)  | (10,536)  | (11,807)  | (12,374)  |
| Total Costos Operaivos                        |          | (1,425,885) | (106,474) | (122,196) | (127,225) | (132,524) | (106,986) | (125,135) | (108,649) | (121,150) | (115,580) | (114,753) | (123,275) | (121,938) |
| EBITDA                                        | M USD    | 4,427,213   | 311,259   | 387,777   | 393,932   | 424,578   | 327,955   | 378,288   | 320,481   | 371,021   | 356,260   | 359,896   | 403,986   | 450,535   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (272,106)   | (18,566)  | (24,078)  | (24,180)  | (26,478)  | (20,033)  | (22,951)  | (19,205)  | (22,654)  | (21,821)  | (21,893)  | (24,535)  | (25,711)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 4,699,319   | 329,825   | 411,855   | 418,113   | 451,056   | 347,988   | 401,240   | 339,686   | 393,675   | 378,081   | 378,123   | 418,431   | 431,247   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,386,299) | (97,298)  | (121,497) | (123,343) | (133,062) | (102,657) | (118,366) | (100,207) | (116,134) | (111,534) | (111,546) | (123,437) | (127,181) |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 3,040,914   | 213,960   | 266,280   | 270,589   | 291,516   | 225,298   | 259,923   | 220,274   | 254,887   | 244,726   | 244,684   | 270,459   | 278,317   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (95,374)    | (696)     | (903)     | (907)     | (993)     | (751)     | (861)     | (720)     | (850)     | (818)     | (821)     | (920)     | (964)     |
| Costo de Sosteenimiento                       | M USD    | (1,488,335) | (10,865)  | (14,090)  | (14,150)  | (15,495)  | (11,724)  | (13,431)  | (11,239)  | (13,257)  | (12,769)  | (12,812)  | (14,358)  | (15,046)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (1,109,862) | (8,102)   | (10,507)  | (10,552)  | (11,555)  | (8,742)   | (10,016)  | (8,381)   | (9,886)   | (9,522)   | (9,554)   | (10,707)  | (11,220)  |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (288,184)   | (19,663)  | (25,501)  | (25,609)  | (28,043)  | (21,217)  | (24,307)  | (20,340)  | (23,992)  | (23,110)  | (23,186)  | (25,995)  | (27,231)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 3,329,098   | 233,623   | 291,780   | 296,198   | 319,559   | 246,516   | 284,230   | 240,614   | 278,880   | 267,836   | 267,870   | 296,444   | 305,548   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,992,172   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

## Z Variable 33.3

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025             | 2026             | 2027             | 2028             | 2029             | 2030             | 2031             | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,447            | 38,984           | 36,793           | 38,790           | 37,420           | 35,206           | 41,216           | 40,002           | 38,212           | 35,400           | 36,118           | 35,470           | 28,836           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,289             | 4,008            | 5,224            | 5,474            | 6,147            | 4,327            | 4,996            | 4,510            | 4,923            | 4,771            | 5,219            | 5,850            | 5,840            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.08              | 22.17            | 21.76            | 20.85            | 20.63            | 21.90            | 21.39            | 21.59            | 21.30            | 20.83            | 20.40            | 20.68            | 20.16            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 53.66              | 56.53            | 55.57            | 52.96            | 52.47            | 55.85            | 54.42            | 55.05            | 54.19            | 53.03            | 51.79            | 52.72            | 51.19            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 34,024             | 2,344            | 3,002            | 2,998            | 3,336            | 2,501            | 2,814            | 2,571            | 2,762            | 2,617            | 2,796            | 3,189            | 3,092            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68            | 29.57            | 29.46            | 29.41            | 29.60            | 29.52            | 29.53            | 29.51            | 29.43            | 29.40            | 29.41            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>3,002,249</b>   | <b>206,802</b>   | <b>264,824</b>   | <b>264,582</b>   | <b>294,356</b>   | <b>220,717</b>   | <b>248,348</b>   | <b>226,857</b>   | <b>243,728</b>   | <b>230,935</b>   | <b>246,733</b>   | <b>281,438</b>   | <b>272,829</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,286)          | (49,440)         | (48,319)         | (50,904)         | (50,102)         | (45,463)         | (53,143)         | (51,189)         | (49,605)         | (46,197)         | (47,538)         | (47,518)         | (39,878)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (220,028)          | (14,388)         | (18,754)         | (19,653)         | (22,067)         | (15,536)         | (17,934)         | (16,192)         | (17,673)         | (17,128)         | (18,736)         | (21,001)         | (20,967)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (303,151)          | (20,882)         | (26,751)         | (26,716)         | (29,723)         | (22,287)         | (25,077)         | (22,907)         | (24,610)         | (23,319)         | (24,914)         | (28,418)         | (27,549)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (62,263)           | (4,289)          | (5,494)          | (5,487)          | (6,105)          | (4,577)          | (5,150)          | (4,705)          | (5,055)          | (4,789)          | (5,117)          | (5,837)          | (5,658)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (129,290)          | (8,906)          | (11,409)         | (11,394)         | (12,676)         | (9,505)          | (10,695)         | (9,769)          | (10,496)         | (9,945)          | (10,625)         | (12,120)         | (11,749)         |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,294,029)</b> | <b>(97,905)</b>  | <b>(110,726)</b> | <b>(114,155)</b> | <b>(120,672)</b> | <b>(97,368)</b>  | <b>(111,999)</b> | <b>(104,762)</b> | <b>(107,440)</b> | <b>(101,377)</b> | <b>(106,931)</b> | <b>(114,894)</b> | <b>(105,801)</b> |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (99,689)           | (6,867)          | (8,797)          | (8,785)          | (9,774)          | (7,329)          | (8,246)          | (7,533)          | (8,093)          | (7,668)          | (8,193)          | (9,345)          | (9,059)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (10,207)           | (703)            | (901)            | (900)            | (1,001)          | (750)            | (844)            | (771)            | (829)            | (785)            | (839)            | (957)            | (928)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (13,269)           | (914)            | (1,171)          | (1,169)          | (1,301)          | (976)            | (1,098)          | (1,003)          | (1,077)          | (1,021)          | (1,091)          | (1,244)          | (1,206)          |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (7,825)            | (539)            | (691)            | (690)            | (767)            | (575)            | (647)            | (591)            | (635)            | (602)            | (643)            | (734)            | (711)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(130,991)</b>   | <b>(9,023)</b>   | <b>(11,559)</b>  | <b>(11,544)</b>  | <b>(12,843)</b>  | <b>(9,630)</b>   | <b>(10,836)</b>  | <b>(9,898)</b>   | <b>(10,634)</b>  | <b>(10,076)</b>  | <b>(10,765)</b>  | <b>(12,279)</b>  | <b>(11,904)</b>  |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,425,020)</b> | <b>(106,928)</b> | <b>(122,285)</b> | <b>(125,699)</b> | <b>(133,515)</b> | <b>(106,998)</b> | <b>(122,835)</b> | <b>(114,660)</b> | <b>(118,074)</b> | <b>(111,453)</b> | <b>(117,696)</b> | <b>(127,173)</b> | <b>(117,704)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 4,427,269          | 313,730          | 387,209          | 390,280          | 427,871          | 327,715          | 371,182          | 341,517          | 361,802          | 342,388          | 364,429          | 408,612          | 390,533          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (272,189)          | (18,749)         | (24,018)         | (23,987)         | (26,687)         | (20,011)         | (22,516)         | (20,567)         | (22,097)         | (20,937)         | (22,369)         | (25,516)         | (24,735)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 4,699,458          | 332,479          | 411,227          | 414,268          | 454,558          | 347,726          | 393,698          | 362,085          | 383,899          | 367,325          | 386,798          | 434,128          | 415,269          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,386,340)        | (98,081)         | (121,312)        | (122,209)        | (134,095)        | (102,579)        | (116,141)        | (106,815)        | (113,250)        | (107,181)        | (114,105)        | (128,068)        | (122,504)        |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>3,040,929</b>   | <b>215,649</b>   | <b>265,897</b>   | <b>268,071</b>   | <b>293,777</b>   | <b>225,136</b>   | <b>255,041</b>   | <b>234,702</b>   | <b>248,552</b>   | <b>235,207</b>   | <b>250,233</b>   | <b>280,544</b>   | <b>268,029</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (51,462)           | (703)            | (901)            | (900)            | (1,001)          | (750)            | (844)            | (771)            | (829)            | (785)            | (839)            | (957)            | (928)            |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD        | (803,079)          | (10,972)         | (14,056)         | (14,037)         | (15,617)         | (11,710)         | (13,176)         | (12,036)         | (12,931)         | (12,252)         | (13,090)         | (14,932)         | (14,475)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (598,862)          | (8,182)          | (10,481)         | (10,468)         | (11,646)         | (8,732)          | (9,826)          | (8,975)          | (9,643)          | (9,137)          | (9,762)          | (11,135)         | (10,794)         |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(288,272)</b>   | <b>(19,857)</b>  | <b>(25,438)</b>  | <b>(25,405)</b>  | <b>(28,264)</b>  | <b>(21,193)</b>  | <b>(23,846)</b>  | <b>(21,783)</b>  | <b>(23,402)</b>  | <b>(22,174)</b>  | <b>(23,691)</b>  | <b>(27,023)</b>  | <b>(26,197)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>3,329,201</b>   | <b>235,506</b>   | <b>291,334</b>   | <b>293,476</b>   | <b>322,040</b>   | <b>246,329</b>   | <b>278,887</b>   | <b>256,485</b>   | <b>271,954</b>   | <b>257,381</b>   | <b>274,014</b>   | <b>307,568</b>   | <b>294,226</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,993,302          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## Z Variable 50

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025             | 2026             | 2027             | 2028             | 2029             | 2030             | 2031             | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 442,712            | 39,323           | 34,449           | 39,230           | 36,516           | 36,532           | 40,987           | 42,975           | 35,799           | 34,561           | 39,177           | 36,023           | 27,139           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,455             | 4,039            | 4,898            | 5,540            | 6,184            | 4,411            | 4,959            | 4,780            | 4,770            | 4,643            | 5,860            | 5,671            | 5,699            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.08              | 22.14            | 21.78            | 20.93            | 20.46            | 21.95            | 21.41            | 21.58            | 21.31            | 20.80            | 20.48            | 20.71            | 20.19            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 53.66              | 56.46            | 55.62            | 53.19            | 51.93            | 56.00            | 54.49            | 55.02            | 54.20            | 52.95            | 52.01            | 52.82            | 51.30            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 34,116             | 2,359            | 2,817            | 3,048            | 3,322            | 2,556            | 2,798            | 2,723            | 2,677            | 2,543            | 3,153            | 3,098            | 3,024            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68            | 29.57            | 29.46            | 29.39            | 29.52            | 29.53            | 29.53            | 29.51            | 29.44            | 29.40            | 29.41            | 29.34            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>3,010,436</b>   | <b>208,132</b>   | <b>248,588</b>   | <b>268,940</b>   | <b>293,121</b>   | <b>225,560</b>   | <b>246,878</b>   | <b>240,251</b>   | <b>236,201</b>   | <b>224,403</b>   | <b>278,184</b>   | <b>273,374</b>   | <b>266,803</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (579,791)          | (49,866)         | (45,249)         | (51,486)         | (49,105)         | (47,085)         | (52,838)         | (54,918)         | (46,655)         | (45,085)         | (51,792)         | (47,949)         | (37,764)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (220,622)          | (14,501)         | (17,583)         | (19,889)         | (22,201)         | (15,836)         | (17,804)         | (17,159)         | (17,124)         | (16,668)         | (21,037)         | (20,360)         | (20,460)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (303,978)          | (21,016)         | (25,101)         | (27,156)         | (29,598)         | (22,776)         | (24,928)         | (24,259)         | (23,850)         | (22,659)         | (28,090)         | (27,604)         | (26,940)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (62,433)           | (4,316)          | (5,155)          | (5,578)          | (6,079)          | (4,678)          | (5,120)          | (4,983)          | (4,899)          | (4,654)          | (5,769)          | (5,669)          | (5,533)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (129,643)          | (8,963)          | (10,705)         | (11,582)         | (12,623)         | (9,714)          | (10,632)         | (10,346)         | (10,172)         | (9,664)          | (11,980)         | (11,773)         | (11,490)         |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,296,467)</b> | <b>(98,662)</b>  | <b>(103,794)</b> | <b>(115,690)</b> | <b>(119,606)</b> | <b>(100,088)</b> | <b>(111,322)</b> | <b>(111,665)</b> | <b>(102,700)</b> | <b>(98,730)</b>  | <b>(118,668)</b> | <b>(113,355)</b> | <b>(102,187)</b> |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (99,961)           | (6,881)          | (8,254)          | (8,930)          | (9,733)          | (7,490)          | (8,198)          | (7,977)          | (7,843)          | (7,451)          | (9,237)          | (9,077)          | (8,859)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (10,235)           | (708)            | (945)            | (914)            | (997)            | (767)            | (839)            | (817)            | (803)            | (763)            | (946)            | (929)            | (907)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (13,305)           | (920)            | (1,099)          | (1,189)          | (1,296)          | (997)            | (1,091)          | (1,062)          | (1,044)          | (992)            | (1,230)          | (1,208)          | (1,179)          |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (7,847)            | (543)            | (648)            | (701)            | (764)            | (588)            | (643)            | (626)            | (616)            | (585)            | (725)            | (713)            | (695)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(131,348)</b>   | <b>(9,081)</b>   | <b>(10,846)</b>  | <b>(11,734)</b>  | <b>(12,789)</b>  | <b>(9,841)</b>   | <b>(10,772)</b>  | <b>(10,482)</b>  | <b>(10,306)</b>  | <b>(9,791)</b>   | <b>(12,137)</b>  | <b>(11,928)</b>  | <b>(11,641)</b>  |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,427,815)</b> | <b>(107,743)</b> | <b>(114,640)</b> | <b>(127,424)</b> | <b>(132,395)</b> | <b>(109,930)</b> | <b>(122,093)</b> | <b>(122,147)</b> | <b>(113,005)</b> | <b>(108,512)</b> | <b>(130,806)</b> | <b>(125,282)</b> | <b>(113,828)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 4,438,251          | 315,876          | 363,228          | 396,365          | 425,516          | 335,490          | 368,971          | 362,398          | 349,206          | 332,924          | 408,990          | 398,656          | 380,631          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (272,932)          | (18,870)         | (22,537)         | (24,383)         | (26,575)         | (20,450)         | (22,382)         | (21,782)         | (21,414)         | (20,345)         | (25,221)         | (24,785)         | (24,189)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 4,711,182          | 334,745          | 385,765          | 420,747          | 452,091          | 355,940          | 391,354          | 384,179          | 370,621          | 353,269          | 434,210          | 423,441          | 404,820          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,389,799)        | (98,750)         | (113,801)        | (124,120)        | (133,367)        | (105,002)        | (115,449)        | (113,333)        | (109,333)        | (104,214)        | (128,092)        | (124,915)        | (119,422)        |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>3,048,452</b>   | <b>217,126</b>   | <b>249,427</b>   | <b>272,244</b>   | <b>292,149</b>   | <b>230,488</b>   | <b>253,522</b>   | <b>249,065</b>   | <b>239,873</b>   | <b>228,710</b>   | <b>280,898</b>   | <b>273,741</b>   | <b>261,209</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (25,299)           | (708)            | (945)            | (914)            | (997)            | (767)            | (839)            | (817)            | (803)            | (763)            | (946)            | (929)            | (907)            |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD        | (394,798)          | (11,043)         | (13,189)         | (14,269)         | (15,552)         | (11,967)         | (13,098)         | (12,747)         | (12,532)         | (11,906)         | (14,759)         | (14,504)         | (14,155)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (294,404)          | (8,234)          | (9,835)          | (10,640)         | (11,597)         | (8,924)          | (9,767)          | (9,505)          | (9,345)          | (8,878)          | (11,006)         | (10,816)         | (10,556)         |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(289,058)</b>   | <b>(19,285)</b>  | <b>(23,869)</b>  | <b>(25,823)</b>  | <b>(28,145)</b>  | <b>(21,658)</b>  | <b>(23,705)</b>  | <b>(23,069)</b>  | <b>(22,680)</b>  | <b>(21,547)</b>  | <b>(26,711)</b>  | <b>(26,249)</b>  | <b>(25,618)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>3,337,510</b>   | <b>237,110</b>   | <b>273,296</b>   | <b>298,067</b>   | <b>320,294</b>   | <b>252,146</b>   | <b>277,227</b>   | <b>272,133</b>   | <b>262,553</b>   | <b>250,257</b>   | <b>307,608</b>   | <b>299,990</b>   | <b>286,827</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,992,851          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## Z Variable 100

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025      | 2026      | 2027      | 2028      | 2029      | 2030      | 2031      | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 445,987     | 39,491    | 37,985    | 36,638    | 38,858    | 36,039    | 41,677    | 37,726    | 40,355    | 37,308    | 34,225    | 35,463    | 30,222    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 60,046      | 4,016     | 5,365     | 5,235     | 6,014     | 4,551     | 4,911     | 4,248     | 4,761     | 4,703     | 5,118     | 5,466     | 5,657     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.09       | 22.01     | 21.86     | 20.68     | 20.75     | 21.84     | 21.36     | 21.72     | 21.21     | 20.84     | 20.52     | 20.53     | 20.30     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 53.69       | 56.08     | 55.86     | 52.45     | 52.83     | 55.69     | 54.33     | 55.45     | 53.92     | 53.06     | 52.09     | 52.32     | 51.60     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 33,353      | 2,330     | 3,099     | 2,840     | 3,286     | 2,623     | 2,763     | 2,439     | 2,658     | 2,581     | 2,758     | 2,958     | 3,019     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.69     | 29.56     | 29.44     | 29.43     | 29.60     | 29.52     | 29.53     | 29.51     | 29.41     | 29.41     | 29.41     | 29.32     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,943,045   | 205,570   | 273,431   | 250,599   | 289,954   | 231,416   | 243,796   | 215,243   | 234,539   | 227,777   | 243,343   | 261,010   | 266,367   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (581,938)   | (50,033)  | (48,852)  | (48,155)  | (51,603)  | (46,678)  | (53,576)  | (48,270)  | (51,883)  | (48,313)  | (45,245)  | (47,069)  | (41,261)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (215,564)   | (14,418)  | (19,259)  | (18,795)  | (21,590)  | (16,337)  | (17,632)  | (15,252)  | (17,092)  | (16,884)  | (18,373)  | (19,624)  | (20,308)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (297,173)   | (20,757)  | (27,610)  | (25,304)  | (29,278)  | (23,367)  | (24,617)  | (21,734)  | (23,682)  | (23,000)  | (24,571)  | (26,355)  | (26,896)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (61,035)    | (4,263)   | (5,671)   | (5,197)   | (6,013)   | (4,799)   | (5,056)   | (4,464)   | (4,864)   | (4,724)   | (5,047)   | (5,413)   | (5,524)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (126,740)   | (8,853)   | (11,775)  | (10,792)  | (12,487)  | (9,966)   | (10,499)  | (9,269)   | (10,100)  | (9,809)   | (10,479)  | (11,240)  | (11,471)  |
| Costos Operativos                             | M USD    | (1,282,450) | (98,324)  | (114,166) | (108,243) | (120,971) | (101,148) | (111,380) | (98,990)  | (107,621) | (102,729) | (103,716) | (109,701) | (105,461) |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (97,723)    | (6,826)   | (9,079)   | (8,321)   | (9,628)   | (7,684)   | (8,095)   | (7,147)   | (7,788)   | (7,563)   | (8,080)   | (8,667)   | (8,845)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (10,006)    | (699)     | (930)     | (852)     | (986)     | (787)     | (829)     | (732)     | (797)     | (774)     | (827)     | (887)     | (906)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (13,008)    | (609)     | (1,209)   | (1,108)   | (1,282)   | (1,023)   | (1,078)   | (951)     | (1,037)   | (1,007)   | (1,076)   | (1,154)   | (1,177)   |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (7,671)     | (536)     | (713)     | (653)     | (756)     | (603)     | (635)     | (561)     | (611)     | (594)     | (634)     | (680)     | (694)     |
| Gasto Adm y Ventas                            | M USD    | (128,408)   | (8,969)   | (11,930)  | (10,934)  | (12,651)  | (10,097)  | (10,637)  | (9,391)   | (10,233)  | (9,938)   | (10,617)  | (11,388)  | (11,622)  |
| Total Costos Operativos                       | M USD    | (1,410,858) | (107,293) | (126,096) | (119,177) | (133,622) | (111,245) | (122,017) | (108,381) | (117,855) | (112,667) | (114,333) | (121,089) | (117,083) |
| EBITDA                                        | M USD    | 4,353,903   | 312,863   | 399,527   | 369,775   | 423,577   | 342,661   | 365,813   | 328,624   | 352,393   | 340,444   | 357,676   | 382,099   | 383,450   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (266,822)   | (18,637)  | (24,790)  | (22,720)  | (26,288)  | (20,981)  | (22,103)  | (19,514)  | (21,264)  | (20,651)  | (22,062)  | (23,664)  | (24,149)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 4,620,725   | 331,501   | 424,317   | 392,495   | 449,865   | 363,641   | 387,916   | 341,138   | 373,657   | 361,095   | 379,738   | 405,763   | 407,600   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,363,114) | (97,793)  | (125,174) | (115,786) | (132,710) | (107,274) | (114,435) | (101,226) | (110,229) | (106,523) | (112,023) | (119,700) | (120,242) |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 2,990,789   | 215,071   | 274,354   | 253,989   | 290,867   | 235,366   | 251,378   | 222,398   | 242,164   | 233,921   | 245,653   | 262,399   | 263,208   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (7,525)     | (699)     | (930)     | (852)     | (986)     | (787)     | (829)     | (732)     | (797)     | (774)     | (827)     | (887)     | (906)     |
| Costo de Sostienimiento                       | M USD    | (117,435)   | (10,907)  | (14,507)  | (13,296)  | (15,384)  | (12,278)  | (12,935)  | (11,420)  | (12,443)  | (12,085)  | (12,911)  | (13,848)  | (14,132)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (87,572)    | (8,133)   | (10,818)  | (9,915)   | (11,472)  | (9,156)   | (9,645)   | (8,516)   | (9,279)   | (9,012)   | (9,628)   | (10,327)  | (10,538)  |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (282,587)   | (19,739)  | (26,254)  | (24,062)  | (27,841)  | (22,220)  | (23,409)  | (20,667)  | (22,520)  | (21,871)  | (23,365)  | (25,062)  | (25,576)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 3,273,777   | 234,809   | 300,608   | 278,051   | 318,708   | 257,607   | 274,787   | 243,666   | 264,684   | 255,792   | 269,019   | 287,461   | 288,785   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,968,759   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

## Fully 15 x 15 x 0.0625

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025            | 2026             | 2027             | 2028             | 2029            | 2030             | 2031            | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 441,248            | 39,159          | 36,659           | 39,397           | 36,761           | 35,812          | 41,123           | 38,876          | 36,910           | 36,464           | 36,341           | 35,175           | 28,572           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,340             | 4,030           | 5,221            | 5,391            | 6,147            | 4,348           | 4,992            | 4,460           | 4,941            | 4,887            | 5,276            | 5,697            | 5,950            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.30              | 22.35           | 21.99            | 21.15            | 20.79            | 22.14           | 21.64            | 21.81           | 21.53            | 21.01            | 20.70            | 20.89            | 20.32            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 54.35              | 57.11           | 56.29            | 53.88            | 52.96            | 56.61           | 55.24            | 55.77           | 54.91            | 53.62            | 52.72            | 53.38            | 51.73            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 24,566             | 1,741           | 2,232            | 2,183            | 2,446            | 1,820           | 1,988            | 1,792           | 1,956            | 1,905            | 2,023            | 2,232            | 2,249            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68           | 29.57            | 29.46            | 29.41            | 29.59           | 29.52            | 29.53           | 29.50            | 29.44            | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,167,692</b>   | <b>153,645</b>  | <b>196,991</b>   | <b>192,631</b>   | <b>215,807</b>   | <b>160,615</b>  | <b>175,432</b>   | <b>158,106</b>  | <b>172,572</b>   | <b>168,059</b>   | <b>178,494</b>   | <b>196,922</b>   | <b>198,418</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (577,977)          | (49,668)        | (48,162)         | (51,506)         | (49,344)         | (46,184)        | (53,031)         | (49,836)        | (48,129)         | (47,554)         | (47,859)         | (47,003)         | (39,700)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (220,212)          | (14,469)        | (18,744)         | (19,354)         | (22,068)         | (15,609)        | (17,920)         | (16,011)        | (17,739)         | (17,544)         | (18,940)         | (20,453)         | (21,359)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (218,882)          | (15,514)        | (19,891)         | (19,451)         | (21,791)         | (16,218)        | (17,714)         | (15,965)        | (17,425)         | (16,970)         | (18,023)         | (19,884)         | (20,035)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (44,956)           | (3,186)         | (4,085)          | (3,995)          | (4,476)          | (3,331)         | (3,638)          | (3,279)         | (3,579)          | (3,485)          | (3,702)          | (4,084)          | (4,115)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (93,350)           | (6,617)         | (8,483)          | (8,296)          | (9,294)          | (6,917)         | (7,555)          | (6,809)         | (7,432)          | (7,237)          | (7,687)          | (8,480)          | (8,545)          |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,155,377)</b> | <b>(89,454)</b> | <b>(99,366)</b>  | <b>(102,601)</b> | <b>(106,972)</b> | <b>(88,259)</b> | <b>(99,859)</b>  | <b>(91,899)</b> | <b>(94,304)</b>  | <b>(92,790)</b>  | <b>(96,211)</b>  | <b>(99,905)</b>  | <b>(93,755)</b>  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (71,978)           | (5,102)         | (6,541)          | (6,396)          | (7,166)          | (5,333)         | (5,825)          | (5,250)         | (5,730)          | (5,580)          | (5,927)          | (6,539)          | (6,588)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (7,370)            | (522)           | (670)            | (655)            | (734)            | (546)           | (596)            | (538)           | (587)            | (571)            | (607)            | (669)            | (675)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (9,581)            | (679)           | (871)            | (851)            | (954)            | (710)           | (775)            | (699)           | (763)            | (743)            | (789)            | (870)            | (877)            |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (5,650)            | (400)           | (513)            | (502)            | (563)            | (419)           | (457)            | (412)           | (450)            | (438)            | (465)            | (513)            | (517)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(94,579)</b>    | <b>(6,704)</b>  | <b>(8,595)</b>   | <b>(8,405)</b>   | <b>(9,416)</b>   | <b>(7,008)</b>  | <b>(7,654)</b>   | <b>(6,898)</b>  | <b>(7,530)</b>   | <b>(7,333)</b>   | <b>(7,788)</b>   | <b>(8,592)</b>   | <b>(8,657)</b>   |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,249,955)</b> | <b>(96,158)</b> | <b>(107,961)</b> | <b>(111,006)</b> | <b>(116,388)</b> | <b>(95,267)</b> | <b>(107,513)</b> | <b>(98,798)</b> | <b>(101,834)</b> | <b>(100,123)</b> | <b>(103,999)</b> | <b>(108,497)</b> | <b>(102,412)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 3,417,647          | 249,803         | 304,952          | 303,637          | 332,195          | 255,882         | 282,945          | 256,903         | 274,406          | 268,182          | 282,493          | 305,418          | 300,830          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (196,527)          | (13,930)        | (17,860)         | (17,464)         | (19,565)         | (14,562)        | (15,905)         | (14,334)        | (15,646)         | (15,237)         | (16,183)         | (17,853)         | (17,989)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 3,614,174          | 263,733         | 322,811          | 321,101          | 351,761          | 270,444         | 298,850          | 271,237         | 290,052          | 283,419          | 298,676          | 323,272          | 318,819          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,066,181)        | (77,801)        | (95,229)         | (94,725)         | (103,769)        | (79,781)        | (88,161)         | (80,015)        | (85,565)         | (83,609)         | (88,109)         | (95,365)         | (94,052)         |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>2,351,466</b>   | <b>172,002</b>  | <b>209,723</b>   | <b>208,912</b>   | <b>228,426</b>   | <b>176,101</b>  | <b>194,784</b>   | <b>176,888</b>  | <b>188,841</b>   | <b>184,574</b>   | <b>194,384</b>   | <b>210,053</b>   | <b>206,778</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (900,735)          | (522)           | (670)            | (655)            | (734)            | (546)           | (596)            | (538)           | (587)            | (571)            | (607)            | (669)            | (675)            |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD        | (14,056,251)       | (8,152)         | (10,451)         | (10,220)         | (11,450)         | (8,521)         | (9,308)          | (8,388)         | (9,156)          | (8,916)          | (9,470)          | (10,448)         | (10,527)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (10,481,847)       | (6,079)         | (7,794)          | (7,621)          | (8,538)          | (6,355)         | (6,941)          | (6,255)         | (6,828)          | (6,649)          | (7,062)          | (7,791)          | (7,850)          |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(208,139)</b>   | <b>(14,753)</b> | <b>(18,915)</b>  | <b>(18,496)</b>  | <b>(20,722)</b>  | <b>(15,422)</b> | <b>(16,845)</b>  | <b>(15,181)</b> | <b>(16,570)</b>  | <b>(16,137)</b>  | <b>(17,139)</b>  | <b>(18,908)</b>  | <b>(19,052)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>2,559,605</b>   | <b>186,755</b>  | <b>228,637</b>   | <b>227,408</b>   | <b>249,147</b>   | <b>191,524</b>  | <b>211,629</b>   | <b>192,069</b>  | <b>205,411</b>   | <b>200,710</b>   | <b>211,522</b>   | <b>228,961</b>   | <b>225,830</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,538,986          |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |

## Fully 15 x 15 x 0.0714

| Flujo de Caja                                 | Unidades     | Totales            | 2025            | 2026             | 2027             | 2028             | 2029            | 2030             | 2031            | 2032             | 2033             | 2034             | 2035             | 2036             |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt       | 441,258            | 39,162          | 36,657           | 39,401           | 36,763           | 35,810          | 41,130           | 38,875          | 36,909           | 36,468           | 36,337           | 35,175           | 28,572           |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt       | 61,335             | 4,030           | 5,221            | 5,390            | 6,147            | 4,349           | 4,988            | 4,461           | 4,941            | 4,886            | 5,277            | 5,699            | 5,947            |
| Ley de Cabeza                                 | %            | 21.30              | 22.35           | 21.99            | 21.15            | 20.79            | 22.14           | 21.65            | 21.82           | 21.53            | 21.01            | 20.70            | 20.89            | 20.32            |
| Recuperacion Masa                             | %            | 54.35              | 57.11           | 56.29            | 53.87            | 52.96            | 56.62           | 55.24            | 55.77           | 54.91            | 53.62            | 52.72            | 53.38            | 51.72            |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt       | 24,563             | 1,741           | 2,232            | 2,182            | 2,445            | 1,821           | 1,987            | 1,792           | 1,956            | 1,904            | 2,023            | 2,232            | 2,248            |
| Ley Concentrado (%)                           | %            | 29.48              | 29.68           | 29.57            | 29.46            | 29.41            | 29.60           | 29.52            | 29.53           | 29.50            | 29.44            | 29.40            | 29.40            | 29.33            |
| Precio de Venta                               | USD/Td       | 88.24              | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24           | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            | 88.24            |
| <b>Ingresos</b>                               | <b>M USD</b> | <b>2,167,426</b>   | <b>153,620</b>  | <b>196,965</b>   | <b>192,554</b>   | <b>215,761</b>   | <b>160,650</b>  | <b>175,319</b>   | <b>158,157</b>  | <b>172,559</b>   | <b>168,012</b>   | <b>178,522</b>   | <b>196,976</b>   | <b>198,331</b>   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD        | (577,982)          | (49,670)        | (48,160)         | (51,509)         | (49,346)         | (46,183)        | (53,036)         | (49,837)        | (48,127)         | (47,556)         | (47,855)         | (47,005)         | (39,698)         |
| Costos Operativos Planta                      | M USD        | (220,192)          | (14,467)        | (18,744)         | (19,349)         | (22,067)         | (15,613)        | (17,908)         | (16,014)        | (17,737)         | (17,539)         | (18,943)         | (20,459)         | (21,351)         |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD        | (218,855)          | (15,512)        | (19,888)         | (19,443)         | (21,786)         | (16,222)        | (17,703)         | (15,970)        | (17,424)         | (16,965)         | (18,026)         | (19,890)         | (20,026)         |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD        | (44,950)           | (3,186)         | (4,085)          | (3,993)          | (4,475)          | (3,332)         | (3,636)          | (3,280)         | (3,579)          | (3,484)          | (3,702)          | (4,085)          | (4,113)          |
| Costos Operativos Otros                       | M USD        | (93,339)           | (6,616)         | (8,482)          | (8,292)          | (9,292)          | (6,918)         | (7,550)          | (6,811)         | (7,431)          | (7,235)          | (7,688)          | (8,483)          | (8,541)          |
| <b>Costos Operativos</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(1,155,317)</b> | <b>(89,450)</b> | <b>(99,360)</b>  | <b>(102,587)</b> | <b>(106,965)</b> | <b>(88,267)</b> | <b>(99,833)</b>  | <b>(91,911)</b> | <b>(94,298)</b>  | <b>(92,780)</b>  | <b>(96,215)</b>  | <b>(99,921)</b>  | <b>(93,729)</b>  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (71,969)           | (5,101)         | (6,540)          | (6,394)          | (7,164)          | (5,334)         | (5,821)          | (5,252)         | (5,730)          | (5,579)          | (5,928)          | (6,541)          | (6,586)          |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD        | (7,369)            | (522)           | (670)            | (655)            | (734)            | (546)           | (596)            | (538)           | (587)            | (571)            | (607)            | (670)            | (674)            |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD        | (9,580)            | (679)           | (871)            | (851)            | (954)            | (710)           | (775)            | (699)           | (763)            | (743)            | (789)            | (871)            | (877)            |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD        | (5,649)            | (400)           | (513)            | (502)            | (562)            | (419)           | (457)            | (412)           | (450)            | (438)            | (465)            | (513)            | (517)            |
| <b>Gasto Adm y Ventas</b>                     | <b>M USD</b> | <b>(94,567)</b>    | <b>(6,703)</b>  | <b>(8,594)</b>   | <b>(8,401)</b>   | <b>(9,414)</b>   | <b>(7,009)</b>  | <b>(7,649)</b>   | <b>(6,901)</b>  | <b>(7,529)</b>   | <b>(7,331)</b>   | <b>(7,789)</b>   | <b>(8,594)</b>   | <b>(8,653)</b>   |
| <b>Total Costos Operativos</b>                | <b>M USD</b> | <b>(1,249,884)</b> | <b>(96,153)</b> | <b>(107,953)</b> | <b>(110,988)</b> | <b>(116,379)</b> | <b>(95,276)</b> | <b>(107,482)</b> | <b>(98,812)</b> | <b>(101,827)</b> | <b>(100,111)</b> | <b>(104,004)</b> | <b>(108,516)</b> | <b>(102,383)</b> |
| EBITDA                                        | M USD        | 3,417,310          | 249,773         | 304,918          | 303,542          | 332,140          | 255,926         | 282,801          | 256,968         | 274,396          | 268,123          | 282,527          | 305,492          | 300,714          |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD        | (196,503)          | (13,927)        | (17,857)         | (17,457)         | (19,561)         | (14,565)        | (15,895)         | (14,339)        | (15,644)         | (15,232)         | (16,185)         | (17,858)         | (17,981)         |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD        | 3,613,813          | 263,700         | 322,776          | 320,999          | 351,702          | 270,490         | 298,695          | 271,307         | 290,031          | 283,356          | 298,712          | 323,350          | 318,695          |
| Impuestos                                     | M USD        | (1,066,075)        | (77,792)        | (95,219)         | (94,695)         | (103,752)        | (79,795)        | (88,115)         | (80,036)        | (85,559)         | (83,590)         | (88,120)         | (95,388)         | (94,015)         |
| <b>Ganacia Neta</b>                           | <b>M USD</b> | <b>2,351,235</b>   | <b>171,981</b>  | <b>209,700</b>   | <b>208,847</b>   | <b>228,388</b>   | <b>176,131</b>  | <b>194,685</b>   | <b>176,933</b>  | <b>188,827</b>   | <b>184,533</b>   | <b>194,407</b>   | <b>210,104</b>   | <b>206,699</b>   |
| Cierre de Minas                               | M USD        | (551,586)          | (522)           | (670)            | (655)            | (734)            | (546)           | (596)            | (538)           | (587)            | (571)            | (607)            | (670)            | (674)            |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD        | (8,607,676)        | (8,150)         | (10,450)         | (10,216)         | (11,447)         | (8,523)         | (9,302)          | (8,391)         | (9,155)          | (8,914)          | (9,472)          | (10,451)         | (10,523)         |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD        | (6,418,806)        | (6,078)         | (7,793)          | (7,618)          | (8,536)          | (6,356)         | (6,936)          | (6,257)         | (6,827)          | (6,647)          | (7,063)          | (7,793)          | (7,847)          |
| <b>Gastos de Capital</b>                      | <b>M USD</b> | <b>(208,114)</b>   | <b>(14,750)</b> | <b>(18,912)</b>  | <b>(18,489)</b>  | <b>(20,717)</b>  | <b>(15,425)</b> | <b>(16,834)</b>  | <b>(15,186)</b> | <b>(16,569)</b>  | <b>(16,132)</b>  | <b>(17,142)</b>  | <b>(18,913)</b>  | <b>(19,044)</b>  |
| <b>Flujo Neto de Caja</b>                     | <b>M USD</b> | <b>2,559,349</b>   | <b>186,732</b>  | <b>228,612</b>   | <b>227,336</b>   | <b>249,105</b>   | <b>191,556</b>  | <b>211,519</b>   | <b>192,119</b>  | <b>205,396</b>   | <b>200,666</b>   | <b>211,548</b>   | <b>229,017</b>   | <b>225,743</b>   |
| VPN con impuestos                             |              | 1,538,809          |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
| Tasa de Descuento                             |              | 10.9%              |                 |                  |                  |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |

## Fully 15 x 15 x 0.083

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025     | 2026      | 2027      | 2028      | 2029     | 2030      | 2031     | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 441,255     | 39,162   | 36,661    | 39,398    | 36,766    | 35,810   | 41,125    | 38,874   | 36,908    | 36,465    | 36,336    | 35,176    | 28,573    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,335      | 4,026    | 5,218     | 5,391     | 6,145     | 4,350    | 4,988     | 4,460    | 4,942     | 4,889     | 5,280     | 5,698     | 5,949     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.30       | 22.35    | 21.99     | 21.15     | 20.79     | 22.14    | 21.65     | 21.82    | 21.53     | 21.01     | 20.70     | 20.89     | 20.32     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 54.35       | 57.11    | 56.28     | 53.87     | 52.96     | 56.62    | 55.24     | 55.77    | 54.91     | 53.62     | 52.72     | 53.39     | 51.73     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 24,563      | 1,739    | 2,230     | 2,183     | 2,444     | 1,821    | 1,987     | 1,792    | 1,956     | 1,905     | 2,024     | 2,232     | 2,248     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68    | 29.57     | 29.46     | 29.41     | 29.60    | 29.52     | 29.53    | 29.50     | 29.44     | 29.40     | 29.40     | 29.33     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,167,434   | 153,474  | 196,819   | 192,611   | 215,696   | 160,683  | 175,336   | 158,134  | 172,579   | 168,093   | 178,620   | 196,994   | 198,396   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (577,979)   | (49,667) | (48,161)  | (51,507)  | (49,347)  | (46,184) | (53,003)  | (49,834) | (48,128)  | (47,557)  | (47,858)  | (47,006)  | (39,700)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (220,193)   | (14,543) | (18,731)  | (19,353)  | (22,059)  | (15,616) | (17,908)  | (16,013) | (17,742)  | (17,550)  | (18,953)  | (20,458)  | (21,357)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (218,856)   | (15,497) | (19,874)  | (19,449)  | (21,780)  | (16,225) | (17,704)  | (15,968) | (17,426)  | (16,973)  | (18,036)  | (19,891)  | (20,033)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (44,950)    | (3,183)  | (4,082)   | (3,995)   | (4,473)   | (3,320)  | (3,636)   | (3,280)  | (3,579)   | (3,486)   | (3,704)   | (4,085)   | (4,115)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (93,339)    | (6,609)  | (8,476)   | (8,295)   | (9,289)   | (6,932)  | (7,551)   | (6,810)  | (7,432)   | (7,239)   | (7,692)   | (8,483)   | (8,544)   |
| Costos Operativos                             | M USD    | (1,155,317) | (89,410) | (99,323)  | (102,599) | (106,948) | (88,277) | (99,829)  | (91,904) | (94,307)  | (92,805)  | (96,241)  | (99,924)  | (93,748)  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (771,969)   | (5,096)  | (6,535)   | (6,396)   | (7,162)   | (5,335)  | (5,951)   | (5,251)  | (5,730)   | (5,582)   | (5,931)   | (6,541)   | (6,588)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (7,369)     | (522)    | (669)     | (655)     | (733)     | (546)    | (596)     | (538)    | (587)     | (571)     | (607)     | (670)     | (675)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (9,580)     | (678)    | (870)     | (851)     | (953)     | (710)    | (775)     | (699)    | (763)     | (743)     | (789)     | (871)     | (877)     |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (5,649)     | (400)    | (513)     | (502)     | (562)     | (419)    | (457)     | (412)    | (450)     | (438)     | (466)     | (513)     | (515)     |
| Gasto Adm y Ventas                            | M USD    | (94,567)    | (6,696)  | (8,587)   | (8,404)   | (9,411)   | (7,011)  | (7,650)   | (6,900)  | (7,530)   | (7,334)   | (7,793)   | (8,593)   | (8,656)   |
| Total Costos Operativos                       | M USD    | (1,249,884) | (96,106) | (107,911) | (111,002) | (116,559) | (95,288) | (107,479) | (98,803) | (101,836) | (100,139) | (104,038) | (108,519) | (102,404) |
| EBITDA                                        | M USD    | 3,417,319   | 249,580  | 304,729   | 303,614   | 332,055   | 255,971  | 282,814   | 256,937  | 274,415   | 268,232   | 282,658   | 305,512   | 300,801   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (196,504)   | (13,914) | (17,844)  | (17,462)  | (19,555)  | (14,568) | (15,896)  | (14,337) | (15,646)  | (15,240)  | (16,194)  | (17,860)  | (17,987)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 3,613,822   | 263,494  | 322,573   | 321,076   | 351,611   | 270,539  | 298,711   | 271,274  | 290,062   | 283,472   | 298,852   | 323,372   | 318,787   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,066,078) | (77,731) | (95,159)  | (94,717)  | (103,725) | (79,809) | (88,120)  | (80,026) | (95,568)  | (93,624)  | (98,161)  | (95,395)  | (94,042)  |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 2,351,241   | 171,849  | 209,570   | 208,966   | 228,330   | 176,162  | 194,695   | 176,911  | 188,847   | 184,608   | 194,497   | 210,118   | 206,558   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (335,735)   | (522)    | (669)     | (655)     | (733)     | (546)    | (596)     | (538)    | (587)     | (571)     | (607)     | (670)     | (675)     |
| Costo de Sostenimiento                        | M USD    | (5,239,255) | (8,143)  | (10,442)  | (10,219)  | (11,444)  | (8,525)  | (9,302)   | (8,390)  | (9,156)   | (8,918)   | (9,477)   | (10,452)  | (10,526)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (3,906,949) | (6,072)  | (7,787)   | (7,620)   | (8,534)   | (6,357)  | (6,937)   | (6,256)  | (6,828)   | (6,650)   | (7,067)   | (7,794)   | (7,849)   |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (208,114)   | (14,736) | (18,898)  | (18,494)  | (20,711)  | (15,429) | (16,836)  | (15,184) | (16,571)  | (16,140)  | (17,151)  | (18,195)  | (19,050)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 2,559,355   | 186,585  | 228,468   | 227,390   | 249,041   | 191,591  | 211,530   | 192,095  | 205,418   | 200,748   | 211,647   | 229,033   | 225,808   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,538,659   |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.99       |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |



Fully 15 x 15 x 0.25

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025     | 2026      | 2027      | 2028      | 2029     | 2030      | 2031     | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 441,256     | 39,159   | 36,675    | 39,387    | 36,763    | 35,815   | 41,121    | 38,872   | 36,907    | 36,466    | 36,344    | 35,170    | 28,578    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,334      | 4,025    | 5,204     | 5,406     | 6,150     | 4,348    | 4,989     | 4,459    | 4,940     | 4,892     | 5,272     | 5,703     | 5,945     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.30       | 22.35    | 21.99     | 21.15     | 20.80     | 22.14    | 21.65     | 21.81    | 21.53     | 21.01     | 20.70     | 20.89     | 20.33     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 54.36       | 57.10    | 56.28     | 53.88     | 52.98     | 56.62    | 55.26     | 55.76    | 54.92     | 53.61     | 52.73     | 53.38     | 51.74     |
| Concentrado ( húmedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 24,565      | 1,739    | 2,225     | 2,189     | 2,448     | 1,820    | 1,988     | 1,791    | 1,956     | 1,906     | 2,022     | 2,234     | 2,248     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68    | 29.57     | 29.46     | 29.41     | 29.59    | 29.52     | 29.53    | 29.50     | 29.44     | 29.40     | 29.40     | 29.33     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,167,656   | 153,413  | 196,306   | 193,168   | 215,988   | 160,605  | 175,459   | 158,072  | 172,582   | 168,166   | 178,423   | 197,129   | 198,345   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (577,979)   | (49,662) | (48,161)  | (51,513)  | (49,350)  | (46,187) | (53,026)  | (49,832) | (48,123)  | (47,561)  | (47,859)  | (47,005)  | (39,701)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (220,188)   | (14,450) | (18,684)  | (19,408)  | (22,079)  | (15,608) | (17,909)  | (16,010) | (17,734)  | (17,561)  | (18,928)  | (20,475)  | (21,343)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (218,878)   | (15,491) | (19,822)  | (19,505)  | (21,809)  | (16,217) | (17,717)  | (15,961) | (17,428)  | (16,980)  | (18,016)  | (19,905)  | (20,028)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (44,955)    | (3,182)  | (4,071)   | (4,006)   | (4,479)   | (3,331)  | (3,639)   | (3,278)  | (3,579)   | (3,488)   | (3,700)   | (4,088)   | (4,113)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (93,349)    | (6,607)  | (8,454)   | (8,319)   | (9,301)   | (6,916)  | (7,556)   | (6,807)  | (7,432)   | (7,242)   | (7,684)   | (8,489)   | (8,542)   |
| Costos Operativos                             |          | (1,155,348) | (89,390) | (99,192)  | (102,750) | (107,019) | (88,259) | (99,847)  | (91,888) | (94,295)  | (92,831)  | (96,187)  | (99,962)  | (93,727)  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (71,977)    | (5,094)  | (6,518)   | (6,414)   | (7,172)   | (5,333)  | (5,826)   | (5,249)  | (5,731)   | (5,584)   | (5,925)   | (6,546)   | (6,586)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (7,370)     | (522)    | (667)     | (657)     | (734)     | (546)    | (597)     | (537)    | (587)     | (572)     | (607)     | (670)     | (674)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (9,581)     | (678)    | (868)     | (854)     | (955)     | (710)    | (775)     | (699)    | (763)     | (743)     | (789)     | (871)     | (877)     |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (5,650)     | (400)    | (512)     | (503)     | (563)     | (419)    | (457)     | (412)    | (450)     | (438)     | (465)     | (514)     | (517)     |
| Gasto Adm y Ventas                            |          | (94,577)    | (6,694)  | (8,565)   | (8,428)   | (9,424)   | (7,007)  | (7,655)   | (6,897)  | (7,530)   | (7,337)   | (7,785)   | (8,601)   | (8,654)   |
| Total Costos Operaivos                        |          | (1,249,925) | (96,084) | (107,757) | (111,178) | (116,443) | (95,267) | (107,502) | (98,785) | (101,825) | (100,169) | (103,972) | (108,563) | (102,381) |
| EBITDA                                        | M USD    | 3,417,582   | 249,497  | 304,063   | 304,346   | 332,431   | 255,872  | 282,961   | 256,856  | 274,407   | 268,334   | 282,395   | 306,692   | 300,726   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (196,524)   | (13,909) | (17,797)  | (17,513)  | (19,582)  | (14,561) | (15,907)  | (14,331) | (15,647)  | (15,246)  | (16,176)  | (17,872)  | (17,982)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 3,614,105   | 263,406  | 321,861   | 321,859   | 352,013   | 270,433  | 298,868   | 271,187  | 290,053   | 283,581   | 298,571   | 323,564   | 318,709   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,066,161) | (77,705) | (94,949)  | (94,948)  | (103,844) | (79,778) | (88,166)  | (80,000) | (85,566)  | (83,666)  | (88,078)  | (95,451)  | (94,019)  |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 2,351,421   | 171,792  | 209,114   | 209,398   | 228,587   | 176,094  | 194,795   | 176,856  | 188,841   | 184,678   | 194,317   | 210,241   | 206,707   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (37,328)    | (522)    | (667)     | (657)     | (734)     | (546)    | (597)     | (537)    | (587)     | (572)     | (607)     | (670)     | (674)     |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD    | (582,512)   | (8,139)  | (10,415)  | (10,249)  | (11,459)  | (8,521)  | (9,309)   | (8,387)  | (9,156)   | (8,922)   | (9,466)   | (10,459)  | (10,523)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (434,383)   | (6,070)  | (7,767)   | (7,642)   | (8,545)   | (6,354)  | (6,942)   | (6,254)  | (6,828)   | (6,653)   | (7,059)   | (7,799)   | (7,847)   |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (208,136)   | (14,731) | (18,849)  | (18,548)  | (20,739)  | (15,421) | (16,847)  | (15,178) | (16,571)  | (16,147)  | (17,132)  | (18,928)  | (19,045)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 2,559,556   | 186,523  | 227,963   | 227,945   | 249,326   | 191,515  | 211,642   | 192,034  | 205,412   | 200,825   | 211,448   | 229,169   | 225,752   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,538,768   |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |

Fully 15 x 15 x 0.5

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025     | 2026      | 2027      | 2028      | 2029     | 2030      | 2031     | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 441.191     | 39,169   | 36,648    | 39,411    | 36,718    | 35,800   | 41,156    | 38,876   | 36,875    | 36,473    | 36,328    | 35,177    | 28,561    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,326      | 4,037    | 5,231     | 5,383     | 6,140     | 4,339    | 4,978     | 4,458    | 4,939     | 4,889     | 5,293     | 5,699     | 5,940     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.30       | 22.35    | 22.00     | 21.15     | 20.81     | 22.14    | 21.64     | 21.82    | 21.54     | 21.01     | 20.69     | 20.90     | 20.32     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 54.36       | 57.10    | 56.32     | 53.90     | 53.01     | 56.60    | 55.22     | 55.78    | 54.92     | 53.60     | 52.70     | 53.40     | 51.73     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 24,564      | 1,744    | 2,238     | 2,181     | 2,445     | 1,816    | 1,982     | 1,792    | 1,955     | 1,905     | 2,028     | 2,233     | 2,246     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68    | 29.57     | 29.46     | 29.41     | 29.60    | 29.52     | 29.53    | 29.50     | 29.44     | 29.40     | 29.40     | 29.33     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,167,510   | 153,870  | 197,502   | 192,427   | 215,758   | 160,215  | 174,866   | 158,089  | 172,506   | 168,057   | 178,961   | 197,077   | 198,181   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (577,895)   | (49,687) | (48,161)  | (51,512)  | (49,286)  | (46,160) | (53,054)  | (49,834) | (48,087)  | (47,567)  | (47,864)  | (47,007)  | (39,676)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (220,160)   | (14,493) | (18,780)  | (19,323)  | (22,042)  | (15,577) | (17,872)  | (16,003) | (17,431)  | (17,553)  | (19,002)  | (20,459)  | (21,325)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (218,863)   | (15,537) | (19,943)  | (19,430)  | (21,786)  | (16,178) | (17,657)  | (15,963) | (17,419)  | (16,969)  | (18,071)  | (19,900)  | (20,011)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (44,952)    | (3,191)  | (4,096)   | (3,991)   | (4,475)   | (3,323)  | (3,627)   | (3,279)  | (3,578)   | (3,485)   | (3,711)   | (4,087)   | (4,130)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (94,342)    | (6,626)  | (8,505)   | (8,287)   | (9,291)   | (6,900)  | (7,531)   | (6,808)  | (7,429)   | (7,237)   | (7,707)   | (8,487)   | (8,555)   |
| Costos Operativos                             | M USD    | (1,155,212) | (89,534) | (99,485)  | (102,543) | (106,880) | (88,137) | (99,704)  | (91,887) | (94,243)  | (92,812)  | (96,355)  | (99,940)  | (93,657)  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (71,972)    | (5,109)  | (6,558)   | (6,390)   | (7,164)   | (5,320)  | (5,806)   | (5,249)  | (5,728)   | (5,580)   | (5,942)   | (6,544)   | (6,581)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (7,369)     | (523)    | (671)     | (654)     | (734)     | (545)    | (595)     | (537)    | (586)     | (571)     | (608)     | (670)     | (674)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (9,580)     | (680)    | (873)     | (850)     | (954)     | (708)    | (773)     | (699)    | (762)     | (743)     | (791)     | (871)     | (845)     |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (5,650)     | (401)    | (515)     | (502)     | (562)     | (418)    | (456)     | (412)    | (450)     | (438)     | (466)     | (514)     | (517)     |
| Gasto Adm y Ventas                            | M USD    | (94,571)    | (6,714)  | (8,617)   | (8,396)   | (9,414)   | (6,990)  | (7,630)   | (6,888)  | (7,527)   | (7,332)   | (7,808)   | (8,599)   | (8,647)   |
| Total Costos Operativos                       | M USD    | (1,249,783) | (96,248) | (108,102) | (110,939) | (116,294) | (95,127) | (107,369) | (98,784) | (101,770) | (100,144) | (104,163) | (108,539) | (102,304) |
| EBITDA                                        | M USD    | 3,417,293   | 250,118  | 305,605   | 303,365   | 332,952   | 255,342  | 282,235   | 256,873  | 274,276   | 268,201   | 283,124   | 305,616   | 300,485   |
| Depreciacion y Amortizacion (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (196,510)   | (13,950) | (17,906)  | (17,446)  | (19,561)  | (14,525) | (15,854)  | (14,333) | (15,640)  | (15,236)  | (16,225)  | (17,867)  | (17,967)  |
| Ganacia antes de Impuestos                    | M USD    | 3,613,803   | 264,068  | 323,510   | 320,811   | 351,613   | 269,868  | 298,089   | 271,206  | 289,915   | 283,438   | 299,349   | 323,483   | 318,452   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,066,072) | (77,900) | (95,436)  | (94,639)  | (103,726) | (79,611) | (87,936)  | (80,006) | (85,525)  | (83,614)  | (88,308)  | (95,428)  | (93,943)  |
| Ganacia Neta                                  | M USD    | 2,351,221   | 172,128  | 210,169   | 208,726   | 228,326   | 175,731  | 194,299   | 176,868  | 188,751   | 184,587   | 194,816   | 210,188   | 206,541   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (18,397)    | (523)    | (671)     | (654)     | (734)     | (545)    | (595)     | (537)    | (586)     | (571)     | (608)     | (670)     | (674)     |
| Costo de Sostentimiento                       | M USD    | (287,095)   | (8,164)  | (10,479)  | (10,209)  | (11,447)  | (8,500)  | (9,278)   | (8,387)  | (9,152)   | (8,916)   | (9,495)   | (10,456)  | (10,515)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (214,089)   | (6,088)  | (7,814)   | (7,613)   | (8,536)   | (6,339)  | (6,918)   | (6,255)  | (6,825)   | (6,649)   | (7,080)   | (7,797)   | (7,841)   |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (208,122)   | (14,774) | (18,964)  | (18,477)  | (20,717)  | (15,384) | (16,790)  | (15,180) | (16,564)  | (16,137)  | (17,184)  | (18,923)  | (19,029)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 2,559,342   | 186,992  | 229,133   | 227,203   | 249,043   | 191,115  | 211,090   | 192,547  | 205,314   | 200,724   | 212,000   | 229,111   | 225,571   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,538,941   |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |

Fully 15 x 15 x 1

| Flujo de Caja                                 | Unidades | Totales     | 2025     | 2026      | 2027      | 2028      | 2029     | 2030      | 2031     | 2032      | 2033      | 2034      | 2035      | 2036      |
|-----------------------------------------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento de Esteril                         | Tn -Kt   | 441,356     | 39,140   | 36,628    | 39,368    | 37,005    | 35,789   | 41,141    | 38,872   | 36,851    | 36,475    | 36,322    | 35,232    | 28,534    |
| Movimiento Mineral                            | Tn -Kt   | 61,243      | 4,042    | 5,249     | 5,377     | 6,040     | 4,364    | 4,977     | 4,448    | 4,953     | 4,880     | 5,293     | 5,633     | 5,989     |
| Ley de Cabeza                                 | %        | 21.31       | 22.36    | 21.99     | 21.14     | 20.77     | 22.14    | 21.64     | 21.82    | 21.53     | 21.01     | 20.70     | 20.97     | 20.36     |
| Recuperacion Masa                             | %        | 54.39       | 57.15    | 56.29     | 53.87     | 52.91     | 56.63    | 55.21     | 55.77    | 54.92     | 53.62     | 52.73     | 53.62     | 51.83     |
| Concentrado ( humedo 4.5%)                    | Tn -Kt   | 24,546      | 1,748    | 2,244     | 2,177     | 2,402     | 1,828    | 1,980     | 1,788    | 1,960     | 1,902     | 2,030     | 2,218     | 2,239     |
| Ley Concentrado (%)                           | %        | 29.48       | 29.68    | 29.58     | 29.46     | 29.40     | 29.60    | 29.52     | 29.53    | 29.50     | 29.44     | 29.40     | 29.40     | 29.33     |
| Precio de Venta                               | USD/Td   | 88.24       | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24    | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     | 88.24     |
| Ingresos                                      | M USD    | 2,165,969   | 154,249  | 198,048   | 192,102   | 211,938   | 161,278  | 174,749   | 157,735  | 172,952   | 167,819   | 179,148   | 195,708   | 200,244   |
| Costos Operativos Mina                        | M USD    | (577,989)   | (49,650) | (48,158)  | (51,457)  | (49,501)  | (46,176) | (53,035)  | (49,818) | (48,074)  | (47,558)  | (47,856)  | (46,995)  | (39,701)  |
| Costos Operativos Planta                      | M USD    | (219,863)   | (14,510) | (18,845)  | (19,303)  | (21,682)  | (15,666) | (17,866)  | (15,969) | (17,780)  | (17,500)  | (19,001)  | (20,222)  | (21,499)  |
| Costos Operativos Puerto                      | M USD    | (218,708)   | (15,575) | (19,998)  | (19,397)  | (21,400)  | (16,285) | (17,645)  | (15,927) | (17,464)  | (16,945)  | (18,089)  | (19,761)  | (20,220)  |
| Costos Operativos Mantenimiento               | M USD    | (44,920)    | (3,693)  | (4,107)   | (3,984)   | (4,395)   | (3,345)  | (3,624)   | (3,271)  | (3,587)   | (3,480)   | (3,715)   | (4,059)   | (4,523)   |
| Costos Operativos Otros                       | M USD    | (93,276)    | (6,144)  | (8,529)   | (8,273)   | (9,127)   | (6,945)  | (7,525)   | (6,793)  | (7,448)   | (7,227)   | (7,715)   | (8,428)   | (8,633)   |
| Costos Operativos                             | M USD    | (1,154,757) | (89,587) | (99,837)  | (102,414) | (106,105) | (88,417) | (99,695)  | (91,779) | (94,353)  | (92,731)  | (96,377)  | (99,465)  | (94,197)  |
| Royalties (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (71,921)    | (5,122)  | (6,576)   | (6,379)   | (7,037)   | (5,355)  | (5,803)   | (5,238)  | (5,743)   | (5,572)   | (5,949)   | (6,498)   | (6,649)   |
| Demurrage (US\$/ Kton Conc)                   | M USD    | (7,364)     | (524)    | (673)     | (653)     | (721)     | (548)    | (594)     | (536)    | (588)     | (571)     | (609)     | (665)     | (681)     |
| SG&A (US\$/ Kton Conc)                        | M USD    | (9,573)     | (682)    | (875)     | (849)     | (937)     | (713)    | (772)     | (697)    | (764)     | (742)     | (792)     | (865)     | (885)     |
| R&D (US\$/ Kton Conc)                         | M USD    | (5,646)     | (402)    | (516)     | (501)     | (552)     | (420)    | (455)     | (411)    | (451)     | (437)     | (467)     | (510)     | (522)     |
| Gasto Adm y Ventas                            | M USD    | (94,503)    | (6,730)  | (8,641)   | (8,382)   | (9,247)   | (7,037)  | (7,624)   | (6,882)  | (7,546)   | (7,322)   | (7,816)   | (8,539)   | (8,737)   |
| Total Costos Operativos                       | M USD    | (1,249,260) | (96,317) | (108,278) | (110,796) | (115,352) | (95,454) | (107,320) | (98,661) | (101,899) | (100,053) | (104,193) | (108,004) | (102,934) |
| EBITDA                                        | M USD    | 3,415,229   | 250,566  | 306,327   | 302,898   | 327,290   | 256,732  | 282,069   | 256,395  | 274,851   | 267,872   | 283,341   | 303,711   | 303,178   |
| Depreciación y Amortización (US\$/ Kton Conc) | M USD    | (196,371)   | (13,985) | (17,955)  | (17,416)  | (19,215)  | (14,622) | (15,843)  | (14,301) | (15,680)  | (15,215)  | (16,242)  | (17,743)  | (18,154)  |
| Garancia antes de Impuestos                   | M USD    | 3,611,600   | 264,551  | 324,282   | 320,314   | 346,505   | 271,354  | 297,912   | 270,696  | 290,531   | 283,087   | 299,583   | 321,454   | 321,332   |
| Impuestos                                     | M USD    | (1,065,422) | (78,042) | (95,663)  | (94,493)  | (102,219) | (80,049) | (87,884)  | (79,855) | (85,707)  | (83,511)  | (88,377)  | (94,829)  | (94,793)  |
| Garancia Neta                                 | M USD    | 2,349,807   | 172,524  | 210,663   | 208,405   | 225,071   | 176,683  | 194,185   | 176,540  | 189,144   | 184,361   | 194,964   | 208,882   | 208,385   |
| Cierre de Minas                               | M USD    | (5,513)     | (524)    | (673)     | (653)     | (721)     | (548)    | (594)     | (536)    | (588)     | (571)     | (609)     | (665)     | (681)     |
| Costo de Sostenimiento                        | M USD    | (86,033)    | (8,184)  | (10,508)  | (10,192)  | (11,244)  | (8,557)  | (9,271)   | (8,369)  | (9,176)   | (8,904)   | (9,505)   | (10,383)  | (10,624)  |
| Costo de Equipo Mina                          | M USD    | (64,155)    | (6,103)  | (7,836)   | (7,600)   | (8,385)   | (6,381)  | (6,914)   | (6,241)  | (6,843)   | (6,640)   | (7,088)   | (7,743)   | (7,922)   |
| Gastos de Capital                             | M USD    | (207,974)   | (14,811) | (19,016)  | (18,445)  | (20,350)  | (15,486) | (16,779)  | (15,145) | (16,607)  | (16,114)  | (17,202)  | (18,792)  | (19,227)  |
| Flujo Neto de Caja                            | M USD    | 2,557,781   | 187,334  | 229,680   | 226,850   | 245,421   | 192,168  | 210,964   | 191,686  | 205,751   | 200,475   | 212,166   | 227,674   | 227,612   |
| VPN con impuestos                             |          | 1,537,574   |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |
| Tasa de Descuento                             |          | 10.9%       |          |           |           |           |          |           |          |           |           |           |           |           |

## Anexo 8



**Ley N° 30035**  
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
DE LA UNI**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y nombres: Miguel Angel Lizarraga Medina

D.N.I: 40021040

Teléfono casa: - celular: 992 098 679

Correos electrónicos: miguel.lizarraga.m@uni.pe

**2. DATOS ACADÉMICOS**

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniero de Minas

**3. DATOS DE LA TESIS**

Título: "INFLUENCIA DEL MODELO DE BLOQUES EN EL VALOR PRESENTE NETO, LEY MEDIA Y VOLUMEN DE DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS DE FOSFATOS DE BAJA POTENCIA"

Año de publicación: 2025

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:

Fecha de recepción: 24/04/2025

## Anexo 9

### CURRICULUM VITAE

#### I.- DATOS PERSONALES

NOMBRE : MIGUEL ANGEL LIZARRAGA MEDINA  
 D. N. I. : 40021040  
 FECHA NACIMIENTO : 1978, Septiembre 08  
 LICENCIA DE CONNDUCIR: L40021040 AI  
 DOMICILIO : Jr Poechos 124 Urb Bancaria  
 TELEFONO : 992 089 679  
 EMAIL : mlizarragam@gmail.com



#### II.- ESTUDIOS REALIZADOS

SUPERIOR : Universidad Nacional San Agustín de Arequipa  
 Facultad de Geología Geofísica y Minas.  
 Escuela de **Ingeniería de Minas** de 1996 - 2001.  
 TTITULO OBTENIDO : **Ingeniero de Minas** CIP 89798  
 SUPERIOR : Universidad Nacional de Piura  
 Facultad de Ciencias Administrativas.  
 Programa de Maestría en Administración.  
 TTITULO OBTENIDO : **Maestro en Administración**  
 DIPLOMA : Gerencia de Proyectos bajo el enfoque PMI  
 Escuela de Post Grado Universidad de Piura.  
 2012- 2013

#### II.- IDIOMAS

|          |       |           |       |
|----------|-------|-----------|-------|
| Inglés   |       | Portuques |       |
| Leer     | Bien  | Leer      | Medio |
| Hablar   | Bien  | Hablar    | Medio |
| Escribir | Medio | Escribir  | Bajo  |

#### III.- RESUMEN PROFESIONAL

Soy Ingeniero de Minas con 22 años de experiencia y 15 años de trabajo en recursos minerales y reservas minerales

Supervisor los trabajos de geología de exploraciones, tanto a largo como a corto plazo, para proyectos greenfield y brownfield, incluyendo modelamiento geológico, estimaciones de recursos y muestreos

A largo plazo, he sido responsable de la preparación de presupuestos, estimaciones de vida de mina (LOM), costos de capital y operación usando la planificación estratégica para la mina de fosfatos Bayovar. Participé anualmente en el Reporte de Reservas 10-K, el Estudio de Factibilidad (PFS) y el Resumen del Informe Técnico (TRS). Además, realicé la planificación y diseño de botaderos LOM, la planificación de proyectos mineros, el diseño de tajos, rampas, perfiles y cálculos de tonelajes, así como simulaciones de equipos mineros. También actualicé componentes de informes técnicos y estudios de impacto ambiental, y preparé el presupuesto del plan minero estratégico CAPEX y OPEX.

A mediano plazo, me encargué del diseño, planificación, supervisión y control de proyectos de capas mineralizadas y botaderos. Realicé pronósticos del plan minero, simulaciones de camiones, planes de

botaderos anuales y mensuales, diseño y valorización de tajos, diseño de fases de minado y planes de preparación de fases.

En el corto plazo, supervisé las operaciones de campo, mina y botadero. Elaboré planes semanales, diarios y por turno de minado y diseño de botaderos. Controlé el tonelaje de mina, comparé el plan de minado real vs planificado, realicé planes de adherencia al minado, planes de descargas, índices de adherencia y reconciliaciones de minado. Además, planifiqué y di seguimiento a las facilidades e infraestructura.

#### **IV.- EXPERIENCIA LABORAL**

**EMPRESA** : Mosaic CO  
**OCUPACION** : PLANEAMIENTO MINA  
**FECHA** : Setiembre 2017 (6 años actual)  
**FUNCIONES** Superintendente de Planeamiento Largo Plazo

**EMPRESA** : Vale S.A.  
**OCUPACION** : PLANEAMIENTO MINA  
**FECHA** : Setiembre 2009 (7 años)  
**FUNCIONES** : Ingeniero Senior de Planeamiento Largo Plazo

**EMPRESA** : MINERA ANCASH COBRE S.A.  
**OCUPACION** : MODELADOR y PLANEAMIENTO LARGO PLAZO DE MINA  
**FECHA** : Julio 2007 (2 años)  
**FUNCIONES** :Ingeniero de Planeamiento

**EMPRESA** : GEODRILL S.A.C.  
**OCUPACION** : Perforación Diamantina  
**FECHA** : SEP 2005 (1 año 4 meses)

**EMPRESA** : SIMINAM E.I.R.L / AyS Hermanos S.R.L. V&H Servicios  
**Generales S.R.L. (MINERA YANACocha SRL)**

**OCUPACION** : Supervisor de Campo  
**FECHA** : ABR 2003 (2 años 6 meses)

**EMPRESA** : YURA S.A. / Compañía Minera Ubinas S.A.C.  
**OCUPACION** : Practicas  
**FECHA** : ENE 2002 (1 año)

#### **V.- CAPACIDADES Y APTITUDES**

|                     |                   |        |            |                 |
|---------------------|-------------------|--------|------------|-----------------|
| MINESIGHT (Experto) | DATAMINE (Medio)  | VULCAN | (Avanzado) | GEMs (Avanzado) |
| DESWIK (Medio)      | OFFICE (Avanzado) |        |            |                 |

## CURRICULUM VITAE

### **I.- PERSONAL DATA**

NAME : MIGUEL ANGEL LIZARRAGA MEDINA  
 D. N. I. : 40021040  
 DATE OF BIRTH : 1978, Septiembre 08  
 LICENSE : L40021040 AI  
 ADRESS : Jr Poechos 124 Urb Bancaria  
 PHONE : 992 089 679  
 EMAIL : mlizarragam@gmail.com



### **II.- STUDIES**

UNIVERSITY : National University San Agustín de Arequipa.  
 Faculty of Geology, Geophysics, and Mines.  
 School of Mining Engineering (1996 - 2001).  
 TITLE OBTAINED : **Mining Engineer (CIP 89798)**  
 UNIVERSITY : National University of Piura.  
 Faculty of Administrative Sciences.  
 Master's Program in Administration.  
 TITLE OBTAINED : **Master of Business Administration**  
 DIPLOMA : Project Management  
 Graduate School, University of Piura.  
 2012- 2013

### **II.- LANGUAGES**

|         |        |           |        |
|---------|--------|-----------|--------|
| English |        | Portuques |        |
| Read    | Well   | Read      | Medium |
| Speak   | Well   | Speak     | Medium |
| Write   | Medium | Write     | Low    |

### **III.- RESUMEN PROFESIONAL**

I am a Mining Engineer with 22 years of experience and 15 years of work in mineral resources and mineral reserves

I oversee exploration geology work, both long-term and short-term, for greenfield and brownfield projects, including geological modeling, resource estimates, and sampling

In the long term, I have been responsible for the preparation of budgets, life-of-mine (LOM), capital and operating costs using strategic planning for the Bayovar phosphate mine. Participated annually in the 10-K Reserves Report, Feasibility Study (PFS) and Technical Report Summary (TRS). In addition, I carried out the planning and design of LOM dumps, the planning of mining projects, the design of pits, ramps, profiles and tonnage calculations, as well as simulations of mining equipment. I also updated components of technical reports and environmental impact studies, and prepared the budget for the CAPEX and OPEX strategic mining plan.

In the medium term, I was in charge of the design, planning, supervision and control of mineralized beds and dump projects. Performed mine plan forecasts, truck simulations, annual and monthly dump plans, pit design and valorization, mine phase design, and phase preparation plans.

In the short term, I oversaw field, mine, and dump operations. Developed weekly, daily and shift plans for mining and dump design. I monitored mine tonnage, compared actual vs planned mine plan, made mine adherence plans, discharge plans, adhesion rates and mine reconciliations. In addition, I planned and followed up on the facilities and infrastructure.

#### **IV.- EXPERIENCIA LABORAL**

**COMPANY** : Mosaic CO  
**OCCUPATION** : PLANEAMIENTO MINA  
**DATE** : Setiembre 2017 (6 años actual)  
**FUNCTIONS** Superintendente de Planeamiento Largo Plazo

**COMPANY** : Vale S.A.  
**OCCUPATION** : PLANEAMIENTO MINA  
**DATE** : Setiembre 2009 (7 años)  
**FUNCTIONS** : Ingeniero Senior de Planeamiento Largo Plazo

**COMPANY** : MINERA ANCASH COBRE S.A.  
**OCCUPATION** : MODELADOR y PLANEAMIENTO LARGO PLAZO DE MINA  
**DATE** : Julio 2007 (2 años)  
**FUNCTIONS** :Ingeniero de Planeamiento

**COMPANY** : GEODRILL S.A.C.  
**OCCUPATION** : Perforación Diamantina  
**DATE** : SEP 2005 (1 año 4 meses)

**COMPANY** : SIMINAM E.I.R.L / AyS Hermanos S.R.L. V&H Servicios  
**Generales S.R.L. (MINERA YANACocha SRL)**  
**OCCUPATION** : Supervisor de Campo  
**DATE** : ABR 2003 (2 años 6 meses)

**COMPANY** : YURA S.A. / Compañía Minera Ubinas S.A.C.  
**OCCUPATION** : Practicas  
**DATE** : ENE 2002 (1 año)

#### **V.- SKILLS AND APTITUDES**

MINESIGHT (Expert)      DATAMINE (Medium)    VULCAN      (Advanced)      GEMs (Advanced)  
 DESWIK (Medium), OFFICE (Advanced)