

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

Estimación de reservas para una mina a cielo abierto en vetas

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Omar Alex Meléndez Huamán

 0009-0007-1822-0326

Asesor

Dr. Valeriano Alfredo Marín Suarez

 0000-0002-9945-0532

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Meléndez Huamán [1]
Referencia/Reference	[1] O. Meléndez Huamán, “ <i>Estimación de reservas para una mina a cielo abierto en vetas</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Meléndez, 2023)
Referencia/Reference	Meléndez, O. (2023). <i>Estimación de reservas para una mina a cielo abierto en vetas</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis padres por haberme educado, a mis
amigos y familiares que siempre están conmigo.*

Agradecimiento

A todas las personas con las que compartí conocimientos y experiencias durante mi carrera profesional.

Resumen

Las reservas de una mina plantean una gran base a partir de la cual se pueden realizar otros trabajos posteriores relacionados con la planificación minera en diversos horizontes. En este trabajo se realiza una estimación de reservas del yacimiento denominado Yen, que venía siendo explotada de manera operativa sin tener una base técnica hacia donde orientarse. Yen no tenía el diseño de un pit final que limite realmente las reservas económicas, ni tampoco una secuencia de minado LOM, ni la proyección de botaderos, ni un planeamiento estratégico de la producción.

La presente tesis tiene por objetivo la estimación de reservas de Yen para mejorar el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina. Para dar solución al problema planteado se hará una revisión general de las teorías y experiencias que se tienen en bibliografía relacionadas, y luego se interrelacionará este conocimiento para que se puedan adecuar al objetivo general de esta tesis, y que proporcione resultados confiables desde el punto de vista técnico-económico.

Como resultado se obtuvo un pit final que tiene 391,531 TMS de mineral con un valor de NSR de 56.71 US\$/t como reservas.

Palabras claves — Reservas, planificación, mina, diseño.

Abstract

The reserves of a mine pose a large base from which other subsequent work related to mine planning can be carried out in various horizons. In this work, an estimation of reserves of the deposit called Yen is carried out, which had been exploited in an operational manner without having a technical base to which to orient itself. Yen did not have the design of a final pit that really limits the economic reserves, nor did it have a sequence of LOM mining, nor the projection of dumps, nor a strategic planning of production.

This thesis aims to estimate Yen reserves to improve the final design, mining planning and mine valuation. In order to solve the problem posed, a general review of the theories and experiences in the related bibliography will be made, and then this knowledge will be interrelated so that they can be adapted to the general objective of this thesis, and that it provides reliable results from the point of view of technical-economic point of view.

As a result, a final pit was obtained that has 391,531 DMT of ore with a NSR value of US\$56.71/t as reserves.

Keywords — bookings, planning, mine, design,

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Planteamiento de la realidad problemática.....	1
1.3. Formulación del problema.....	2
1.4. Objetivos.....	2
1.4.1. Objetivo General	2
1.4.2. Objetivos Específicos.....	2
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis General	3
1.5.2. Hipótesis Específicas	3
1.6. Antecedentes investigativos.....	4
1.6.1. Antecedentes Nacionales	4
1.6.2. Antecedentes Internacionales:	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	9
2.1. Marco teórico	9
2.1.1. Generalidades de la u.m. huachocolpa uno	9
2.1.2. Geología regional.....	11
2.1.3 Geología local.....	12
2.1.4. Geología estructural.....	13
2.1.5. Geología económica	14
2.1.6. Cuadro de recursos	15

2.1.7. Descripción del método.....	15
2.1.8. Características geológicas y geomecánicas.....	16
2.1.9. Diseño de mina	17
2.1.10. Análisis de estabilidad de talud global.....	19
2.1.11. Diseño de botaderos	21
2.1.12. Operación minera	23
2.1.13. Clasificación de recursos y reservas	26
2.1.14. Categorización de recursos.....	28
2.1.15. Modelo de bloques.....	29
2.1.16. Veta%.....	32
2.1.17. Net Smelter Return (NSR).....	32
2.1.18. Técnicas para calcular el límite final.....	33
2.1.19. Parámetros de diseño	38
2.2. Marco conceptual.....	45
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	47
3.1. Parámetros particulares	47
3.1.1. Modelo de Bloques:	47
3.2. Selección del pit final	51
3.3. Diseño de mina	54
3.4. Reporte de reservas	58
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	61
4.1. Impacto de una metodología de estimación de reservas adecuada	61
4.2. Impacto de manipular un modelo de bloques involucrando las diluciones.....	62
4.3. Impacto de valorizar cada bloque usando los valores NSR punto.....	63
4.4. Impacto de seleccionar el Pit Final que se utilizará para el diseño final	63
Conclusiones	65

Recomendaciones	67
Referencias bibliográficas	69
Anexo	1

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Matriz de consistencia.....	8
Tabla 2: Rutas y vías de acceso	10
Tabla 3: Resumen de Recursos Minerales de Yen	15
Tabla 4: Calidad de la masa rocosa – Sector Yen	16
Tabla 5: Parámetros Geotécnicos – Sector Yen	17
Tabla 6: Parámetros de diseño – Sector Yen.....	19
Tabla 7: Parámetros de diseño – Botadero.....	21
Tabla 8: Capacidad de Botadero	22
Tabla 9: Equipos de Perforación.....	24
Tabla 10: Equipos de carguío y acarreo.....	25
Tabla 11: Equipos de servicios	25
Tabla 12: Parámetros de clasificación de recursos	29
Tabla 13: Valores NSR punto	50
Tabla 14: Costos.....	51

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Ubicación de la UM Huachocolpa Uno.....	10
Figura 2: Sección de yacimiento Yen.....	16
Figura 3: Equipo de perforación: Track Drill de 2 ½”	17
Figura 4: Equipo de carguío: CAT 329 de 2 m3 de capacidad de cucharón.....	18
Figura 5: Equipo de acarreo: Volvo FMX 6x4 de 15m3 de capacidad	18
Figura 6: Corte A-A´ para evaluación de estabilidad	20
Figura 7: Evaluación estática – Corte A-A´	20
Figura 8: Evaluación pseudo-estática – Corte A-A´	21
Figura 9: Ubicación de Botadero Sur	22
Figura 10: Ubicación de Botadero 1	23
Figura 11: Diagrama de recursos y reservas minerales	26
Figura.12.: Cumulative Probability Plot (CPP), Distancia al compósito más cercano	29
Figura 13: Imagen de un modelo de bloques	30
Figura 14: Imagen de un bloque	30
Figura 15: Item VETA%	32
Figura 16: Cono Flotante	34
Figura 17: Lerch Grossman	36
Figura 18: Matriz de bloques de la suma acumulativa.....	37
Figura 19: Proceso de valor Pij	37
Figura 20: Determinación del Pit Optimo.....	38
Figura 21: Distribución esfuerzos en un Pit antes y después de la excavación	39
Figura 22: Modelo geotécnico.....	40
Figura 23: Partes de un talud minero	41
Figura 24: Banco de trabajo.....	41

Figura.25: Vista en planta de una rampa espiral	43
Figura 26: Diseño de rampa espiral. Parte 1	44
Figura 27: Diseño de rampa espiral. Parte 2	44
Figura 28: Diseño de rampa espiral. Parte 3	45
Figura 29: Diseño de rampa espiral. Parte 4	45
Figura 30: Modelo de bloques 1x1x1	47
Figura 31: Dilución de leyes de veta a bloque.....	49
Figura 32: Modelo de bloques 2x2x5	50
Figura 33: Modelo de bloques con NSR.....	51
Figura 34: Sección del modelo de económico – Nv4635.....	52
Figura 35: Vista en Planta – Topografía y Pit Limits.....	52
Figura 36: Pit by Pit	53
Figura 37: Pushbacks vs NPV	53
Figura 38: Vista Planta – Pushbacks	54
Figura 39: Vista Sección – Pushback.....	55
Figura 40: Vista Planta – Topografía inicial.....	56
Figura 41: Vista Planta – Fase 1	56
Figura 42: Vista Planta – Fase 2.....	57
Figura 43: Vista Planta – Fase 3.....	57
Figura 44: Vista Planta – Fases	58
Figura 45: Vista Isométrica – Bloques de minado	58
Figura 46: LOM – Pit Yen	59
Figura 47:LOM - Pit Yen mensual.....	60
Figura 48: Comparativo Reservas.....	61

Introducción

La presente tesis aplica varias teorías y prácticas de la industria minera para realizar una estimación de reservas en una mina a cielo abierto que tiene un yacimiento en vetas polimetálicas.

Se parte desde la recepción de la información geológica, mostrando su utilización, para obtener un modelo económico el cual se usa para poder obtener un pit final. Posteriormente, el diseño de mina para este yacimiento y la final obtención del reporte de reservas para este yacimiento.

Este trabajo es además una herramienta importante para la elaboración de programas de minado en diferentes horizontes, y el resultado final sirve para que el yacimiento tenga un valor económico representado en tonelaje y valor de mineral, el cual puede utilizar la empresa para diversos objetivos por ejemplo financieros.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1. Generalidades

Mediante el presente trabajo se alcanza desarrollar la estimación de reservas para el yacimiento polimetálico en vetas Yen adaptándose a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento. Elaborando una metodología para la estimación de reservas, la cual mejora el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina.

1.2. Planteamiento de la realidad problemática

El yacimiento polimetálico llamado Yen presenta un conjunto de vetas cercanas que tienen un afloramiento en superficie, este yacimiento viene siendo explotado mediante el método superficial de cielo abierto o también conocido como Open Pit. Este minado se realiza con ayuda de un modelo de bloques de 1x1x1 y se va programando el minado de mineral cada vez que sea requerido por la operación.

El problema que se presenta en Yen es que carece una metodología de estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento.

La estimación de reservas es la base para el diseño final del pit y de un planeamiento a largo plazo en el que se concilie de manera satisfactoria las restricciones operativas de mina (extracción) - planta (procesamiento) y las condiciones de mercado (precio y costos) con la información geológica. Esta deficiencia en la valorización ha repercutido negativamente en la operación de minado en los siguientes puntos: el desconocimiento de reservas y vida de la mina, falta de las fases de minado, conflictos en la secuencia de minado, falta de proyección de botadero.

Frente a esto, y también debido a que la empresa se encontraba en el proceso de certificación de reservas por el NI 43-101 se desarrolla este trabajo.

1.3. Formulación del problema

- Problema principal

¿En qué medida una inadecuada estimación de reserva en vetas afectara la vida de la mina?

- Problema Específico 1:

¿Cuáles son las consecuencias de una mala manipulación de un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones?

- Problema Específico 2:

¿En qué medida calcular mal los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos afectan la estimación de reservas?

- Problema Específico 3:

¿Cuáles son las consecuencias de hacer una mala selección del Pit final que se utilizará para el diseño final?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar una metodología para la estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento, para mejorar el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Manipular un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones.
- Calcular los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos para poder valorizar cada bloque.
- Seleccionar el Pit final que se utilizará para el diseño final.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

H₁: “Al elaborar una metodología para la estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento, se logrará una adecuada estimación de reservas, por consiguiente, se mejorará el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina”.

- Aporte del Investigador:

Variable Independiente (X): Parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento.

- Finalidad de la Investigación:

Variable dependiente (Y): Metodología de estimación de reservas.

1.5.2. Hipótesis Específicas

H₂: “Al manipular un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones, se tendrá un input que se utilizará para un análisis de una mina a tajo abierto”.

Variable Independiente (X1): Geología y geometría del modelo de bloques del yacimiento.

Variable dependiente (Y1): Modelo de recursos diluido.

H₃: “Al calcular los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos para poder valorizar cada bloque, se tendrá un modelo económico adecuado”.

Variable Independiente (X2): Costos y valores NSR puntos.

Variable dependiente (Y2): Modelo económico.

H₄: “Al seleccionar el Pit final que se utilizará para el diseño final, se obtendrá un reporte de reservas inpit dentro de un diseño operativo y se tendrá en cuenta los parámetros geotécnicos de diseño”.

Variable Independiente (X3): Parámetros operativos y geotécnicos de diseño.

Variable dependiente (Y3): Reporte de reservas inpit.

1.6. Antecedentes investigativos

Esta tesis toma en cuenta los siguientes antecedentes:

1.6.1. Antecedentes Nacionales

Alvarado, L. H. (2010), "Cálculo de reservas de un proyecto a tajo abierto en el norte del Perú": Las grandes inversiones, en términos monetarios que se están realizando actualmente en el sector minero, nos hacen pensar en los riesgos a los que nos enfrentamos si no conocemos bien la cantidad y calidad de los recursos a explotar. Los recursos minerales son bastante aleatorios y no podemos tener una certeza del 100% de su calidad y cantidad, para tener un mejor control, hacemos uso de los avances alcanzados a lo largo de los últimos años, con el fin de poder minimizar esa incertidumbre, avances como son el Kriging y el Algoritmo de Lerch and Grosmann.

Es por ello que en presente trabajo de Cálculo de reservas de un proyecto a tajo abierto en el norte del Perú, tomaremos estas consideraciones de base para realizar la estimación de reservas de este proyecto cuyo yacimiento es un diseminado de oro.

Con este fin el trabajo esta dividido en básicamente dos partes: la estimación de recursos y el cálculo de reservas.

CLAVO, E. W. (2013), "Evaluación del incremento de reservas en el tajo Parccaorco – Breapampa": El área de Planeamiento Mina de Breapampa ha sido encargada de realizar una nueva estimación de recursos, evaluar el incremento de reservas y hacer un nuevo plan de minado, basado en la actualización del nuevo modelo de bloques incluyendo las nuevas zonas mineralizadas como la zona del coluvial Parccaorcco (denominado Boulders). El software empleado para este trabajo es el MineSight.

Y para evaluar el incremento de reservas se va a hacer una comparación entre el Plan y Reservas a junio 2012 (MICSA – Consultora) vs Plan y Reservas a junio 2013, el software que se empleará es el Minesight.

Se van a realizar programas de producción mensuales, dentro del diseño del tajo final, desde el 2013 para toda la vida de la mina restante estimado hasta febrero del 2015.

Los ritmos de producción de mineral varían de 5,000 a 8,000 toneladas por día. Estos ritmos de producción han sido calculados en base al rendimiento actual de la flota de minado y de los equipos de chancado.

Gonzales T. (2010), "Diseño de minas a tajo abierto": Este estudio tiene como objetivo analizar cada paso que se debe realizar para diseñar una mina y calcular las reservas de un determinado yacimiento. Las conclusiones más destacadas de este estudio son: I) Es importante conocer: información geológica geotécnica del yacimiento, así como parámetros técnicos y económicos del proyecto, ya que la recolección de esta información permitirá diseñar: un pit final óptimo, fases adecuadas de minado y elaboración de un buen plano minero. II) Un buen plan de minado garantiza el mejor NPV, y para ello se debe diseñar el pit final y las fases de minado utilizando técnicas y algoritmos adecuados. III) Existe cierta estandarización de equipos mineros en las grandes minas peruanas utilizando camiones, palas y perforadoras, los mayores cambios se dan en yacimientos pequeños y medianos. Esta estandarización permite las características de los equipos tengan menor variación en cuanto a rendimiento y costos.

Paredes J. F. (2021), "Determinación de Parámetros de Fases de Minado para Optimizar el VAN del Tajo Esperanza en Mina El Toro": La finalidad de la presente investigación estuvo en relación a la determinación de las fases de minado para optimizar el VAN del tajo Esperanza en Minera El Toro. El problema surge a partir de las deficiencias de los parámetros de fase de minado, en el cual no se tiene en cuenta antecedente concreto para un ancho de fases de minado y posición de rampa de pit final corrector para optimizar el VAN. Presenta una metodología de carácter cuantitativo, no experimental de tipo transversal descriptivo y aplicativo. Entre los resultados adquiridos, en relación con el análisis de parámetros de entrada se consideró la selección del Pit 19 de 20 presentando un mayor NVP de US\$ 63'724,996.00 con un SR de 0.296. Así mismo, con el empleo del software Minesight se obtuvo un VAN para la primera fase de S\$ 34'423,802.00 con una extracción total de 6'970,959 Tn de mineral, recuperando un total de 1'817,084 g de Oro

fino con un SR de 0.1696; para una segunda fase se obtuvo un VAN máximo de US\$ 14'452,247.00 extrayendo un total de 7'952,082 Tn de mineral, recuperando 1'548,027 g de Au fino y en la última fase se presenta un VAN máximo de US\$ 12'610,884.00 extrayendo 4'157,982 Tn de mineral. Recuperando 918,239 g de Au fino y finalmente en el diseño de las fases operativas se tuvo una variación de VAN de 9.6%. Concluyendo que, la determinación de parámetros de fases de minado influye directamente en el VAN del Tajo Esperanza.

Chura, H. (2019), "Optimizar el planeamiento a largo plazo de la mina a tajo abierto Tacaza – CIEMSA empleando los softwares mineros Gemcom Whittle y Minesight": El presente estudio de investigación tuvo por objetivo optimizar el planeamiento a largo plazo usando los softwares Gemcom Whittle y MineSight para mejorar la valorización de la mina a tajo abierto Tacaza. Para ello, esta investigación fue de tipo aplicada con un diseño no experimental, transversal – descriptiva, en el cual se diseñó y elaboró un planeamiento a largo plazo usando los softwares Gemcom Whittle y MineSight para la mina Tacaza. Con este planeamiento a largo plazo se logró obtener: un pit final que tiene 3'244,708 TM de mineral con una ley promedio de 1.27 %Cu como reservas minables; 5 fases de minado que están distribuidas en la zona sur, central y norte; 4 botaderos diseñados para depositar 2'872,952 TM de desmonte; un planeamiento estratégico de la producción en donde se estimó 8 años de vida con una rentabilidad operativa de US\$ 43'466,233; y un cálculo de equipos a utilizarse en la operación de minado. Todos estos elementos en conjunto, permitieron mejorar la valorización de la mina a tajo abierto Tacaza estimada con un VAN igual a US\$ 4'960,628 y un TIR igual a 18%.

1.6.2. Antecedentes Internacionales:

Peirano, F. A. (2011), "Definición de pit final capacitado bajo incertidumbre": El propósito de este estudio fue desarrollar un método y una herramienta para definir un pit final que cumpla con restricciones de capacidad y condiciones de incertidumbre asociadas con los recursos geológicos. Las conclusiones más destacadas de este estudio son: a) El

tamaño del pit final depende en gran medida de las restricciones de capacidad impuestas; es decir, una mayor capacidad produce un mayor valor en el flujo de caja, ya que los bloques se extraen en el menor tiempo posible, por lo que el tamaño del tajo final será mayor; lo contrario pasará si la capacidad es menor; b) Asimismo, incorporar la incertidumbre geológica en la optimización del pit final puede resultar en que el tamaño del pit se vea afectado, es decir, la extensión de la malla de sondeos diamantinos, es importante, trae dos casos: cuanto mayor es la extensión de la malla menor será la certeza, menor será el tamaño final del pit, y lo contrario pasará si la extensión de la malla es menor. Por lo tanto, el pit final no solo debe usar el algoritmo de LG, sino también tener en cuenta la de la capacidad y la incertidumbre geológica.

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES medibles	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis General	X	Y		
¿En qué medida una inadecuada estimación de reserva en vetas afectara la vida de la mina?	Elaborar una metodología para la estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento, para mejorar el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina.	H1: "Al elaborar una metodología de estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento, se logrará una adecuada estimación de reservas, por consiguiente, se mejorará el diseño final, el planeamiento de minado y la valorización de la mina"	Metodología de estimación de reservas	Parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento		
Problema Secundario	Objetivo Específicos	Hipótesis Secundarias	Xn	Yn		
¿Cuáles son las consecuencias de una mala manipulación de un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones?	Manipular un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones.	H2: "Al manipular un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones, se tendrá un input que se utilizará para un análisis de una mina a tajo abierto".	Modelo de recursos diluido.	Geología y geometría del modelo de bloques del yacimiento.		
¿En qué medida calcular mal los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos afectan la estimación de reservas?	Calcular los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos para poder valorizar cada bloque.	H3: "Al calcular los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos para poder valorizar cada bloque, se tendrá un modelo económico adecuado".	Modelo económico.	Costos y valores NSR puntos.		
¿Cuáles son las consecuencias de hacer una mala selección del Pit final que se utilizará para el diseño final?	Seleccionar el Pit final que se utilizará para el diseño final.	H4: "Al seleccionar el Pit final que se utilizará para el diseño final, se obtendrá un reporte de reservas inpit dentro de un diseño operativo y se tendrá en cuenta los parámetros geotécnicos de diseño".	Reporte de reservas inpit.	Parámetros operativos y geotécnicos de diseño.		

Fuente: Propia

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Generalidades de la u.m. huachocolpa uno

Compañía Minera Kolpa S.A.; es una empresa dedicada a la exploración, explotación y beneficio de minerales polimetálicos con contenidos de plata, plomo, zinc y cobre.

Los recursos y reservas del yacimiento Yen permiten que la Compañía Minera Kolpa S.A. continúe con actividades de exploración, desarrollo, preparación y explotación del mineral, éste mineral es transportado para su tratamiento en la Planta de Beneficio de la U.M. Huachocolpa Uno, propiedad de la referida Empresa, la misma que opera con una capacidad instalada a 1,800 TMSD en el 2022, de los cuales, Yen aporta 400 TMSD.

Ubicación:

La Unidad Huachocolpa Uno de la Compañía Minera Kolpa S.A., geográficamente se ubica en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales, en el distrito de Huachocolpa, provincia y región de Huancavelica, a una altitud promedio de 4480 msnm.

Sus coordenadas geográficas son:

Longitud Oeste: 74° 53' 43"

Latitud Sur : 13° 03' 52"

Sus coordenadas U.T.M. son:

Este : 502 230.55

Norte : 8 555 752.86

Acceso a la unidad:

El acceso a la Unidad se da por 3 rutas como se muestra en la tabla:

Tabla 2

Rutas y vías de acceso

Ruta	Distancia	Tiempo	Tipo de Vía
Lima – Pisco – Huaytará – Rumichaca – Paso de Chonta – Mina	445 km	09 hrs	Asfaltada y Afirmada
Lima – Pisco – Castrovirreyna – Paso de Chonta – Mina	462 km	10 hrs	Asfaltada y Afirmada
Lima – Huancayo – Huancavelica – Paso de Chonta – Mina	565 km	12 hrs	Asfaltada y Afirmada

Fuente: Propia

La ubicación geográfica de la Unidad se muestra en la figura:

Figura 1

Ubicación de la UM Huachocolpa Uno



Fuente: Compañía Minera Kolpa

Clima:

Huachocolpa Uno se caracteriza por un clima seco con humedad moderada en verano, con una humedad relativa que oscila entre 69.4% en verano y 73% en el período lluvioso. Las temperaturas anuales en el área del proyecto varían entre 0.9°C y 13.6°C (Estación Meteorológica Kolpa, 2022).

La precipitación anual es de hasta 724,32 mm (Estación Meteorológica Kolpa, 2022) entre los meses de diciembre y marzo cuando se reporta la temporada de lluvias, y para el resto del año la precipitación es mínima, lo que permite operar tanto la mina como la planta de procesamiento sin interrupción durante todo el año.

Fisiografía:

La mina Huachocolpa Uno está ubicada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes, o más precisamente, en la zona intercordillerana de los Andes centrales del Perú a una altura promedio de 4,400 msnm. El área se caracteriza por rasgos morfológicos de laderas con pendientes empinadas a extremadamente empinadas con frecuentes afloramientos rocosos y depósitos coluviales o coluvial-aluviales en el fondo de las laderas. Entre las laderas se encuentran superficies de fondo de valle planas o inclinadas, formadas por depósitos fluvial-glaciares y morrénicos.

La vegetación se ubica en tierras bajas con especies como *Stipa*, *Festuca*, *Calamagrostis*, *Astragalus*, *Dystichia*, *Scirpus* con mal drenaje y formaciones de suelos permanentemente húmedos (bofedales) con bajo potencial para uso agrícola, pero generalmente utilizados para el pastoreo de camélidos andinos, ovejas y caballos.

2.1.2. Geología regional

La zona de estudio se ubica en el cuadrángulo de Huachocolpa, que abarca parte de los departamentos de Huancavelica y Ayacucho, y se emplaza en la parte oriental de la Cordillera Occidental.

La altitud, en la que opera la mina se encuentra entre 4,130 msnm a 5,200 msnm.

En los alrededores del proyecto se observa una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que abarcan edades desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

Geológicamente, el yacimiento se encuentra emplazado en volcánicos terciarios constituidos por lavas, aglomerados y brechas volcánicas andesíticas pertenecientes a la Formación Caudalosa, abarcando parte de los Cuadrángulos de Huancavelica, Huachocolpa, Conayca y Castrovirreyna.

El rumbo principal de las estructuras mineralizadas es: N 52° - 65° E y buzamiento 55° - 75° SE; con anchos variables entre 1.0 m a 4.0 m.

El yacimiento es del tipo de relleno de fracturas, de origen hidrotermal, con rango epitermal a mesotermal; siendo estructuras filonianas, de reemplazamiento y relleno de fracturas cuya mineralización es de zinc, plomo, plata, cobre; así mismo hay vetas argentíferas. Entre calizas y rocas volcánicas, existen aureolas de metamorfismo de contacto, las que por ser superficiales son estériles

Como principales minerales constituyentes se tienen: esfalerita, galena, cuarzo y pirita; en menor proporción tetraedrita, calcopirita, estibina, baritina, yeso y rejalgar. Estos minerales se presentan con una textura brechoide a orbicular, siendo el cuarzo el relleno principal a manera de matriz, englobando fragmentos de galena-esfalerita.

2.1.3 Geología local

En el Sector de Bienaventurada son predominantes las andesitas de color gris-marrón amarillentas con alteración argílica supérgena débil a moderada.

Se puede distinguir dos posibles unidades litológicas, una al noroeste de la veta Bienaventurada, donde los volcánicos andesíticos se presentan con bandeamientos de flujo, de rumbo promedio N 65° W y buzamiento 66°- 70° NE y hacia el área de la Veta Sur con rumbo N 50°-60° E y 50° NW de buzamiento.

Las andesitas presentan alteración supérgena con una coloración pardo-amarillenta.

En interior mina las andesitas son porfiríticas de color gris y gris blanquecinas cuando están fuertemente alteradas. Una segunda unidad litológica corresponde a derrames sub - horizontales de andesitas marrón amarillentas, las mismas que se emplazan al este y noreste de la veta Bienaventurada; al este, los paquetes de lavas andesíticas están argilizadas supergénicamente y tienen de 1.00 m. a 15.00 m. de grosor, con rumbos de N 60° E y buzamientos 15° - 25° SE.

Las andesitas en algunos casos son porfíricas con horizontes de aglomerados volcánicos de la misma composición, también hay horizontes de derrames lávicos intercalados con aglomerados en las partes altas.

Algunas capas presentan débil diseminación de pirita fina y otras en su matriz tienen fenos de cuarzo. Hacia el NE en la posible continuidad de la veta Bienaventurada, existen intercalaciones de bancos potentes de lavas andesíticas con aglomerados volcánicos grises y en las partes altas al NE, derrames lávicos andesíticos grises de rumbo N 70° E y 10° SE de buzamiento, los que forman farallones de hasta 70 m de altura.

2.1.4. Geología estructural

Las secuencias volcánicas que se emplazan en la Unidad de Producción Huachocolpa-Uno, corresponden a una parte de una estructura dómica dentro de la formación Caudalosa.

Estas capas en el área de la mina se encuentran suavemente plegadas con rumbo N 30° - 40° W y 10° SW - 15° NE de buzamiento, cortadas por fallas transversales en su mayoría mineralizados.

Como consecuencia de los esfuerzos de compresión a nivel regional se han originado una serie de fracturas de cizalla y tensión de rumbo N 60° E a N 60° W que es característica tectónica general del distrito y sirvieron para el emplazamiento de los fluidos mineralizantes.

Las estructuras principales del yacimiento, que trabaja la Unidad de Producción Huachocolpa Uno están formadas por dos sistemas principales.

a. Fracturas de tensión y cizalla de rumbo N 45° - 85° E; que son los que tienen mayor longitud, con buzamientos entre 42°-85° SE, con inflexiones, cimoides, ramales en diferentes tramos en toda su extensión.

A este sistema pertenece las vetas Caudalosa1, Caudalosa2, Viviana, Silvia Ramal 1, Lucia, Gladys, Bienaventurada, Bienaventurada Sur-1, Bienaventurada Sur 2, Jessica, Elizabeth, Rublo, Peseta, Galena, Katherine, Fortuna.

Es de resaltar que las vetas Caudalosa 2, Rublo, Bienaventurada, Jessica, Elizabeth a diferencia de las demás vetas están asociadas a fallas y presenta clastos subredondeados de volcánicos, lo que nos indica que se produjo fallas de reactivación de movimientos dextrales, con numerosas vetas de cizalla.

b. Fracturas del sistema Este-Oeste; algunas de gran longitud interceptada en muchos casos por fracturamiento del sistema anterior, el mayor ejemplo de este sistema lo constituye la veta falla Silvia con rumbo E- W y buzamiento promedio 75° S.

Estructuras secundarias de poca longitud de rumbo N 20° a 30° E, posiblemente correspondan a una última etapa de fracturamiento pre-mineral.

El área comprendida entre la falla Silvia y la falla Caudalosa parece corresponder a un graben de poca profundidad.

2.1.5. Geología económica

La Unidad de Producción Huachocolpa Uno; trabaja un depósito de tipo filoniano, o relleno de fracturas por soluciones hidrotermales; las fracturas han servido de canal y receptáculo para el emplazamiento de mineral mena y ganga.

Las vetas sub paralelas se presentan en forma casi continua por longitudes mayores a 1,000 m. La mineralización económica en la mayoría de las vetas se ubica en clavos irregulares en longitud, profundidad y potencia, separados entre sí por zonas de adelgazamiento y/o empobrecimiento.

La veta Bienaventurada, al lado Este en profundidad, tiene clavos mineralizados que pasa los 1,500 metros, con tendencia de ampliarse en los niveles inferiores, con pequeños anticlavos en la parte central y sur oeste; este mismo comportamiento no ocurre con la Veta Jessica y Elizabeth que son estructuras más falladas, irregulares e inestables que en la actualidad se encuentran dentro del programa de exploraciones, desarrollos y explotación (Elizabeth).

La mayoría de las vetas se presentan en forma de típico “Yacimiento en Rosario” que es característico de la mayoría de los depósitos filonianos en volcánicos Terciarios del

Perú. Por su temperatura de formación, el yacimiento es clasificado como mesotermal a epitermal de plomo-zinc con contenido de plata y cobre.

2.1.6. Cuadro de recursos

Al 31 de diciembre del 2021, los Recursos Minerales se muestran en la tabla:

Tabla 3

Resumen de Recursos Minerales de Yen

Category	Tn	Ag oz/t	Cu %	Pb %	Zn %
Measured	455,370	0.56	0.10	1.53	1.37
Indicated	378,760	0.58	0.10	1.53	1.37
Inferred	196,578	0.68	0.10	1.53	1.37

Fuente: Propia

2.1.7. Descripción del método

"Mina Superficial" es un conjunto de excavaciones al aire libre o a la intemperie, que se practican para extraer los minerales metálicos, de sus yacimientos respectivos y cercanos a las superficies del terreno menos de 150 m de profundidad.

Método de explotación: Open Pit.

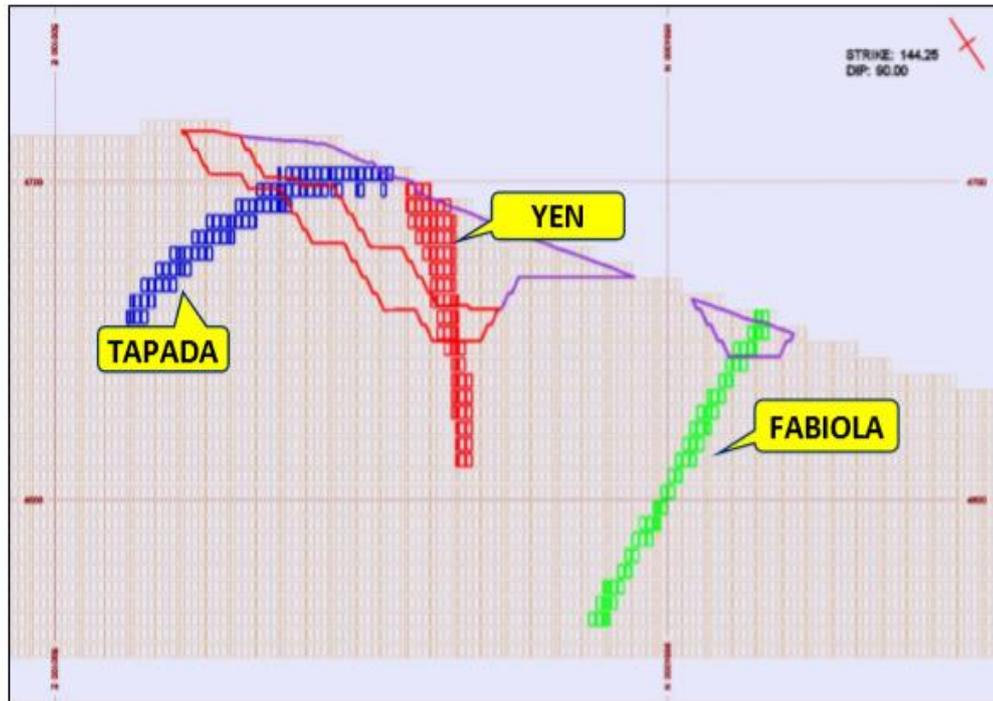
Una mina tajo abierto es una excavación superficial, cuyo propósito es la extracción de mineral. Para llegar a este mineral, generalmente es necesario excavar grandes cantidades de roca estéril.

La tendencia actual de la minería metálica, en general, es la recuperación masiva y acelerada de reservas de un yacimiento. Si bien existen métodos de minería subterránea que permiten una alta producción, como los métodos de hundimiento, nada se compara con la producción lograda por una mina a cielo abierto.

El tajo abierto es un método ideal para depósitos de metal ubicados muy cerca de la superficie. Normalmente se aplica a depósitos de baja ley. Además de estos factores, la explotación de depósitos de vetas angostas enfrenta los desafíos económicos adicionales en la baja productividad del método típico de vetas angostas y el efecto de contaminación del mineral por el desmonte más conocido como dilución. Un corte del modelo de bloques de las vetas angostas se muestra en la figura.

Figura 2

Sección de yacimiento Yen



Fuente: Propia

2.1.8. Características geológicas y geomecánicas

El sector Yen contiene 3 vetas principales de mineralización denominadas Yen, Fabiola y La Tapada. Y entre ellos existen vetas con Fortuna, Ieticia presenta un buzamiento variable entre 50° y 65°.

La mineralización predominante es esfalerita, marmatita, galena argentífera y pirita; casi como trazos de calcopirita, todos envueltos en una matriz de andesita volcánica. La calidad de la masa rocosa en la Veta Bienaventurada está expresada en RMR tanto en el mineral como en las cajas techo y piso. En la siguiente tabla se muestran los resultados.

Tabla 4

Calidad de la masa rocosa – Sector Yen

Litología	Rango RMR	Calidad
Caja techo alejada	31 – 72	IVA, IIIB, IIIA, y II
Caja techo inmediata	23 – 56	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Estructura mineralizada	24 – 54	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Caja piso inmediata	25 – 52	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Caja piso alejada	43 – 61	IIIB, IIIA y II

Fuente: Propia

2.1.9. Diseño de mina

A. Parámetros Geotécnicos:

Se muestran los parámetros geotécnicos en la siguiente tabla.

Tabla 5

Parámetros Geotécnicos – Sector Yen

SECTOR	IRA(°)	Angulo de Talud (°)	Altura de banco (m)	Berma (m)
Vetas Fabiola, Yen y Tapada	55	68	5	3.5

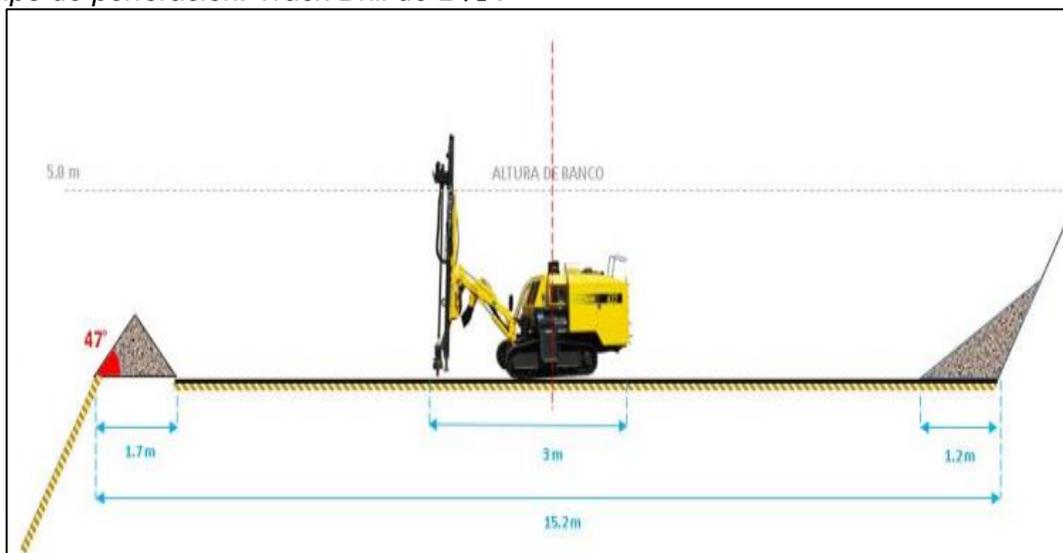
Fuente: Propia

B. Ancho de minado y configuración de Rampas:

Según las actividades de operación unitaria, se realizaron los esquemas para los equipos para una altura de banco de 5 metros. Y los anchos de minado para los equipos de perforación y carguío se muestran en las figuras siguientes.

Figura 3

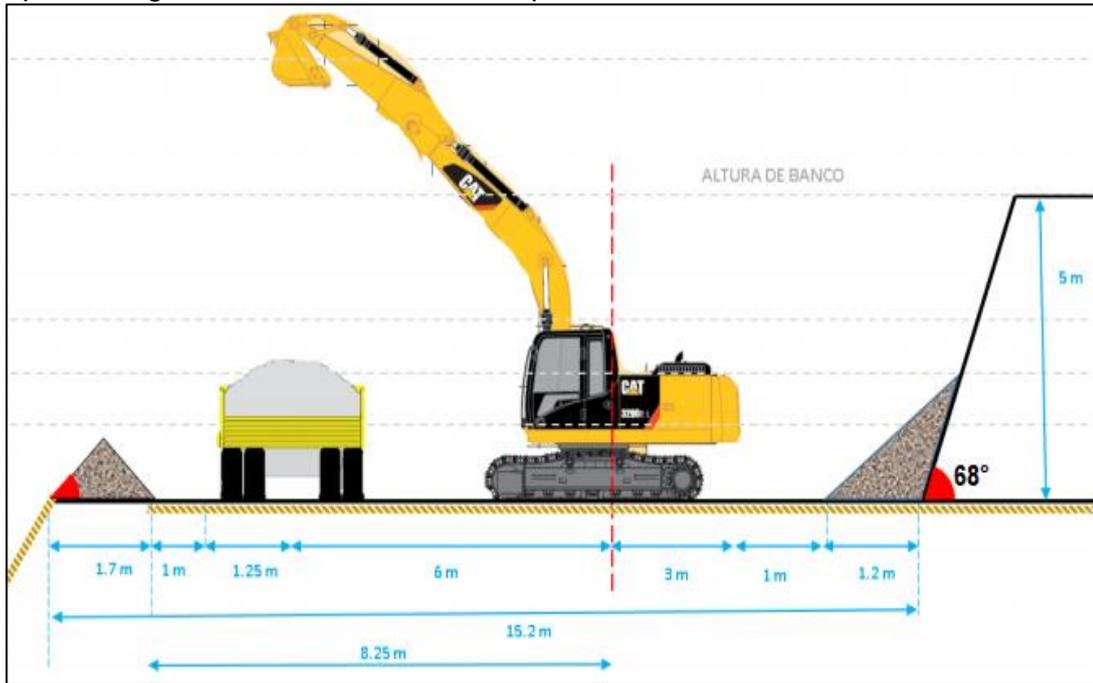
Equipo de perforación: Track Drill de 2 ½”.



Fuente: Compañía Minera Kolpa

Figura 4

Equipo de carguío: CAT 329 de 2 m³ de capacidad de cucharón.

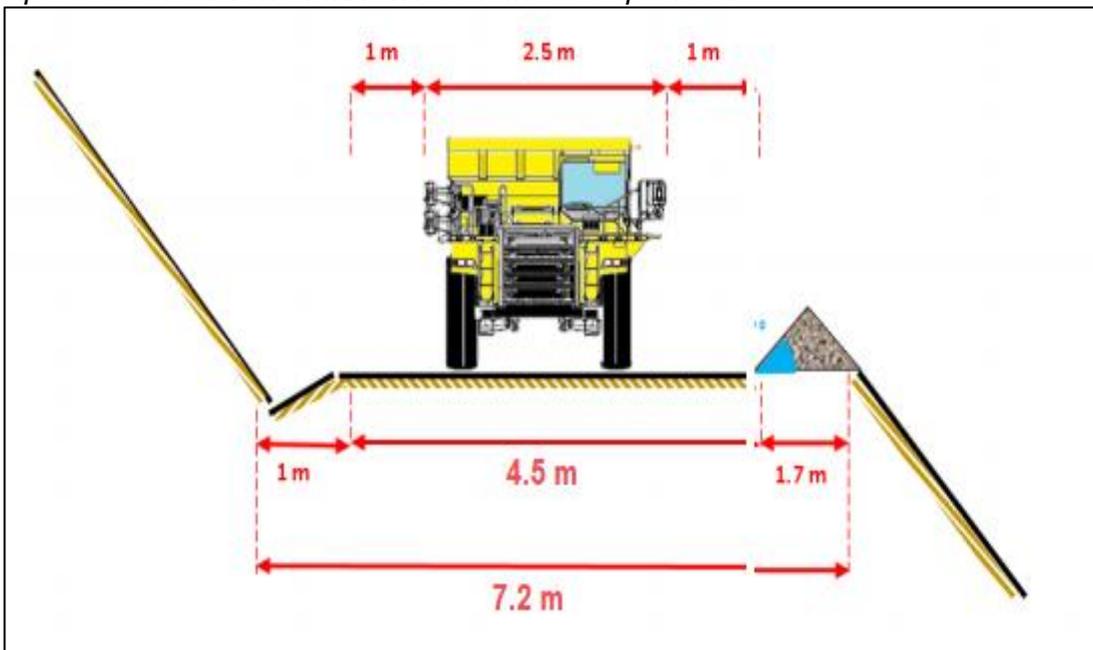


Fuente: Compañía Minera Kolpa

La gradiente de la rampa es 12 %. Y el ancho para los equipos de acarreo se muestra en la siguiente figura.

Figura 5

Equipo de acarreo: Volvo FMX 6x4 de 15m³ de capacidad.



Fuente: Compañía Minera Kolpa

C. Diseño de pit final:

El dimensionamiento de los bancos y taludes se ha llevado a cabo, considerando el estudio de estabilidad de taludes por el área de geomécanica, así como los equipos de mina que fueron seleccionados y teniendo en cuenta la necesidad de mantener accesos razonables. Los parámetros de diseño se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6

Parámetros de diseño – Sector Yen

PARÁMETROS	UND	CANTIDAD	COMENTARIOS
Altura de Banco	m	5	Reducción de dilución
Altura de doble banco	m	10	Altura de banco en límite final del tajo
Angulo de Talud de Banco	°	68	Variable según las recomendaciones del estudio de estabilidad de taludes
Berma de seguridad	m	3.5	Son distintos para diferentes ángulos de taludes en los diferentes sectores.
Ángulo de talud Ínter rampas	°	48 y 38	Variable según los sectores del tajo.
Radio de curvatura	m	9	Radio medio
Ancho de rampa	m	7	Por dimensión de equipos
Ancho de banco operacional	m	26	Determinado en el estudio
Gradiente de Rampa	%	12	Máximo

Fuente: Propia

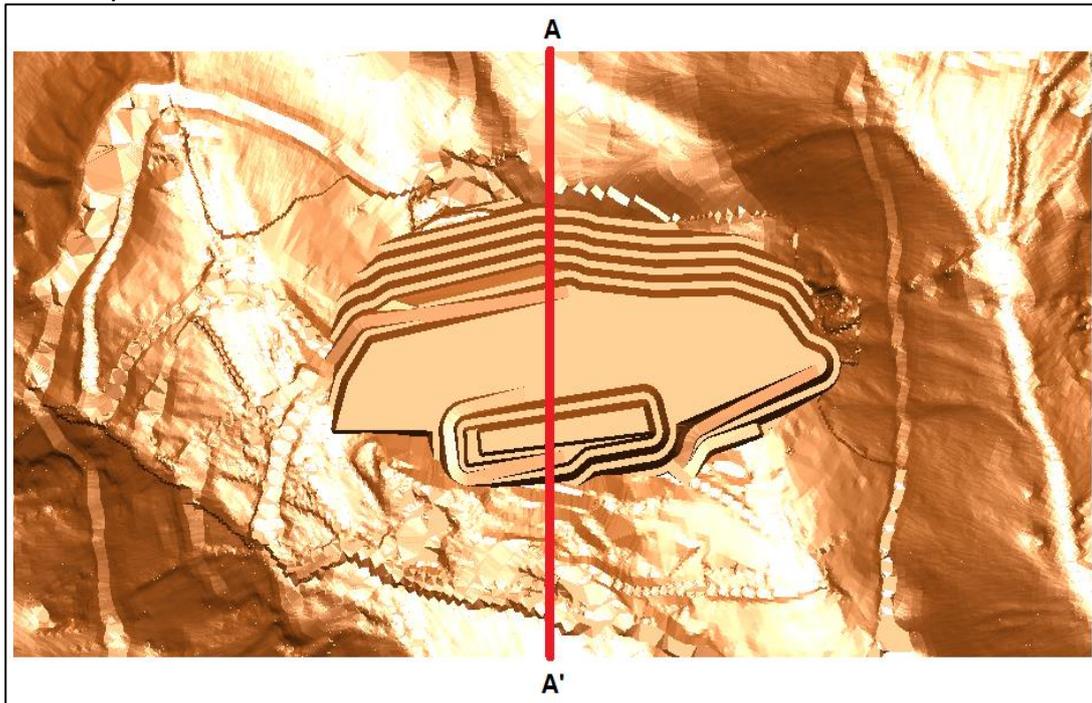
De acuerdo a la topografía en ladera el diseño del Pit Final, Tenemos acceso desde la carretera a la zona W hacia el Pit.

2.1.10. Análisis de estabilidad de talud global

Se realizó la sección en la topografía del diseño del Pit final. Teniendo resultados aceptables del Factor de seguridad. Los cuales se muestran en las siguientes figuras.

Figura 6

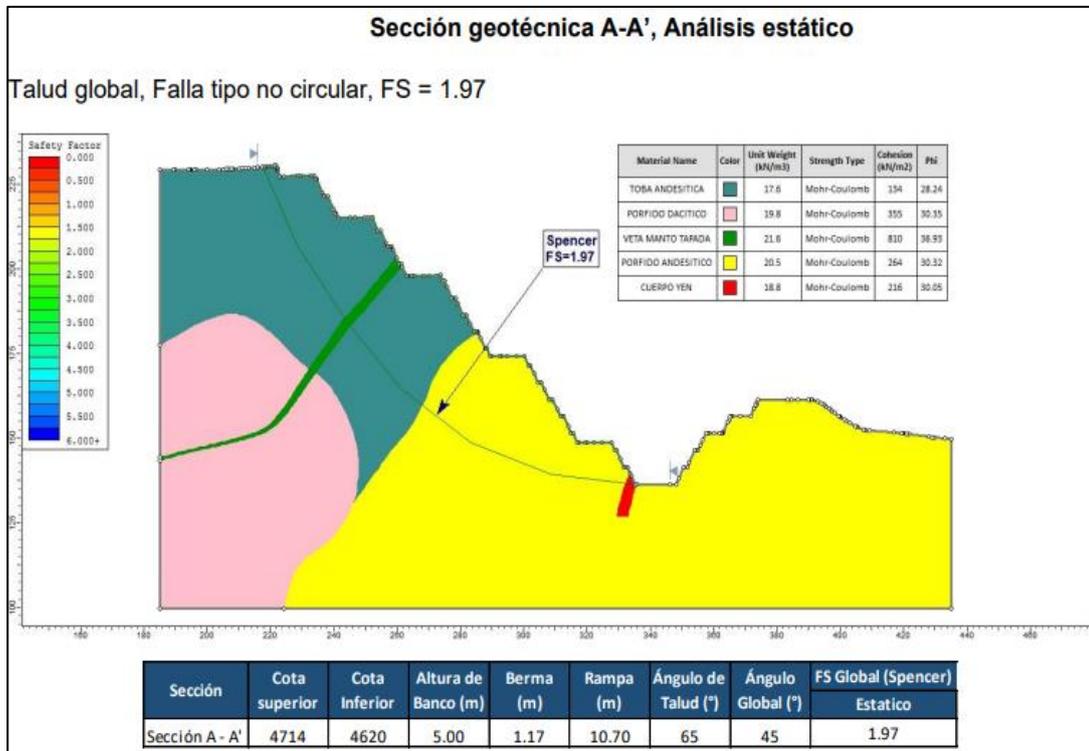
Corte A-A' para evaluación de estabilidad



Fuente: Propia

Figura 7

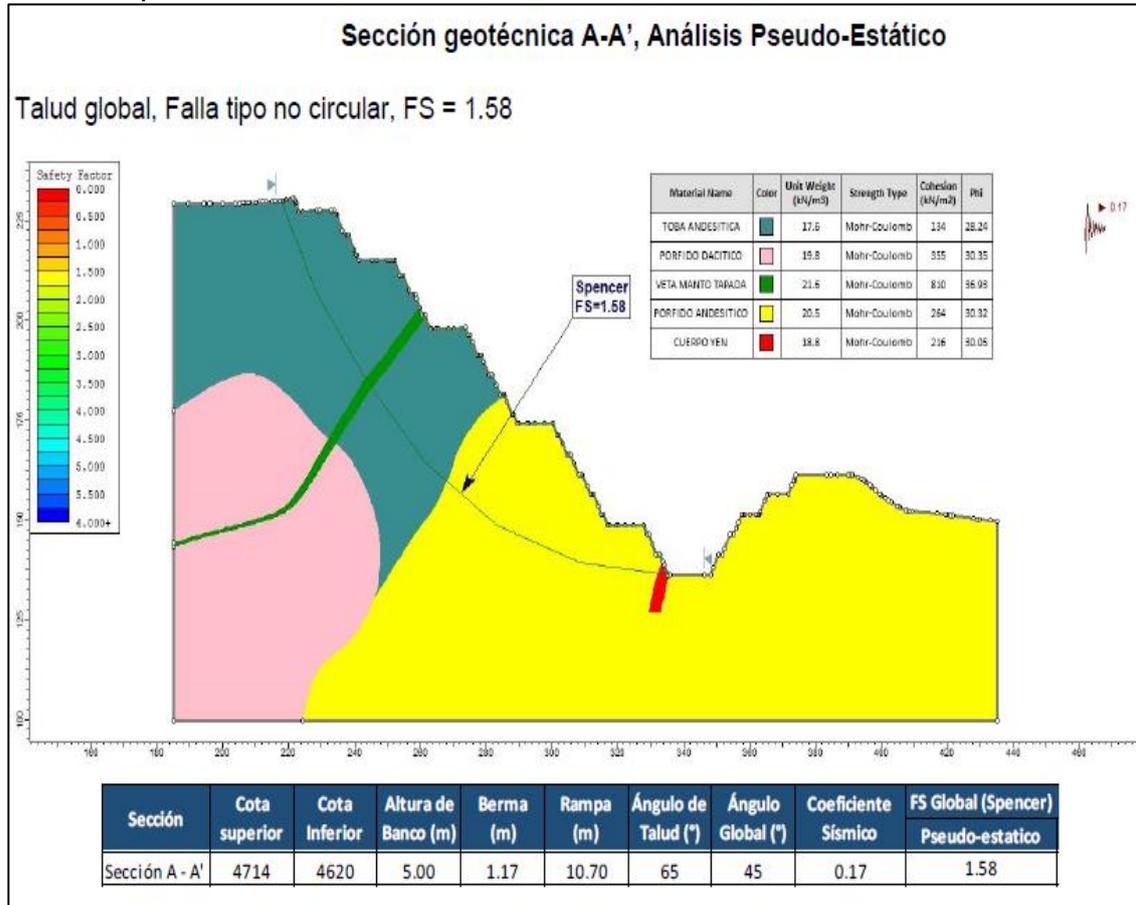
Evaluación estática – Corte A-A'



Fuente: Compañía Minera Kolpa

Figura 8

Evaluación pseudo-estática – Corte A-A´



Fuente: Compañía Minera Kolpa

2.1.11. Diseño de botaderos

Los parámetros de diseño para los botaderos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7

Parámetros de diseño – Botadero

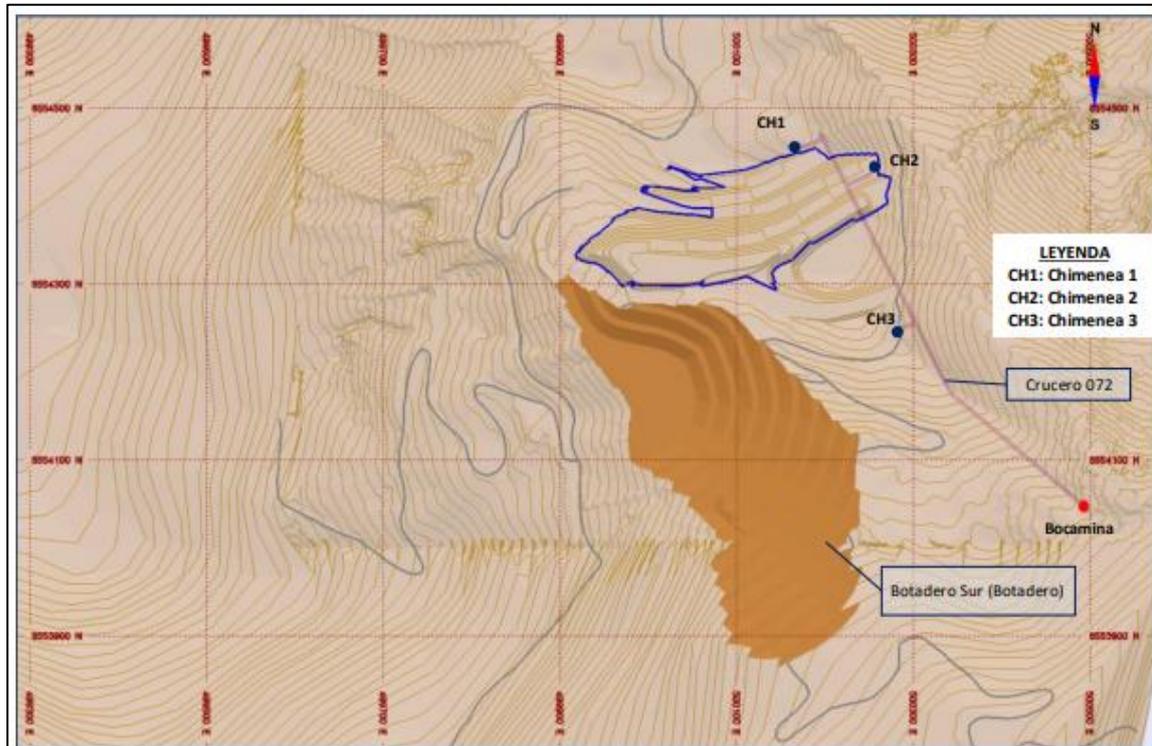
ITEM	UND	VALOR
Densidad	t/m ³	2.15
Ángulo de talud (Face slope)	°	33.7(1:1.5)
Ángulo de talud global	°	23.5
Berma	m	6.4
Altura de banco	m	5 y 10

Fuente: Propia

La ubicación del Botadero Sur y su diseño se muestra en la siguiente figura.

Figura 9

Ubicación de Botadero Sur



Fuente: Propia

Las capacidades de los botaderos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8

Capacidad de Botadero

BOTADERO	MATERIAL	TONELAJE (tn)
Botadero 1	Desmante	197,197
Botadero Sur	Desmante	2,228,694
Total	Desmante	2,425,891

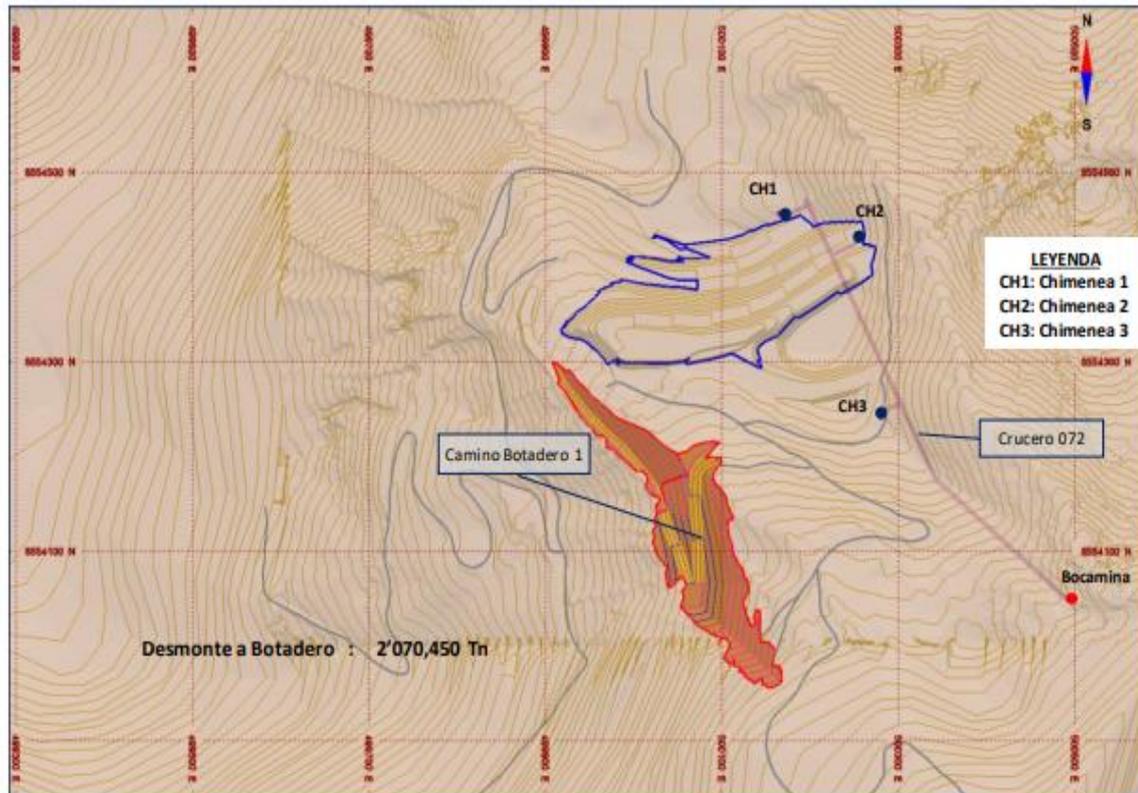
Fuente: Propia

Secuencia de descarga:

El Botadero “Camino Botadero 1” se deberá conformar para llegar a la parte más baja de la topografía y así empezar la secuencia de llenado del Botadero Sur como se muestra el diseño en la siguiente figura.

Figura 10

Ubicación de Botadero 1



Fuente: Propia

2.1.12. Operación minera

Descripción de la mina:

La mina cuenta con una rampa principal, para acceder al banco 4640, el minado de tajo yen contara con bancos de 5 m, siendo el banco más profundo 4570. Operativamente las operaciones se han distribuido en dos fases, la fase 1, que abarca la zona Este, y la fase 2 que llegar al límite final del Pit Yen en la zona norte.

El límite final del Yen contara con una extensión de 285 m de largo 130 m en la zona más ancha y una profundidad de 70 m.

Se tiene proyectado ejecutar sondajes diamantinos en profundidad entre los niveles (Nv 4600 – Nv 4400), con la finalidad de confirmar la mineralización como justificación para seguir profundizando.

También se tiene proyectado sondaje en la zona N, para ver la continuidad de la veta Tapada.

Ciclo de minado:

En el Pit Yen, se tiene 4 operaciones unitarias fundamentales para el logro de la extracción del mineral, iniciamos con la perforación, voladura, carguío y transporte. Para definir la flota de equipos se estimaron las horas anuales de trabajo que se requiere por cada actividad en función de la eficiencia conocida de cada equipo.

Perforación:

Los trabajos de perforación y voladura tienen por objetivo garantizar el abastecimiento de mineral y desmonte disparado en forma sostenida para su extracción, acorde con el plan de minado establecido, garantizando homogeneidad y buena fragmentación del material. La capacidad productiva de estas 2 perforadoras cubre los requerimientos de la producción planificada, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9

Equipos de Perforación

CANT.	MARCA	MODELO	OBSERVACIÓN
1	SOOSAN	STD11E	Diámetro 4"
1	ATLAS COPCO	ECM-590	Diámetro 4"

Fuente: Propia

Voladura:

Para un buen control de la voladura, se necesita cuantificar y controlar algunas variables, permitiendo esto obtener una buena fragmentación.

- Variables No Controlables:
 - Características geomecánicas del macizo rocoso.
 - Geología local, regional y estructural.
 - Hidrología y condiciones climatológicas.
- Variables Controlables:
 - Geométricas (burden, espaciamiento, diámetro, longitud).
 - Fisicoquímicas (densidad, VOD, volumen de la mezcla).
 - De tiempo (retardos y secuencias).
 - Operativos (experiencia, fragmentación requerida).

La voladura en bancos de 5 m de altura, con un burden de 2.5 m y espaciamiento de 3 m para zonas de mineral y burden de 3 m y espaciamiento de 3.5 m para zonas de desmonte, explosivos a utilizar son: Explosivo tipo ANFO, Emulsión, como iniciador de la carga se utilizará booster de ½ Lb. y para el amarre de las troncales y de columna de carga se utilizará cordón detonante de 5 gr, retardos en superficie y mecha lenta con fulminante para iniciar la voladura.

Después de cada voladura es necesaria la evaluación de la zona minada para proceder la limpieza del mineral. Esta actividad se llevará a cabo con personal especializado.

Limpieza, Acarreo y Transporte de Mineral:

La limpieza y acarreo de mineral se llevará a cabo con los equipos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 10

Equipos de carguío y acarreo

CANT.	EQUIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD
1	Excavadora	CAT	336	2 m3
5	Volquete	VOLVO	FM 480 4X8	20 m3

Fuente: Propia

Servicios:

Los equipos de servicios como las líneas amarillas requeridas para el plan de minado se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 11

Equipos de servicios

CANT.	EQUIPO
1	Motoniveladora MN-02
1	Cargador Frontal 890 H
1	Luminarias
1	Tractor
1	Cisterna

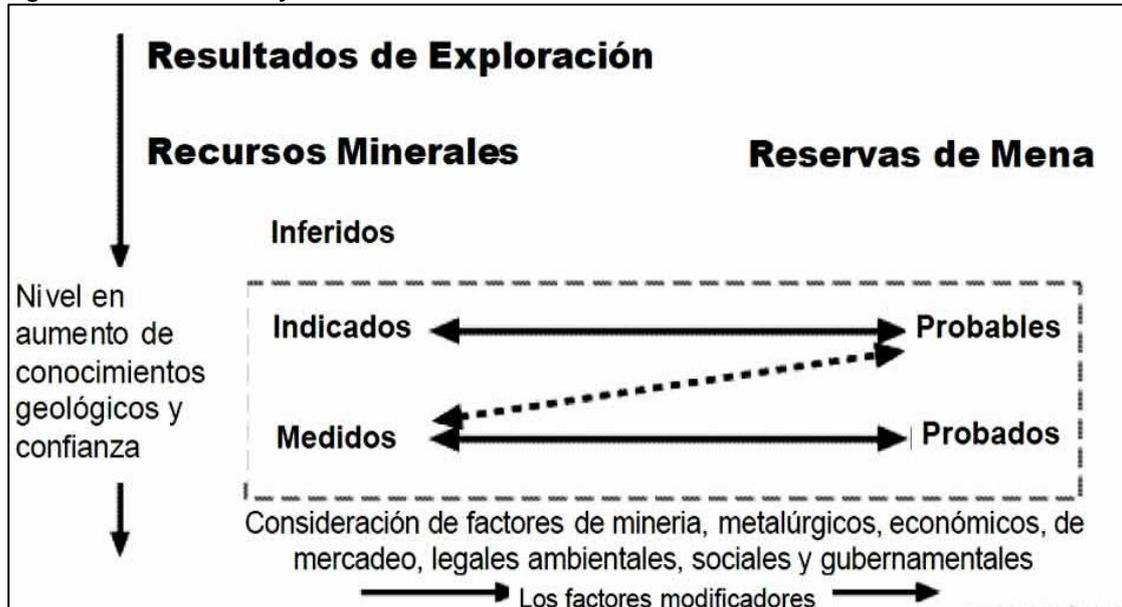
Fuente: Propia

2.1.13. Clasificación de recursos y reservas

En noviembre de 1999 el Grupo CMMI y la comisión de Naciones Unidas con pequeñas e insignificantes diferencias entre los países, los siguientes términos han sido aceptados, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 11

Diagrama de recursos y reservas minerales



Fuente: JORC Code

Recursos minerales: Es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la Tierra en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden ascendente de la confianza geológica, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

Recurso Mineral Inferido: Es aquella parte de un Recurso Mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume, pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de

localizaciones como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

Recurso Mineral Indicado: Es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como pueden ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar la continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad.

Recurso Mineral Medido: Es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en la exploración detallada e información confiable sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley.

Reserva Mineral: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen la consideración de modificaciones por factores razonablemente asumidos de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran en la fecha en que se reporta que podría justificarse razonablemente la extracción. Las Reservas de Mena se subdividen en orden creciente de confianza en Reservas Probables Minerales y Reservas Probadas Minerales.

Reserva Mineral Probable: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de factores modificadores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran a la fecha en que se presenta el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente.

Reserva Mineral Probada: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de modificaciones por factores fehacientemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran, a la fecha en que se publica el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente.

2.1.14. Categorización de recursos

La definición de las categorías de recursos, utilizadas en el modelo de bloques recibido de Geología, es consistente con las definidas por CIM (2014) y adoptadas por NI 43-101. En la clasificación, un recurso mineral se define como "una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico, de tal forma, cantidad y calidad que existe una apreciación razonable de su potencial técnico-económico". La ubicación, el tonelaje, los contenidos, las características geológicas y el grado de continuidad de la mineralización se estiman, conocen o interpretan a partir de la evidencia geológica.

La clasificación de los recursos minerales se basa en el rango del variograma, el número de perforaciones y la distancia a la muestra más cercana.

En la Tabla 12, se muestran los criterios utilizados para la clasificación de los recursos y en la Figura 12 el cuadro CPP para determinar la distancia al compósito más cercano.

Tabla 12

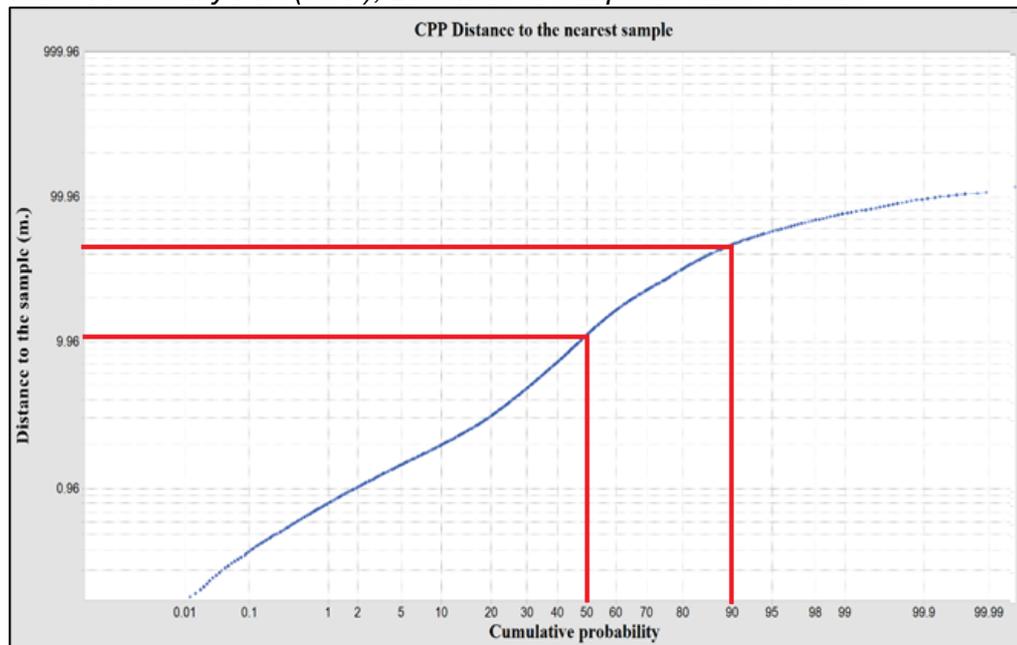
Parámetros de clasificación de recursos

Categoría	Search		Distancia		Número de DDH	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Certeza	1	3	0	15	3	20
Medido	1	3	15	45	2	20
Indicado	1	3	0	15	2	2
Inferido	1	3	45	500	1	20
Inferido	1	3	0	45	1	1
Inferido	4	4	0	500	1	20

Fuente: Compañía Minera Kolpa

Figura.12.

Cumulative Probability Plot (CPP), Distancia al compósito más cercano



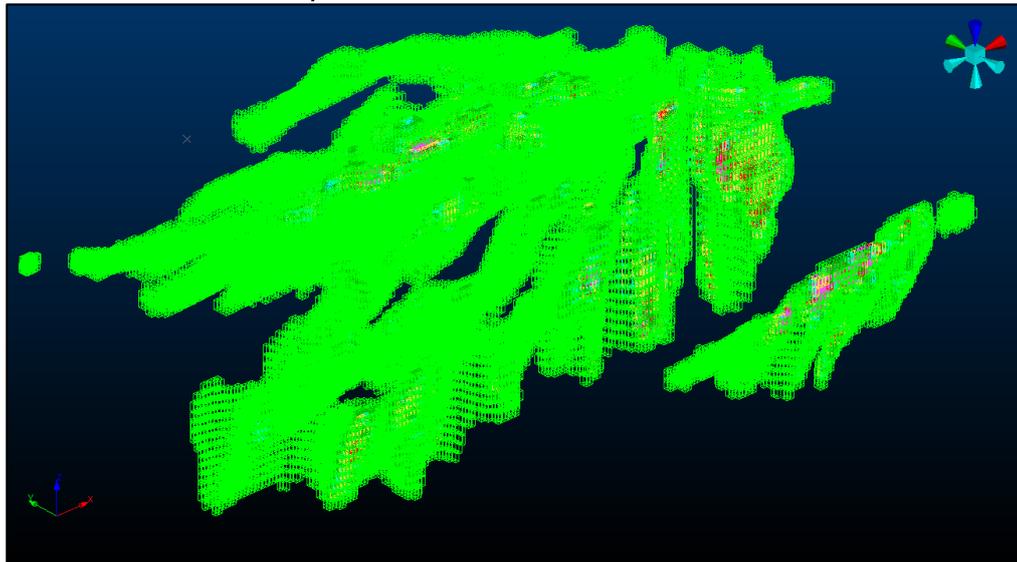
Fuente: Compañía Minera Kolpa

2.1.15. Modelo de bloques

Un modelo de bloques, figura 13, es una representación de un cuerpo de mineral que se puede considerar como un conjunto de cubos generados por computadora que representan pequeños volúmenes de roca en un depósito (mineral y estéril). Cada bloque, contiene estimaciones de datos, como ley, la densidad y otros valores geológicos o de ingeniería.

Figura 13

Imagen de un modelo de bloques

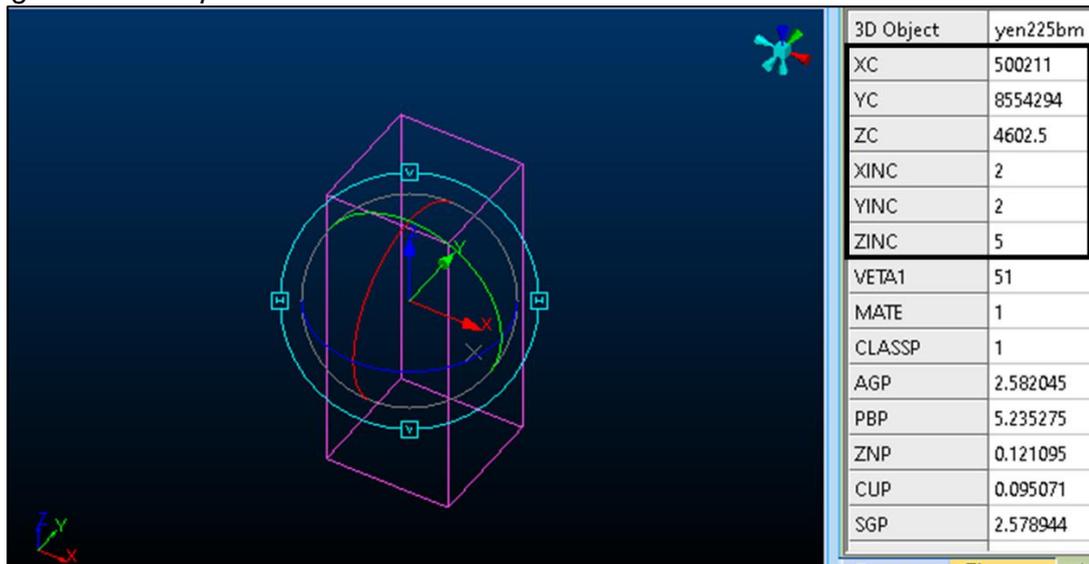


Fuente: Propia

El bloque define la región dentro de la cual se encuentran las celdas del modelo. Requiere un origen, una distancia para cada eje y un ángulo de rotación. Dentro de este marco de trabajo son bloques individuales, todos con una longitud designada (Xinc), ancho (Yinc) y altura (Zinc). La posición del bloque puede ser definida por un centroide (Xc, Yc, Zc) o un origen de bloque (Xmin, Ymin, Zmin) como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14

Imagen de un bloque



Fuente: Propia

La discretización del espacio 3D en bloques o celdas tridimensionales. Deben ser definidos con los siguientes parámetros:

- Posición del modelo.
- Extensión del modelo.
- Dimensiones de los bloques.
- Orientación del modelo definido.
- Conjunto de variables a almacenar.

Con respecto a las dimensiones del bloque, el tamaño debe coincidir con la unidad de selección minera. No se cuenta con la densidad suficiente de información. Al disminuir el tamaño del bloque, se aumenta el error de estimación. Al aumentar el tamaño del bloque, las leyes son emparejadas artificialmente. Las dimensiones del modelo de bloques dependen de:

- Variabilidad de leyes.
- Continuidad geológica.
- Tamaño de muestras y espaciamiento.
- Capacidad de los equipos mineros.
- Taludes de diseño de la explotación.
- Límites del ordenador.

Cada bloque debe contener toda la información disponible en las fases de desarrollo de un proyecto litología mineralogía, contenidos de metales, calidades en el caso del carbón y rocas industriales, contenidos de contaminantes, parámetros geomecánicos, datos hidrogeológicos, etc.

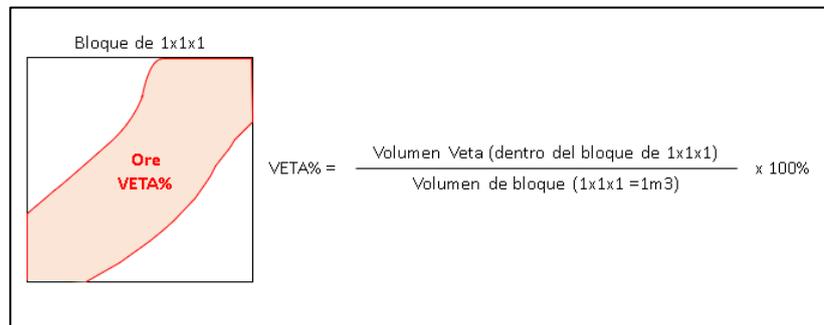
Los modelos de bloques determinan los recursos geológicos de un yacimiento, luego del análisis económico se determinan las reservas. Estas reservas son importantes para el diseño de los Pit finales de la mina.

2.1.16. Veta%

Dentro del modelo de bloques recibido, de dimensiones de 1x1x1 de cada bloque, se tiene el item VETA% el cual es un valor que representa el porcentaje volumétrico de la veta que está dentro de cada bloque. Ese item es diferente para cada bloque y depende del volumen de veta que contenga cada bloque, y este item fue calculado por Geología usando el software MinePlan 14.6, el cual utiliza la simulación Montecarlo en temas de cálculos volumétricos en general.

Figura 15

Item VETA%



Fuente: Propia

2.1.17. Net Smelter Return (NSR)

El Net Smelter Return (NSR) se define como el valor de los concentrados de mineral que son producidos en una mina, menos el costo de fundición y perdidas, costo de refinería y los costos del transporte y se utiliza para verificar la cantidad exacta de producto que se produce y se vende entre los pagos de regalías.

Según Javier Pelares O. (2011). Se considera el concepto de valor NSR (Net Smelting Return). En base al modelo de Pit optimo y considerando el diseño de minado operativo (el cual considera parámetros geo mecánicos y de la operación minera) y los niveles de producción definidos, se ha proyectado el Plan de Producción Minero (Plan de extracción de Mineral y Desmante).

Valor del mineral unitario (NSR): En principio, el valor del mineral unitario sería:

$$\text{Valor del mineral} = \text{ley} * \text{precio}$$

Sin embargo, la ley sufre pérdidas en los diferentes procesos mineros y el precio para mineral es refinado. Entonces la fórmula real corregida sería:

$$\text{Valor del mineral} = (\text{ley} * f) * (\text{precio} - T)$$

Donde:

f: pérdidas mineras y metalúrgicas hasta llegar a refinados.

T: deducción del precio, (en caso de no ser refinado), llamado también maquilla.

Para el caso de este trabajo, se utiliza un valor de mineral punto (NSR punto), el cual se conceptualiza como el valor de mineral (US\$/Tn) por unidad de ley de metal (por ejemplo: %). Este valor sirve, en este caso al ser un yacimiento polimetálico, para poder tener el valor en de cada bloque en US\$/Tn. En este caso el NSR, se calcula de manera más detallada, pero con el mismo concepto descrito, utilizando los parámetros del contrato de venta, que se verá más adelante.

2.1.18. Técnicas para calcular el límite final

El diseño final de un Pit se basa en un criterio económico con el fin de no comprometer la viabilidad económica de la explotación, debido a que los yacimientos tienen leyes cada vez más bajas.

Aquí explicaremos los dos tipos de algoritmos más usados:

- Heurística: Cono flotante.
- Rigurosos: Aquellos cuya optimización tiene una demostración matemática. El más conocido es el Lerch Grossman.

Los datos tomados a continuación no son necesariamente reales, consisten en una recreación para la explicación.

Cono flotante (CF):

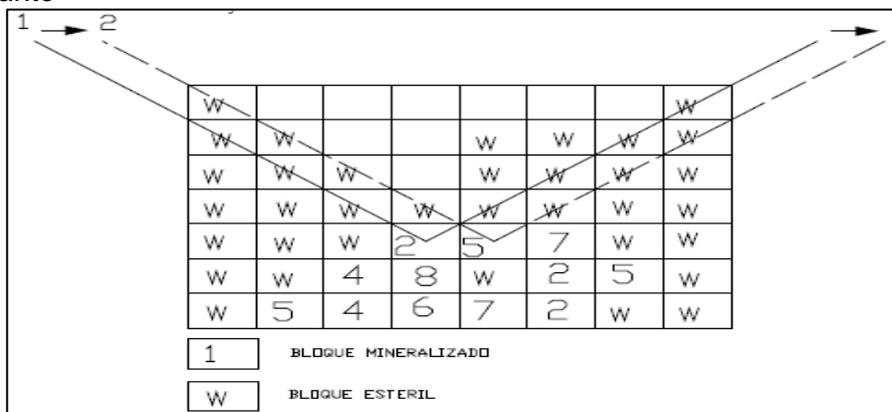
Consiste en la evolución económica de los bloques mineralizados y estéril que caen dentro de un cono invertido el mismo que se mueve sistemáticamente a través de una matriz de bloques. El vértice estará en el centro de los bloques. La idea fundamental es que los beneficios netos deben superar los gastos.

Los conos individuales no pueden ser económicos, pero cuando se superponen con uno o dos conos existe una parte de bloques estériles que es compartida por diversos conos, lo que hace que genere un nuevo estatus económico.

Se inicia con la ley de los bloques. Se establece una ley mínima de explotación, fijando un ángulo de talud (45°). El primer Cono se coloca en el primer bloque económico, empieza de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha de la matriz de bloques como se muestra en la siguiente figura.

Figura 16

Cono Flotante



Fuente: Propia

Considera las siguientes variables:

- Beneficio.
- Precio de venta de metal
- Recuperación metalúrgica.
- Ley media.
- Numero de bloques de mineral.
- Costo de extracción y transporte de mineral US \$/tm
- Costo de procesar US \$/tm
- Costo de extracción y transporte de desmonte US \$/tm
- Numero de bloques de desmonte.
- Volumen de bloques.
- Densidad de mineral y desmonte.

Considerando que, para un beneficio positivo del ejercicio de un cono, todos los bloques incluidos dentro del cono se marcan y se quitan de esta forma se creara una nueva superficie, si el beneficio fuera negativo esta queda como está y el vértice del siguiente cono se trasladaría al segundo bloque.

Existen dos problemas que se presenta:

- Los bloques se analizan individualmente, un solo bloque no puede justificar la extracción del recubrimiento presente, pero con la combinación de estos bloques con otros que se solapan pueden generar valores positivos (problema de soporte mutuo).
- Al incluir bloques sin beneficio en el diseño final, esto reduciría el valor neto de la explotación.

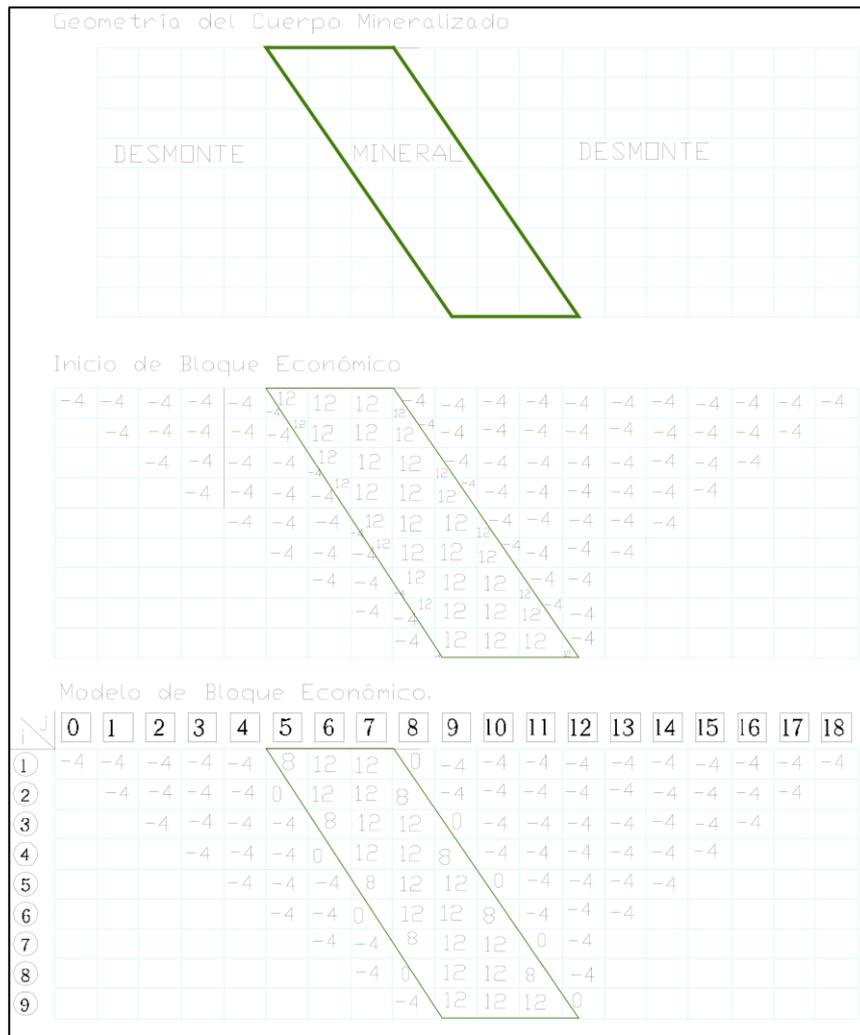
Debido a estas dos desventajas no se usa solamente este método en la obtención del límite final.

Lerch Grossman (LG):

Obteniendo la matriz de bloques con leyes de cada uno de ellos, partimos de una sección en la que se representaría para cada bloque los beneficios por su explotación, pudiendo ser otro el parámetro de optimización como el contenido metálico o equivalente metálico. En la siguiente figura se muestra.

Figura 17

Lerch Grossman



Fuente: Propia

Este paso similar a la aplicación de una estricta ley mínima de corte, los bloques por debajo de esta serían enviados a la escombrera.

Acumulándose los valores por columnas de arriba y de izquierda. Denominándose valores Lerch Grossman (M_{ij}) denota el valor el valor del bloque para una fila i y una columna j como se muestra en la siguiente figura.

La ecuación del siguiente proceso es la siguiente:

$$M_{ij} = \sum_{K=1}^i m_{kj}$$

Figura 18

Matriz de bloques de la suma acumulativa

i \ j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2	-8	-8	-8	-8	-8	8	24	24	8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
3	-12	-12	-12	-12	-12	4	32	36	20	-8	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
4	-16	-16	-16	-16	-16	0	32	48	32	0	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16
5					-20	-4	28	56	44	12	16	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
6						-8	24	56	56	24	-8	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24
7							20	52	64	36	4	-24	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
8								16	48	64	48	16	-16	-32	-32	-32	-32	-32	-32
9									12	44	60	56	28	-4	-32	-32	-32	-32	-32

Fuente: Propia

Posteriormente calculamos el valor P_{ij} para cada bloque de arriba abajo y de izquierda a derecha, utilizando la siguiente formula:

$$P_{ij} = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ M_{ij} + \text{m\u00e1ximo}(P_{i+r, j-1}) & i \neq 0 \end{cases}$$

Asignando a r el valor de -1, 0, +1.

Empezando por bloque (1,1) de arriba a la mano izquierda la fila 0, fila 1, fila 2 de la misma columna 0, son examinados. De los tres se elige el bloque de numeraci\u00f3n mayor. Este es el caso de bloque (0,0) de valor 0. Se sustituye del valor del bloque (0,0) por la suma del bloque (0,0) y (1,1); es decir, $0+(-4)$ y una flecha se dibuja entre el bloque (1,1) y el (0,0) como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 19

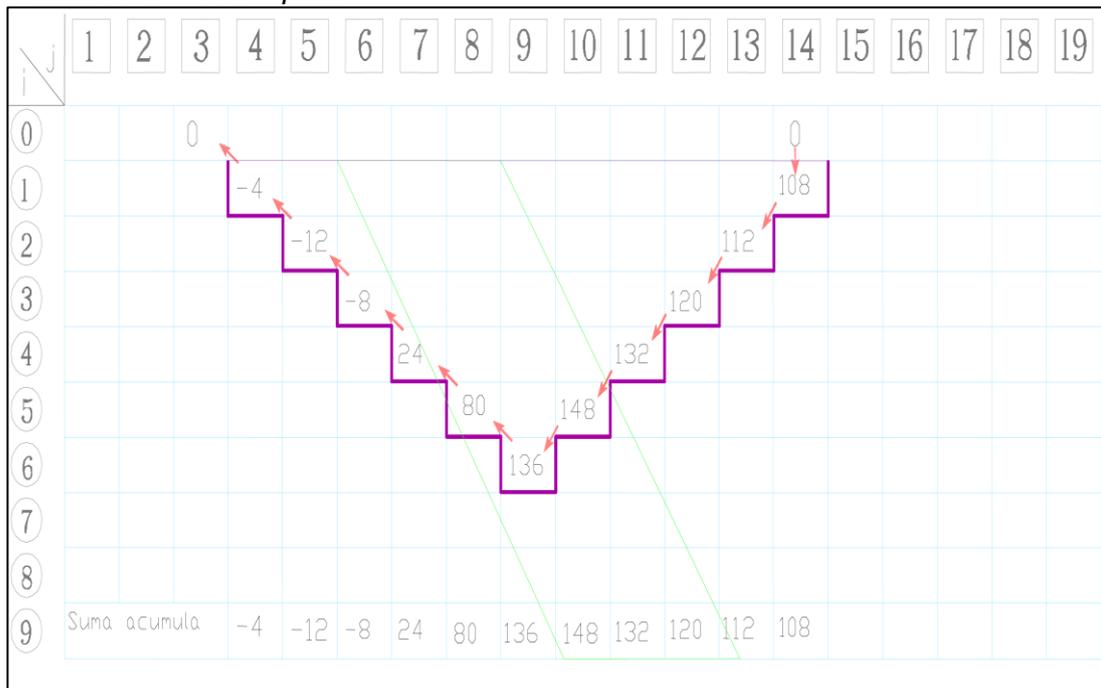
Proceso de valor P_{ij}

	0	1		0	1		0	1		0	1
0	0	0		0			0			0	0
1	-4	-4		-4	-4		-4	-4		-4	$-4+0$
2	-8	-8		-8			-8			-8	-8
3	-12	-12									

Fuente: Propia

Figura 20

Determinación del Pit Optimo



Fuente: Propia

Se obtendría como Valor Neto $108 \times \$ 1,000 = \$ 108,000$

2.1.19. Parámetros de diseño

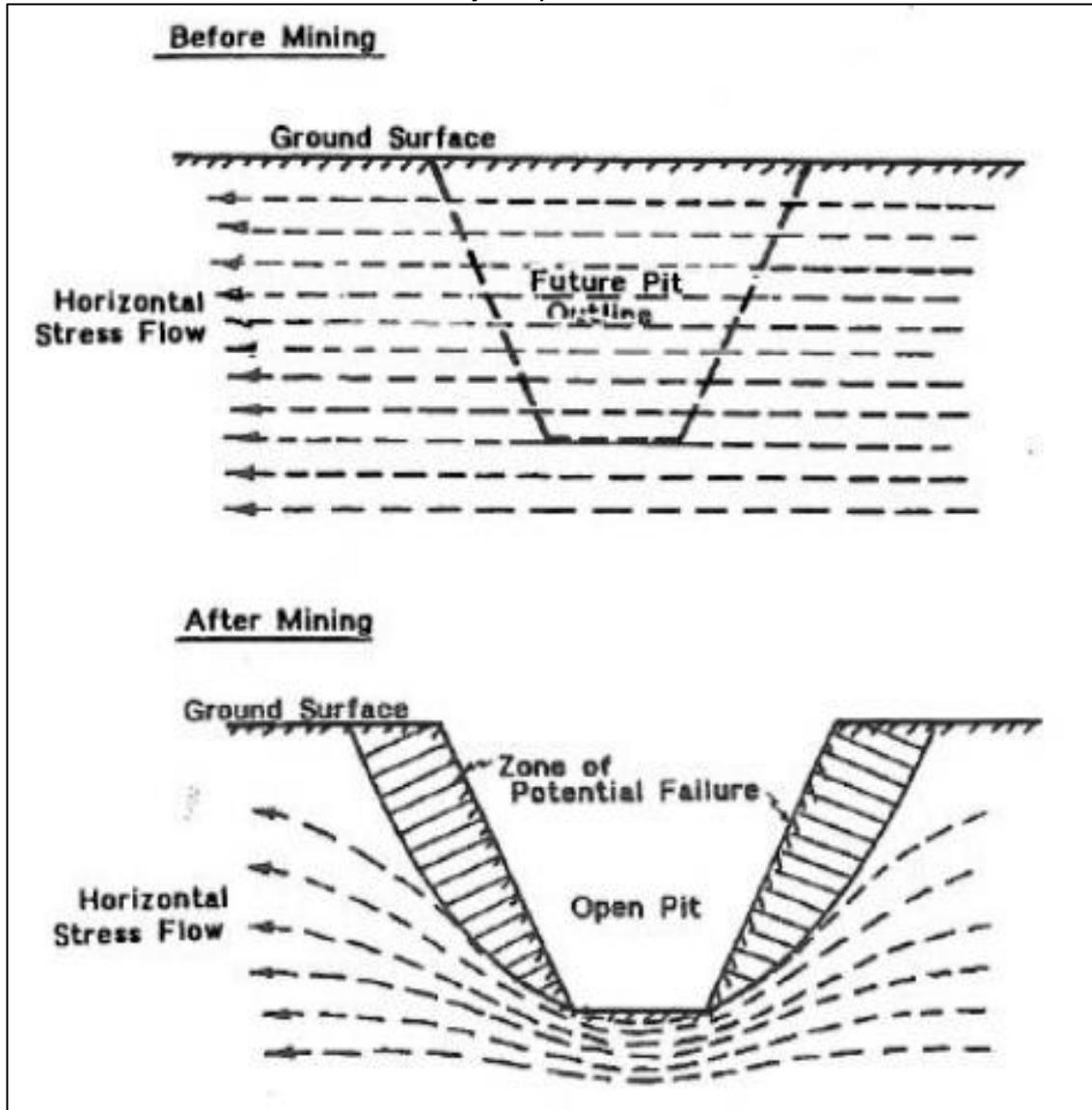
Los parámetros que se utilizan en el diseño de una mina a tajo abierto son:

Ángulo final del Pit:

El ángulo final del Pit depende de varias consideraciones sin embargo la mayor es la estabilidad a largo plazo de los taludes. Económicamente el ángulo final debería ser el más empinado posible para extraer todas las reservas minerales con un menor material estéril como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21

Distribución esfuerzos en un Pit antes y después de la excavación.



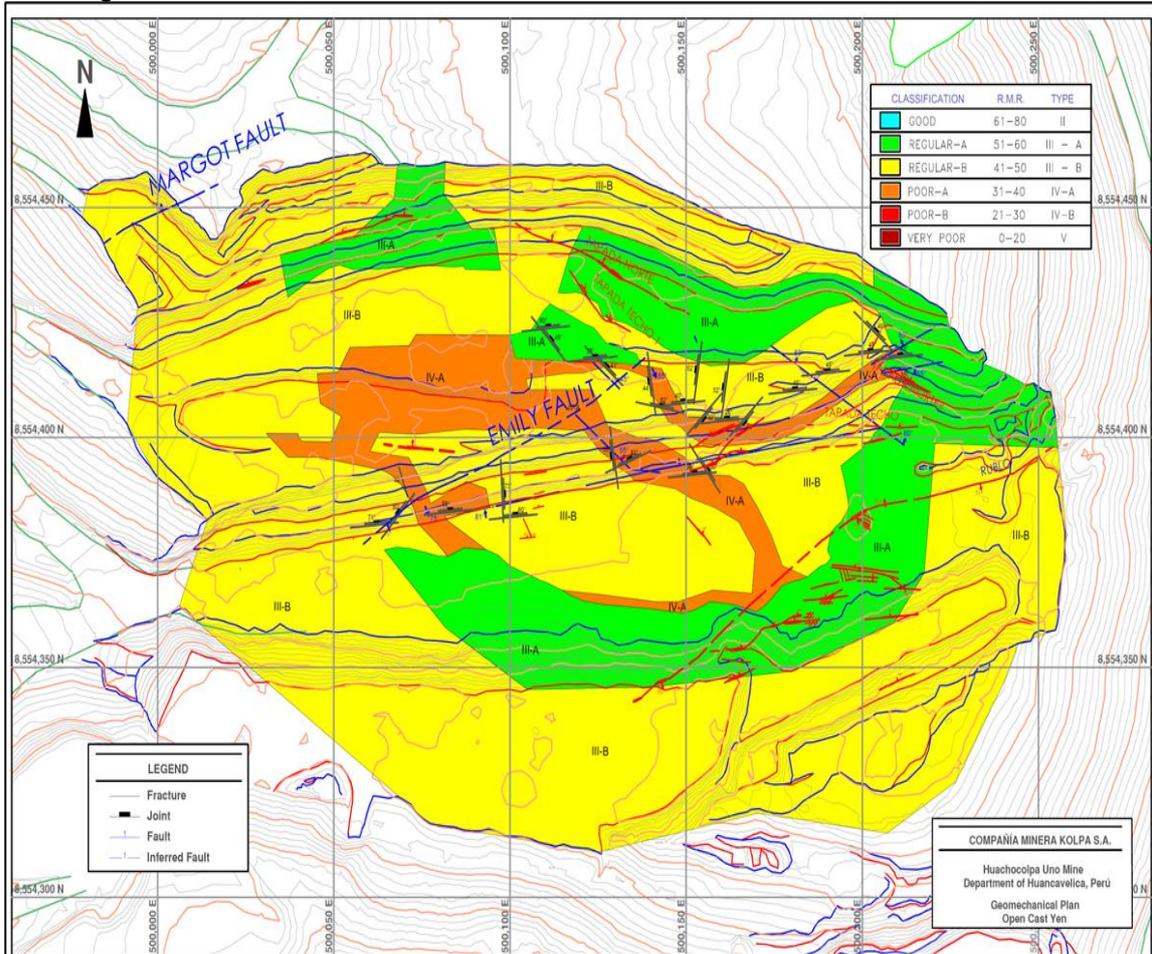
Fuente: Open pit mine planning and design

Modelo Geotécnico:

Se le asigna atributos del ángulo de talud final de acuerdo al comportamiento geotécnico de cada dominio geomecánico como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22

Modelo geotécnico



Fuente: Compañía Minera Kolpa

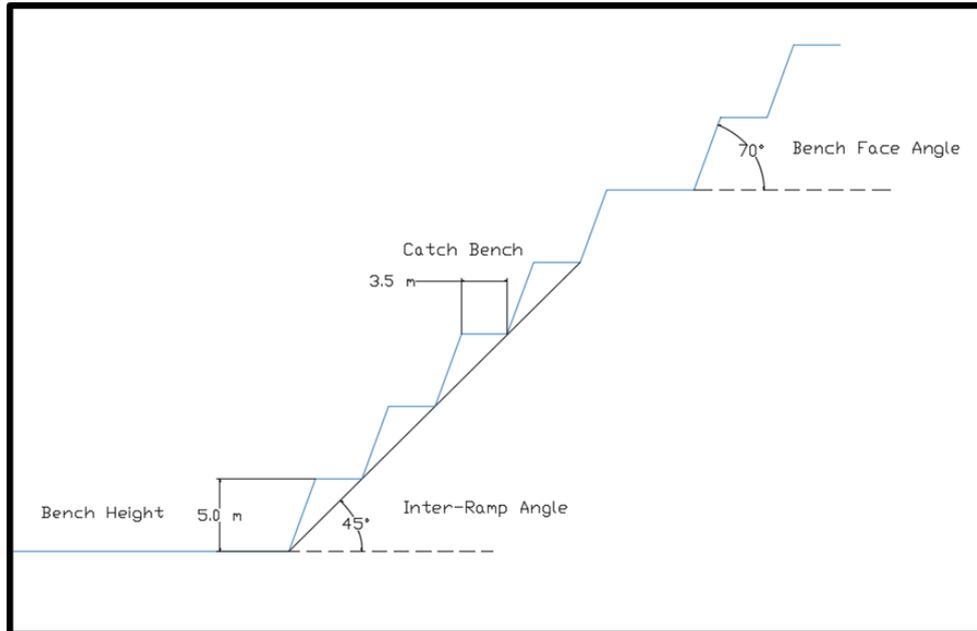
Partes de talud minero:

El talud de un Pit tiene los siguientes componentes y se muestran en la figura 21:

- Altura de banco.
- Ancho de berma.
- Angulo cara de banco (Bench Face Angle).
- Angulo interrampa (Inter-Ramp Angle).
- Angulo global de talud (Overall Angle).

Figura 23

Partes de un talud minero



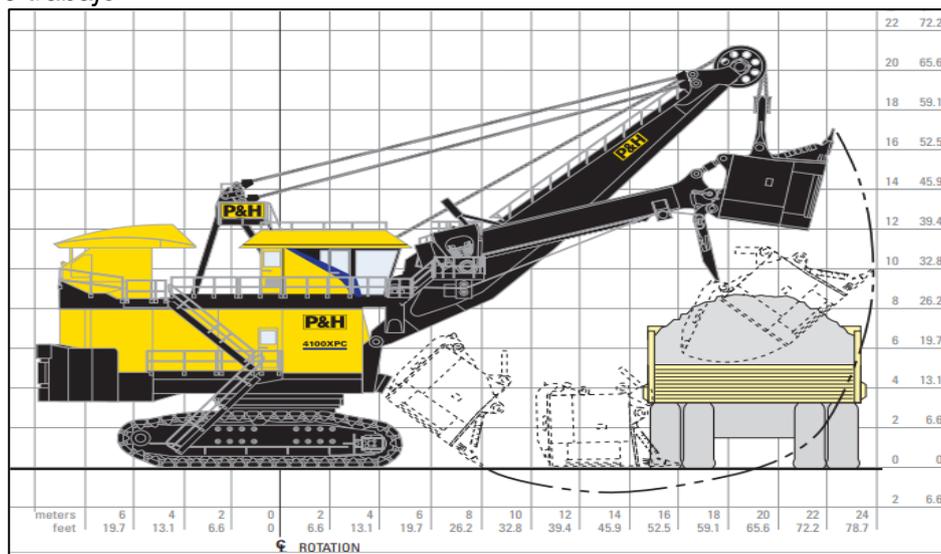
Fuente: Compañía Minera Kolpa

Banco de trabajo:

La determinación del alto y ancho del banco de trabajo en función al equipo de carga. Y debe tener un mínimo para que las operaciones unitarias que se realizan puedan desarrollarse de manera adecuada a las dimensiones de los quipos involucrados como se muestra en la siguiente figura.

Figura 24

Banco de trabajo



Fuente: Manual Komatsu. 2020.

Geometría de la pendiente final del talud:

La pendiente final del talud es ángulo (\emptyset) formado entre la cresta del primer banco y el toe del último banco explotado.

$$\emptyset = \tan^{-1}\left[\frac{nh}{(n-1)Sp + \left(\frac{nh}{\tan\alpha}\right)} \right]$$

Donde:

- n: número de bancos.
- h: altura de banco.
- Sp: ancho de banco.
- α : ángulo del banco.

Ángulo interrampa (IRA):

En el caso que se coloque una rampa de ancho (Wr) en la cara del talud, el ángulo (\emptyset) cambia y se debería calcular como:

$$\emptyset = \tan^{-1}\left[\frac{nh}{(n-1)Sp + \left(\frac{nh}{\tan\alpha}\right) + Wr} \right]$$

Sin embargo, se debe mantener el ángulo inicial por lo que se debe evaluar como una interrampa es decir $IR1=IR2$.

Diseño de rampas espirales dentro de la pared del Tajo:

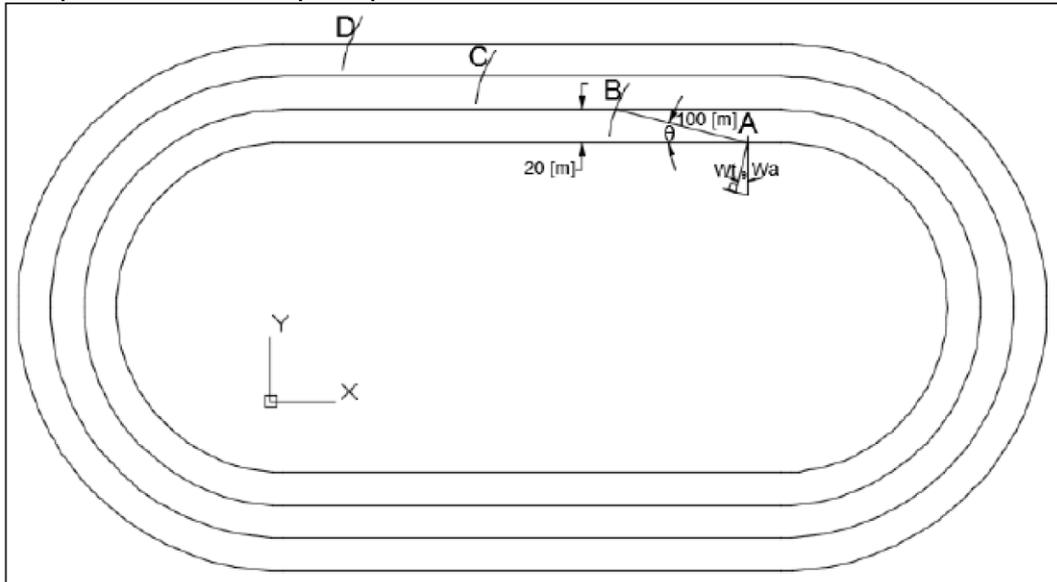
Se comienza en el fondo del Pit. El punto donde la rampa cumple la primera línea de cresta es A. La distancia (D) depende de la gradiente (G en %) y la altura del banco (h) y se calculan:

$$D=100h/G$$

Se marcan estas D, manteniendo las distancias entre crestas (dc) como se muestra en la siguiente figura.

Figura.25

Vista en planta de una rampa espiral



Fuente: Propia

Se trazan ángulos rectos desde cada punto (A, B, C, D), la longitud W se calcula con el ángulo de la rampa β .

$$\beta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{dc}{100}\right)$$

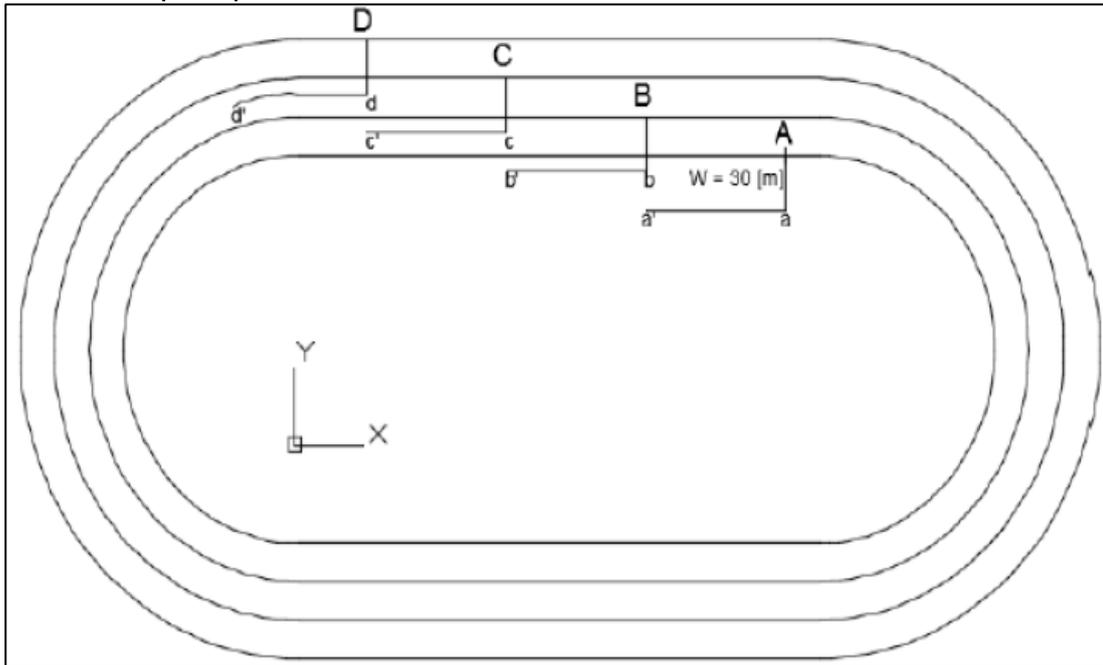
El ancho aparente (W_a), se calcula:

$$W_a = \frac{W_r}{\cos\beta}$$

La línea (a-a') se extiende para lograr la nueva cresta, se hace esto para todas las líneas como se muestra en la siguiente figura.

Figura 26

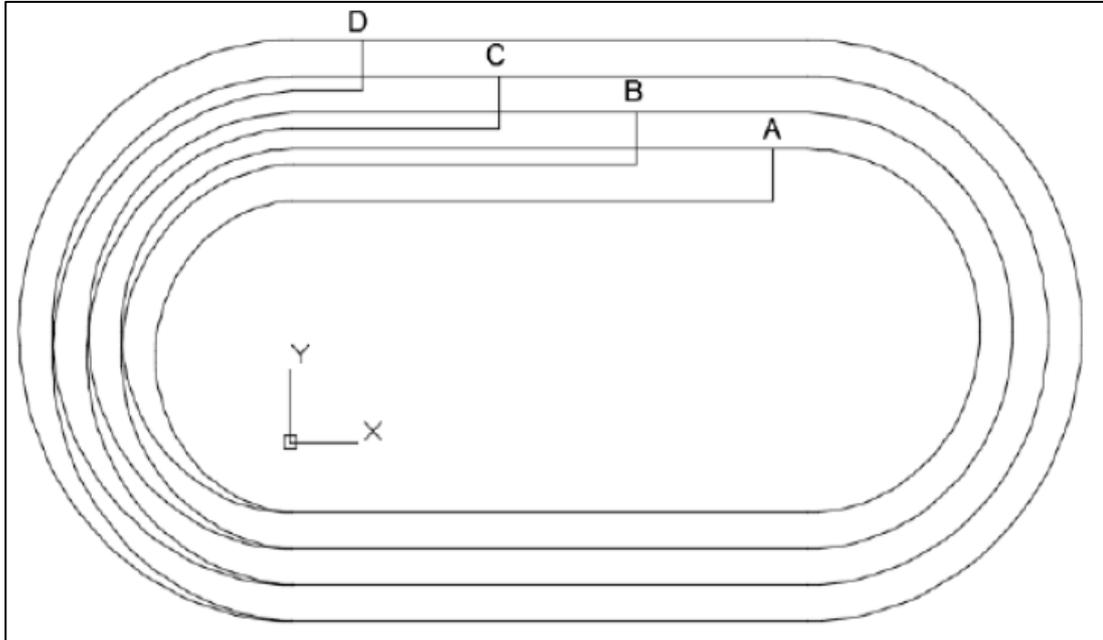
Diseño de rampa espiral. Parte 1.



Fuente: Propia

Figura 27

Diseño de rampa espiral. Parte 2

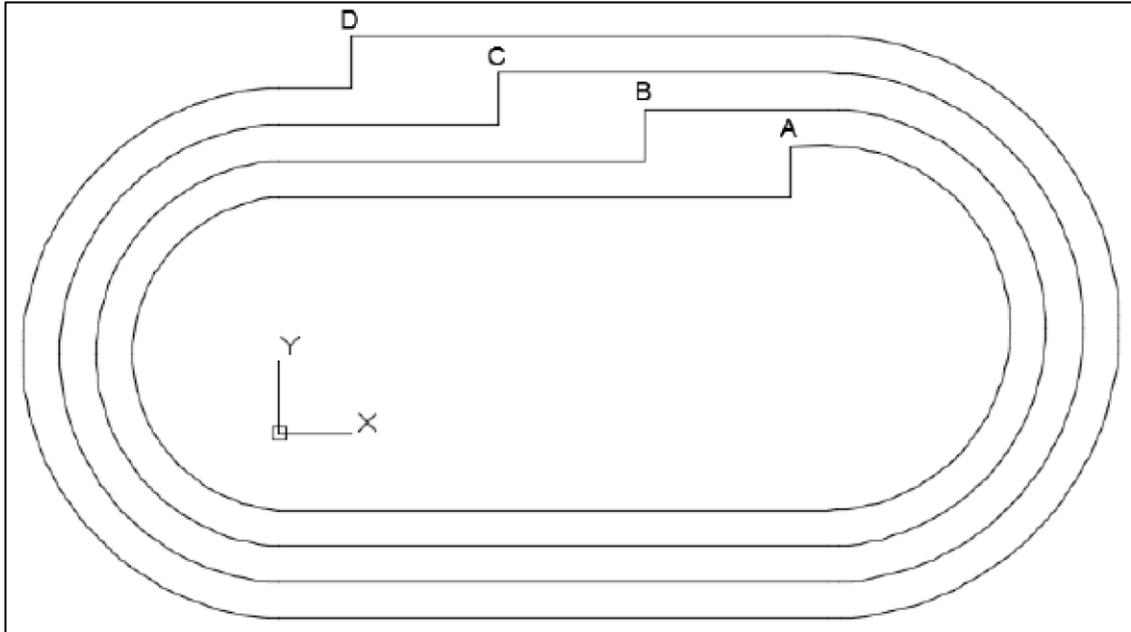


Fuente: Propia

Se remueven las líneas excedentes, y quedan las nuevas crestas con rampa incluida, como se ve en la figura. Luego se dibuja la rampa extendiendo hasta el fondo del tajo el pie de la rampa como se muestra en la siguiente figura.

Figura 28

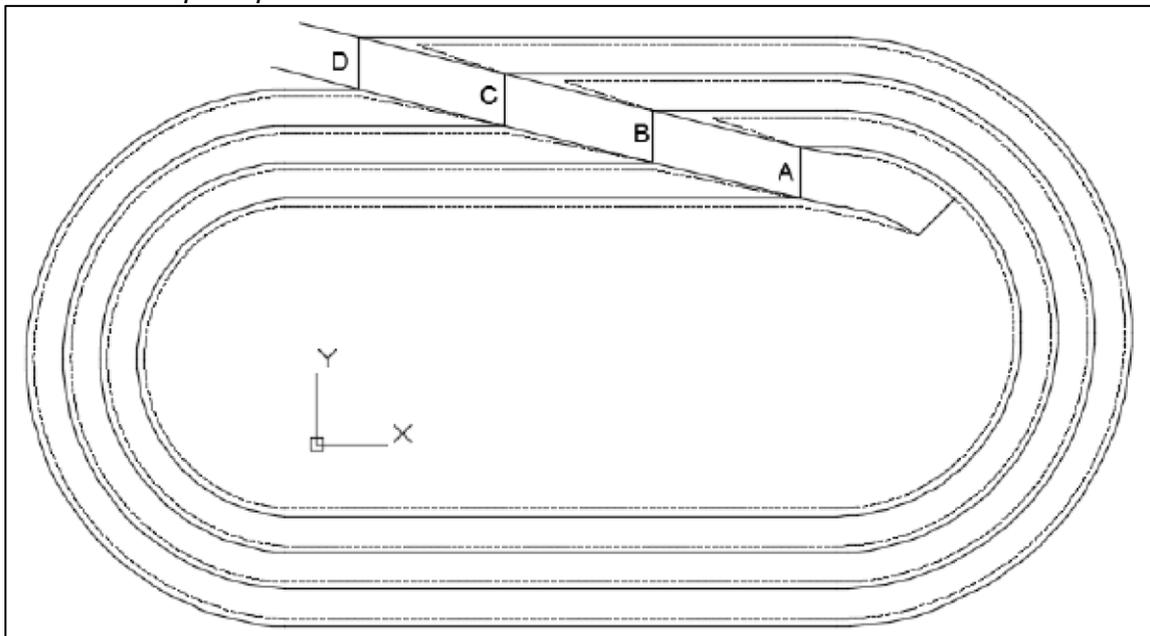
Diseño de rampa espiral. Parte 3.



Fuente: Propia

Figura 29

Diseño de rampa espiral. Parte 4.



Fuente: Propia

2.2. Marco conceptual

Rampa: Trayecto de transporte de camiones que se encuentra dado desde la zona de explotación o excavación hacia la zona superior del tajo.

Modelo: Modelo tridimensional el cual permite representar la información de la realidad de manera virtual para poder trabajarlo adecuando las características que van en relación al sistema de explotación a emplear.

Bloque: Unidad mínima de un modelo tridimensional discretizado que contiene información geológica, minera, económica y que tiene una ubicación en el espacio con dimensiones volumétricas.

Estimación: Un cálculo que se realiza a partir de la evaluación estadística. Dicho estudio suele efectuarse sobre una muestra y no sobre toda la población objetivo.

Reserva: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

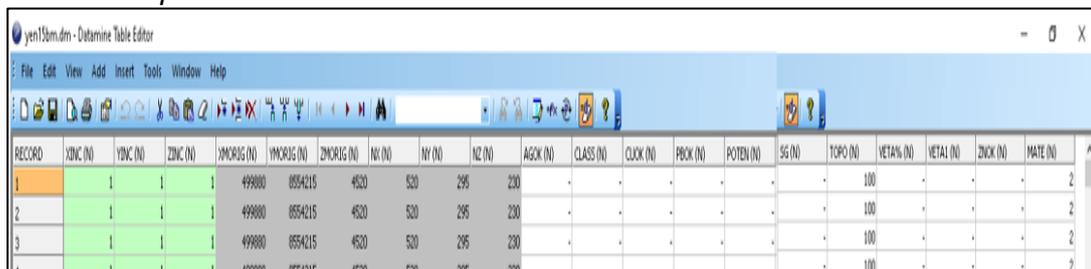
3.1. Parámetros particulares

3.1.1. Modelo de Bloques:

Se tiene un modelo de bloques de dimensiones 1x1x1 proporcionado en estas dimensiones por el área de geología, el cual tiene los siguientes atributos como se muestra en la siguiente figura:

Figura 30

Modelo de bloques 1x1x1



RECORD	XINC (N)	YINC (N)	ZINC (N)	XMORIG (N)	YMORIG (N)	ZMORIG (N)	NX (N)	NY (N)	NZ (N)	AGOK (N)	CLASS (N)	CUOK (N)	PBOK (N)	POTEN (N)	SG (N)	TOPO (N)	VETA% (N)	VETAL (N)	ZICK (N)	MATE (N)
1	1	1	1	499880	8554215	4520	520	295	230								100			2
2	1	1	1	499880	8554215	4520	520	295	230								100			2
3	1	1	1	499880	8554215	4520	520	295	230								100			2
4	1	1	1	499880	8554215	4520	520	295	230								100			2

Fuente: Propia

- XINC: Tamaño de bloque en el eje X.
- YINC: Tamaño de bloque en el eje Y.
- ZINC: Tamaño de bloque en el eje Z.
- XMORIG: Coordenada X del origen del modelo de bloques.
- YMORIG: Coordenada Y del origen del modelo de bloques.
- ZMORIG: Coordenada Z del origen del modelo de bloques.
- NX: Número de bloques en el eje X.
- NY: Número de bloques en el eje Y.
- NZ: Número de bloques en el eje Z.
- AGOK: Ley de Ag de veta (Oz/Tn).
- CLASS: Categoría del bloque (1-Medido, 2-Indicado, 3-Inferido, Absent-Sin valor).
- CUOK: Ley de Cu de veta (%).
- PBOK: Ley de Pb de veta (%).

- POTEN: Potencia de la veta en la ubicación del bloque.
- SG: Densidad de veta(gr/cm³).
- TOPO: Porcentaje (%) de bloque por debajo de la topografía.
- VETA%: Porcentaje (%) del wireframe (solido) de una veta dentro de un bloque.
- VETA1: Código de la veta a la que corresponde el bloque.
- ZNOK: Ley de Zn de veta (%).
- MATE: Código para diferenciar entre veta y caja (1-veta, 2-caja).

Se tiene la particularidad que, al ser un yacimiento compuesto por un grupo de vetas, los atributos de leyes (AGOK, PBOK, ZNOK, CUOK) y densidad (SG) corresponden a la parte de la veta que está dentro del bloque, pero no son atributos del bloque. Por lo que es necesario darles otro valor como se muestra en la Figura 31

Para obtener la ley diluida se debe dividir la cantidad de finos de cada metal (en unidades de masa) entre la masa total de cada bloque de 1x1x1.

Por ejemplo, para el metal AG, se conoce la ley de veta (AGOK), se conoce la densidad de veta (SG), se conoce el porcentaje de veta dentro de cada bloque (VETA%) y se conoce el volumen de cada bloque de 1x1x1 (1 m³), por lo tanto, calculamos los finos de AG:

$$\text{Finos de AG} = \text{AGOK} * (\text{Masa de veta})$$

$$\text{Finos de AG} = \text{AGOK} * (\text{SG} * \text{Volumen de veta})$$

$$\text{Finos de AG} = \text{AGOK} * \text{SG} * (\text{Volumen de bloque} * \text{VETA\%} / 100)$$

$$\text{Finos de AG} = \text{AGOK} * \text{SG} * (1 \text{ m}^3 * \text{VETA\%} / 100)$$

$$\text{Finos de AG} = \text{AGOK} * \text{SG} * \text{VETA\%} / 100$$

También calculamos la masa del bloque de 1x1x1, del cuál se conoce la densidad de veta (SG), la densidad de desmonte (2.56 Tn/m³) y se conoce el porcentaje de veta dentro de cada bloque (VETA%):

$$\text{Masa de bloque} = \text{Masa de veta} + \text{Masa de desmonte}$$

$$\text{Masa de bloque} = \text{SG} * \text{Volumen de veta} + 2.56 * \text{Volumen de desmonte}$$

Masa de bloque = $SG \cdot (\text{Volumen de bloque} \cdot \text{VETA\%/100}) + 2.56 \cdot (1 - \text{VETA\%/100}) \cdot \text{Volumen de bloque}$

Masa de bloque = $SG \cdot (1 \text{ m}^3 \cdot \text{VETA\%} / 100) + 2.56 \cdot (100 - \text{VETA\%}) \cdot (1 \text{ m}^3) / 100$

Masa de bloque = $SG \cdot \text{VETA\%} / 100 + 2.56 \cdot (100 - \text{VETA\%}) / 100$

Masa de bloque = $(\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56) / 100$

Para el metal AG, se tiene una ley diluida AGP:

$AGP = \text{Finos de AG} / \text{Masa de bloque}$

$AGP = (\text{AGOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%} / 100) / ((\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56) / 100)$

$AGP = (\text{AGOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

Ley de Bloque para AG = $AGP = (\text{AGOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

De manera similar se calcula las leyes diluidas para los otros metales CU, PB, ZN, teniendo para cada bloque:

$AGP = (\text{AGOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

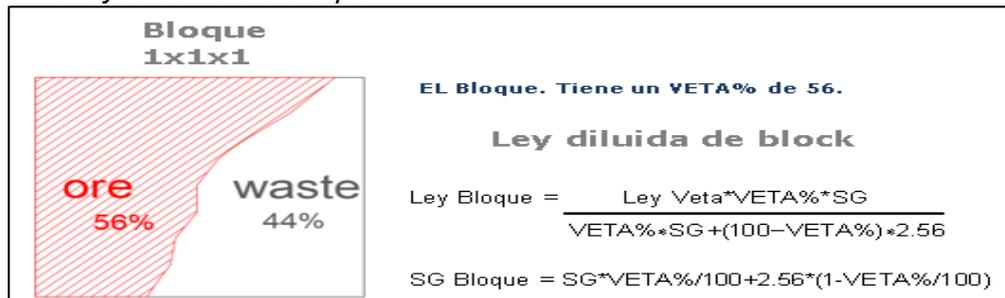
$PBP = (\text{PBOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

$CUP = (\text{CUOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

$ZNP = (\text{ZNOK} \cdot SG \cdot \text{VETA\%}) / (\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56)$

Figura 31

Dilución de leyes de veta a bloque



Fuente: Propia

Estas formulas se introducen en cada bloque del modelo usando el Studio OP, utilizando el comando EXTRA. También, se puede expresar las leyes diluidas en función de un item DIL (dilución), a manera de ejemplo:

$DIL = \text{Masa de bloque} / \text{Masa de Veta}$

$DIL = ((\text{VETA\%} \cdot SG + (100 - \text{VETA\%}) \cdot 2.56) / 100) / (SG \cdot \text{VETA\%} / 100)$

$$DIL = (VETA\% * SG + (100 - VETA\%) * 2.56) / (SG * VETA\%)$$

Entonces para el metal AG, se puede expresar utilizando el item DIL:

$$AGP = (AGOK * SG * VETA\%) / (VETA\% * SG + (100 - VETA\%) * 2.56)$$

$$AGP = (AGOK) * (SG * VETA\%) / (VETA\% * SG + (100 - VETA\%) * 2.56)$$

$$AGP = (AGOK) * (1 / DIL)$$

$$AGP = AGOK / DIL$$

De manera similar para los otros metales se tendrá:

$$AGP = AGOK / DIL$$

$$PBP = PBOK / DIL$$

$$CUP = CUOK / DIL$$

$$ZNP = ZNOK / DIL$$

Para utilizar el modelo de bloques en el algoritmo Lerch Grossman, lo vamos a rebloquear de 1x1x1 a 2x2x5 y utilizamos los valores de leyes y densidad por bloque anteriormente calculados. Este rebloqueo se puede realizar con un software minero, en el comando REBLOCK de Studio OP como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32

Modelo de bloques 2x2x5

RECORD	XIINC (N)	YIINC (N)	ZIINC (N)	XMORIG (N)	YMORIG (N)	ZMORIG (N)	NX (N)	NY (N)	NZ (N)	VETA1 (N)	MATE (N)	CLASSP (N)	AGP (N)	PBP (N)	ZNP (N)	CLUP (N)	SGP (N)
1	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	2.56
2	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	2.56
3	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	2.56
4	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	2.56

Fuente: Propia

Se le aplicará a cada bloque los valores NSR punto siguientes mostrados en la tabla:

Tabla 13

Valores NSR punto

Metal	Unidad	V.Unitario
Ag	US\$/oz	15.82
Cu	US\$/1%	33.46
Pb	US\$/1%	15.38
Zn	US\$/1%	20.61

Fuente: Propia

Mediante la siguiente formula y aplicado según se muestra en la figura:

$$NSR_2 = 15.82*AGP + 33.26*CUP + 15.38*PBP + 20.61*ZNP$$

Figura 33

Modelo de bloques con NSR

RECORD	XINC (N)	YINC (N)	ZINC (N)	YMCORIG (N)	YMCORIG (N)	ZMCORIG (N)	NX (N)	NY (N)	NZ (N)	VETA1 (N)	MATE (N)	CLASSP (N)	AGP (N)	PBP (N)	ZNP (N)	CUP (N)	SGP (N)	NSR_2	AG1...
60380	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	0	2.56	0
60381	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	44	2	3	0.01630775	0.0262816	0.08823603	0.00518491	2.5658253	2.65466097	
60382	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	44	1	2	0.18406088	0.29549922	0.9057945	0.06058277	2.63432883	28.15659888	
60383	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	44	1	2	0.19321214	0.28454351	0.67230038	0.05670777	2.64656574	23.18996184	
60384	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	44	2	3	0.04845184	0.06110894	0.07186999	0.01062842	2.58190956	3.54371462	
60385	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	0	2.56	0
60386	2	2	5	499880	8554215	4520	261	148	47	0	2	3	0	0	0	0	0	2.56	0

Fuente: Propia

3.2. Selección del pit final

Se procede a introducir los costos correspondientes a los procesos de minado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14

Costos

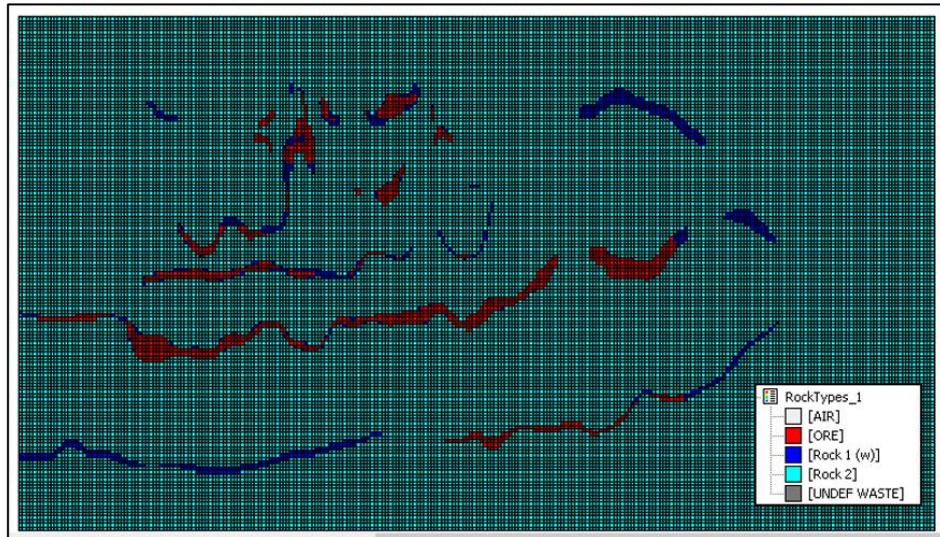
Costo	Unidad	Valor
Costo minado Veta	US\$ / Tn	5.42
Costo minado Caja	US\$ / Tn	2.44
Costo Planta	US\$ / Tn	11.5

Fuente: Propia

Se obtiene 1,459,746 Tn de ORE (MATE=1), 682,229 Tn de WASTE (MATE=1) y 88,197,317 Tn de WASTE (MATE=2)

Figura 34

Sección del modelo de económico – Nv4635



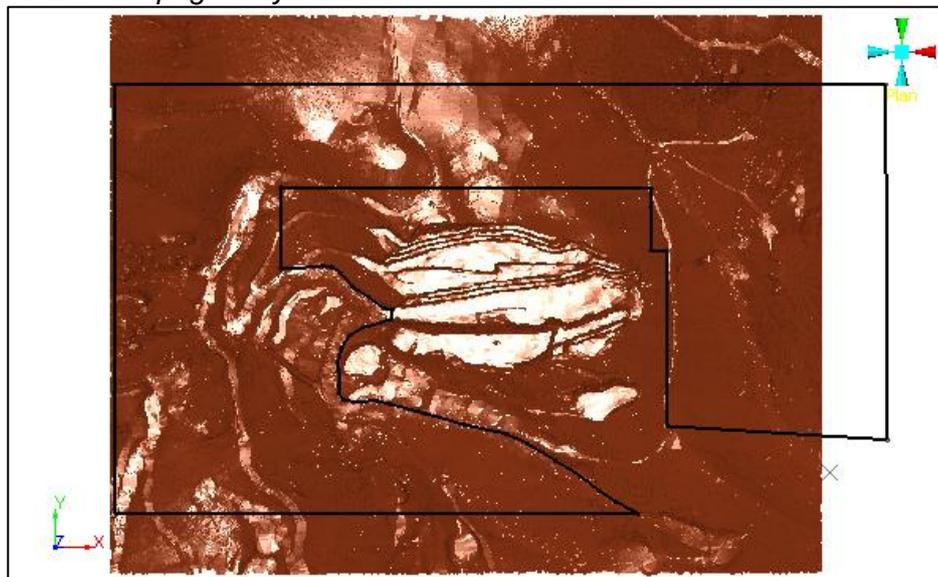
Fuente: Propia

Adicionalmente se define una tasa de retorno anual de 12% y un ratio de producción anual de 120,000 Tn de ORE.

Es importante tener en cuenta la topografía base y los límites de minado. En este caso se utiliza un límite de minado debido a la concesión existente y también debido a que existe una rampa que es salida hacia una carretera por el W los cuales serán límites del pit como se muestra en la siguiente figura.

Figura 35

Vista en Planta – Topografía y Pit Limits

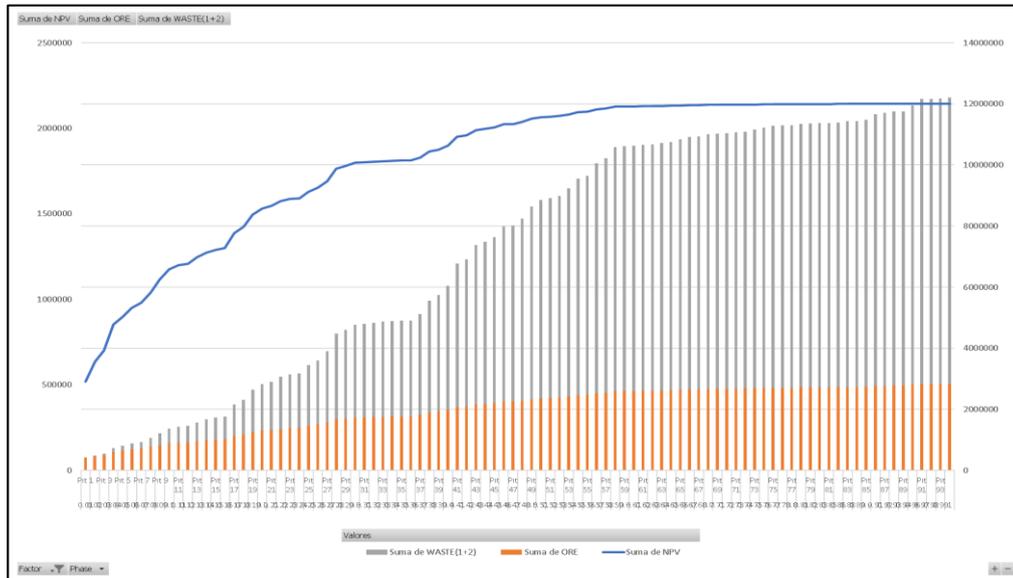


Fuente: Propia

Mediante el uso de un software minero (en este caso NPV Scheduler), se aplica el algoritmo de Lerch Grossman obteniendo el siguiente grafico Pit by Pit como se muestra en la siguiente figura.

Figura 36

Pit by Pit

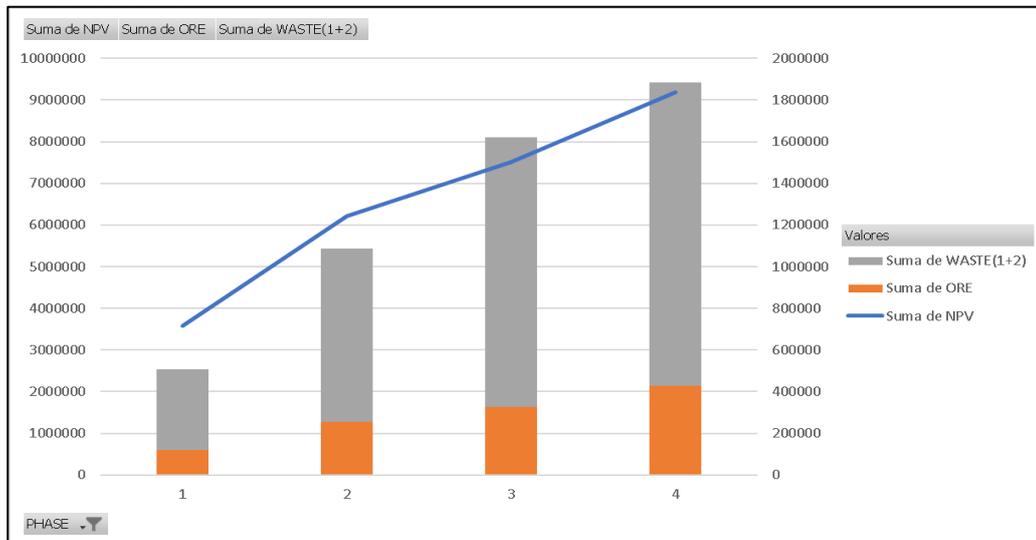


Fuente: Propia

Del gráfico, seleccionamos el Pit75 como pit final, y procedemos a utilizar un ancho mínimo de banco de 15 m, para obtener 4 Pushbacks, para posteriormente realizar el diseño de las fases operativas como se muestra en la siguiente figura.

Figura 37

Pushbacks vs NPV



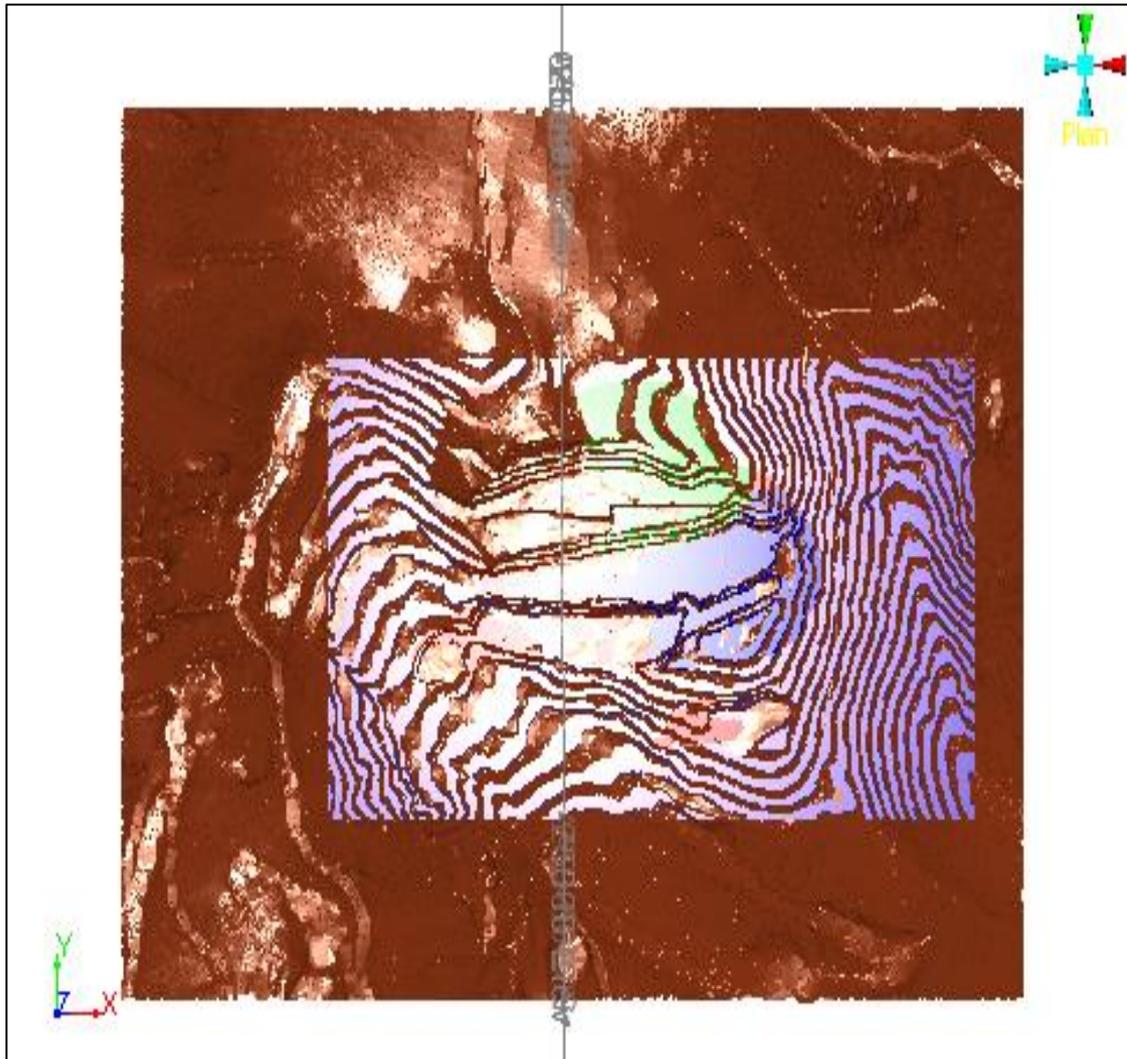
Fuente: Propia

3.3. Diseño de mina

El diseño de Yen, va a partir de los Pushbacks obtenidos previamente. Los Pushbacks se muestran en las siguientes figuras en vistas de planta y en la vista de un corte:

Figura 38

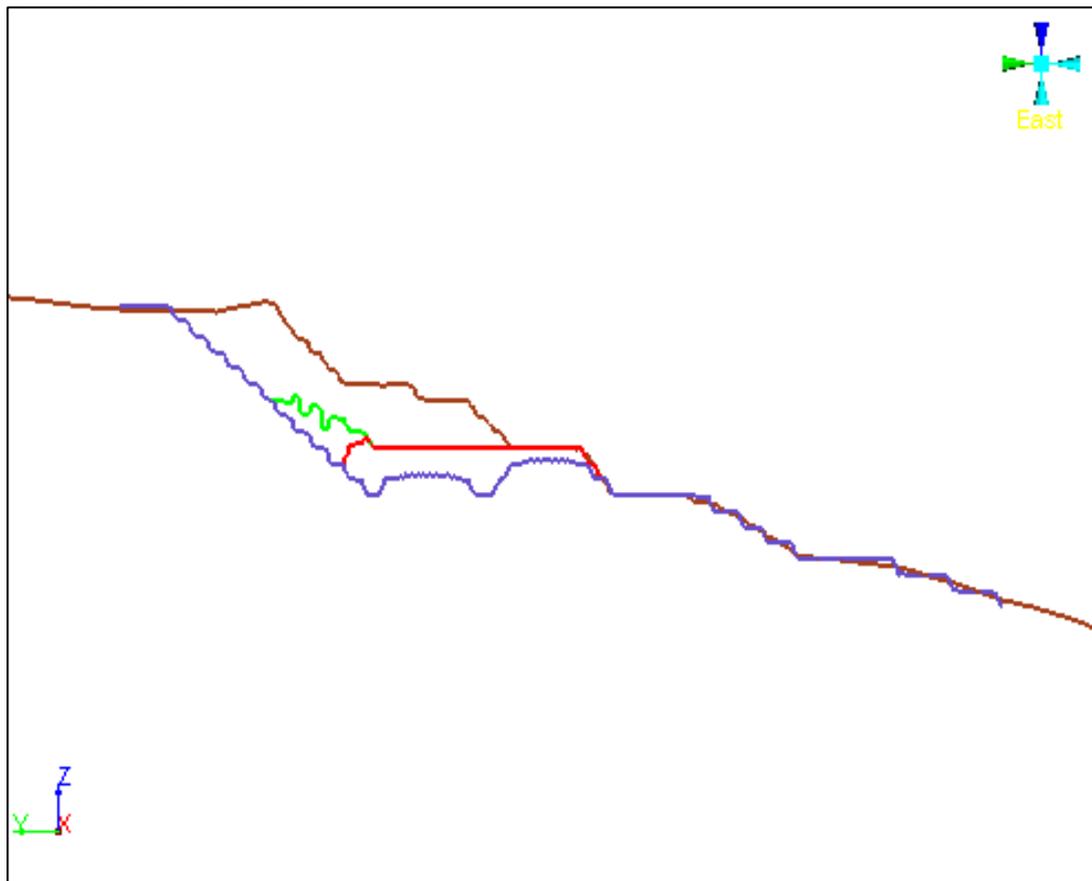
Vista Planta – Pushbacks



Fuente: Propia

Figura 39

Vista Sección – Pushback



Fuente: Propia

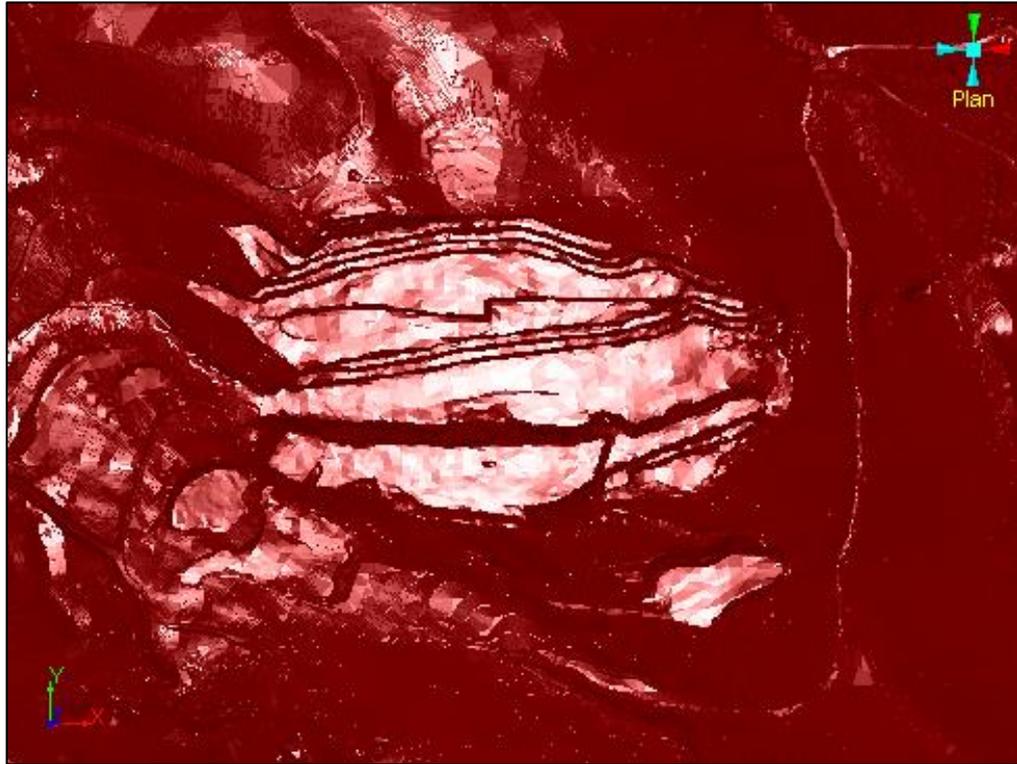
Según lo mostrado, se puede identificar 3 fases operativas las que se procederán a diseñar con un software minero (en este caso Studio OP).

Cómo parámetros de diseño utilizaremos:

- Altura de banco: 5 m
- BFA: 68°
- Ancho de banco: 3.5 m
- Ancho de Rampa: 7 m
- Gradiente de rampa: 12%
- Ancho mínimo de fase: 15 m

Figura 40

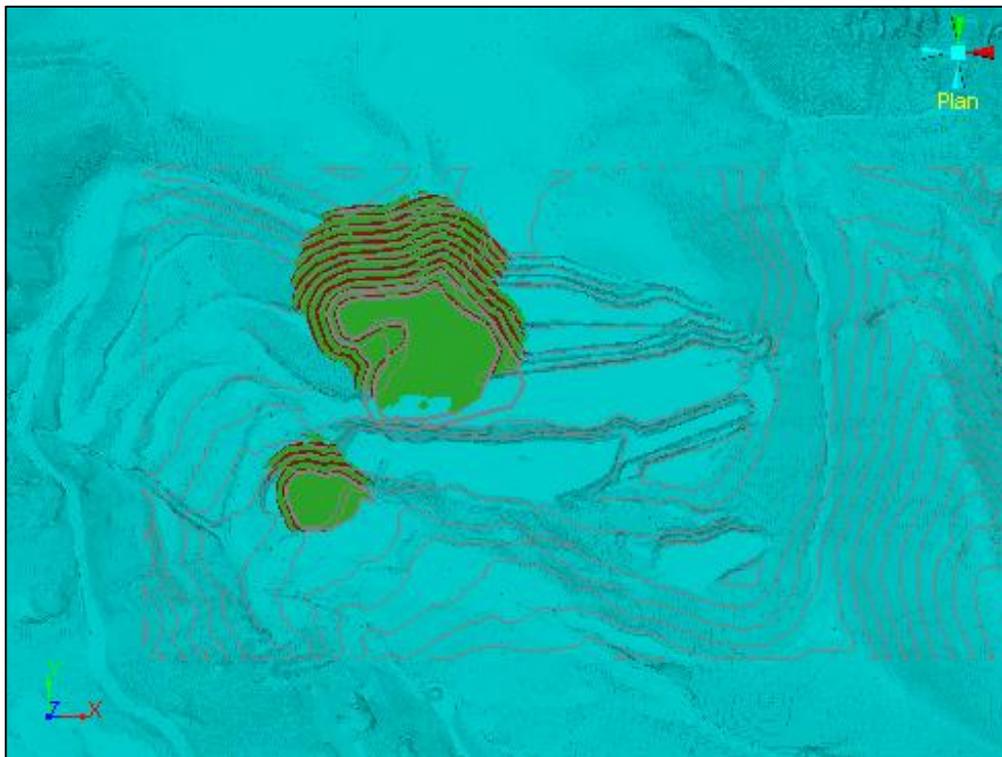
Vista Planta – Topografía inicial



Fuente: Propia

Figura 41

Vista Planta – Fase 1



Fuente: Propia

Figura 42

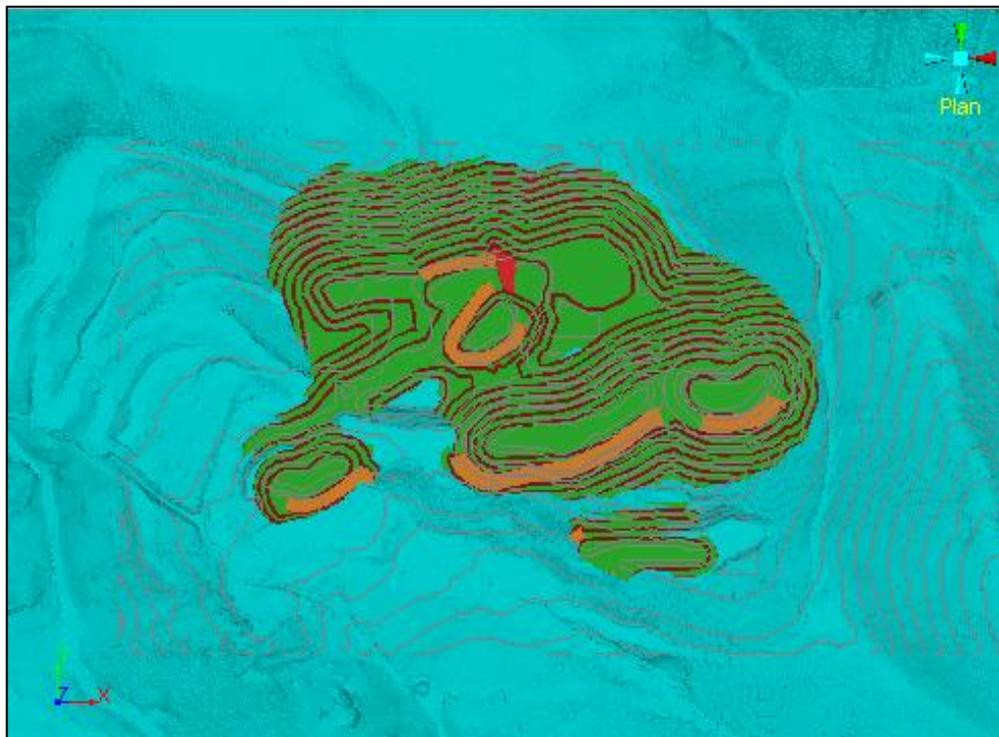
Vista Planta – Fase 2



Fuente: Propia

Figura 43

Vista Planta – Fase 3

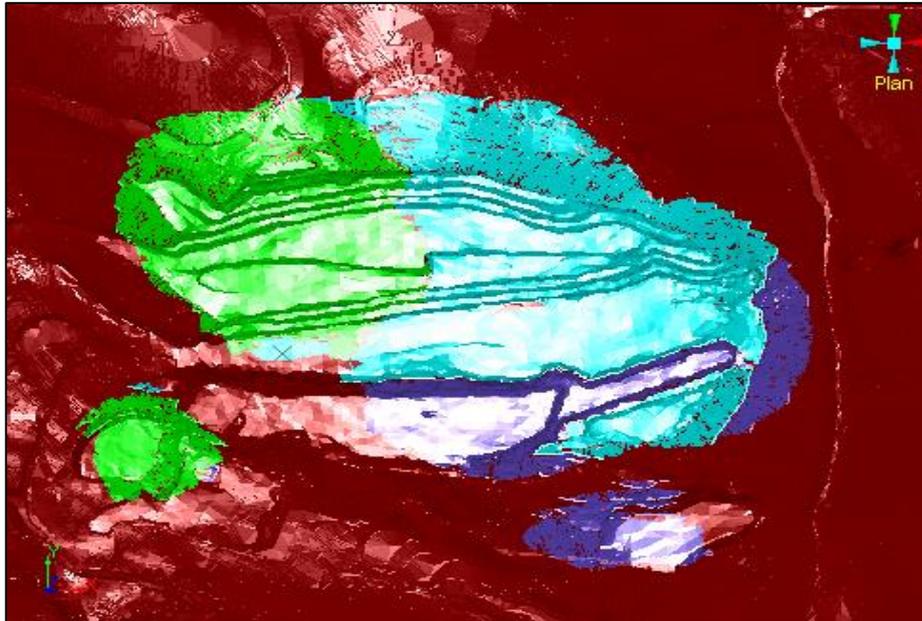


Fuente: Propia

Se obtiene de esta manera el diseño de 3 fases para el Pit Yen como se muestra en la siguiente figura.

Figura 44

Vista Planta – Fases



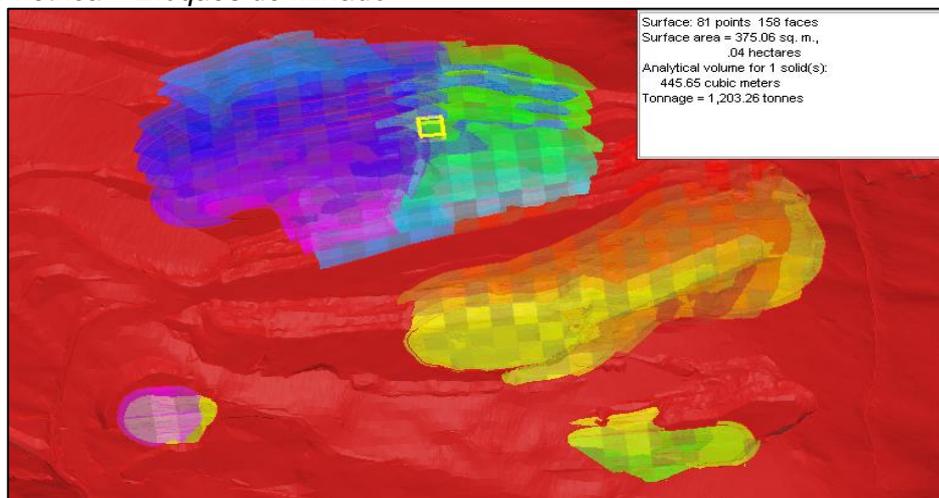
Fuente: Propia

3.4. Reporte de reservas

El reporte de reservas partirá de los diseños realizados en las fases, de los cuales se generarán sólidos, de los cuales se pueden realizar bloques de minado que contengan atributos de Fase, leyes, tonelajes, etc como se muestra en la siguiente figura.

Figura 45

Vista Isométrica – Bloques de minado

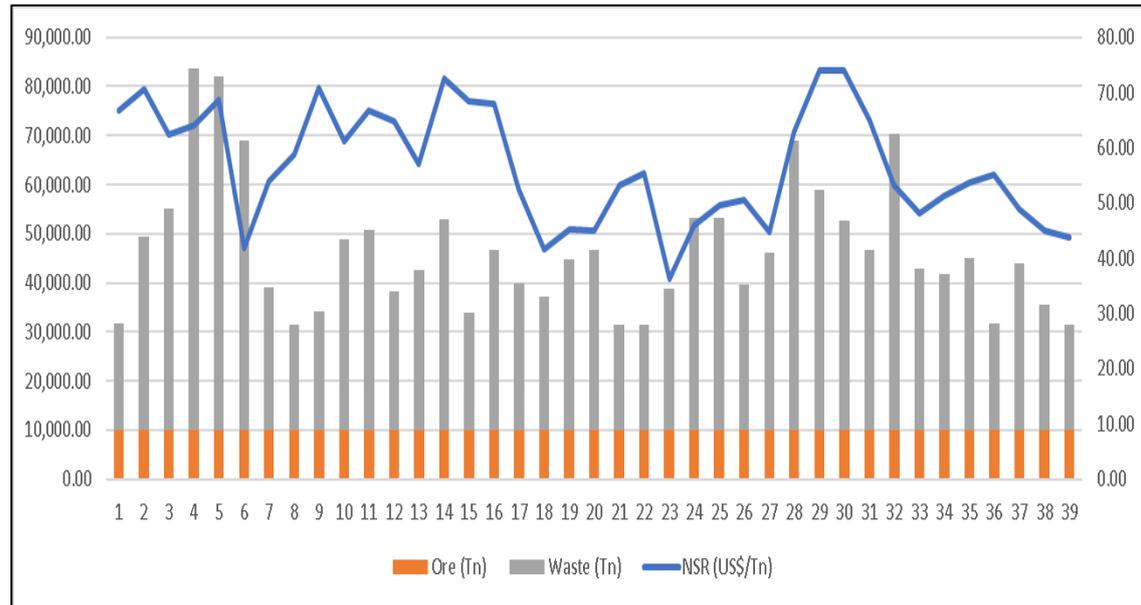


Fuente: Propia

Utilizando estos bloques de 10x10x5, se procede a realizar un programa de minado LOM, de donde se obtiene el reporte final de reservas. En la siguiente figura se muestra un diagrama de Producción y NSR mensualizado.

Figura 46

LOM – Pit Yen



Fuente: Propia

El reporte por mes se muestra en la siguiente Figura.

Figura 47

LOM – Pit Yen mensual

Month	MAT2_1 (MILL)						MAT2_2 (DUMP)					
	Ore (Tn)	Ag oz	Pb %	Zn %	Cu %	NSR (US\$/Tn)	Waste (Tn)	Ag oz	Pb %	Zn %	Cu %	NSR (US\$/Tn)
1	10,051.71	0.57	1.35	1.60	0.12	66.64	21,698.89	0.01	0.02	0.02	0.00	0.99
2	10,011.76	0.45	1.44	1.81	0.12	70.70	39,473.80	0.01	0.01	0.02	0.00	0.68
3	10,006.88	0.64	1.38	1.30	0.13	62.36	45,121.45	0.01	0.02	0.02	0.00	0.86
4	10,011.57	0.51	1.22	1.64	0.10	64.10	73,493.13	0.01	0.02	0.02	0.00	0.87
5	10,055.15	0.60	1.34	1.65	0.14	68.71	71,938.56	0.01	0.01	0.02	0.00	0.76
6	10,009.92	0.38	0.75	1.06	0.08	41.91	58,947.81	0.01	0.01	0.02	0.00	0.67
7	10,010.80	0.39	0.90	1.48	0.10	53.91	28,950.07	0.01	0.01	0.02	0.00	0.81
8	10,000.50	0.51	0.95	1.63	0.08	58.84	21,525.98	0.01	0.01	0.02	0.00	0.76
9	10,033.57	0.52	1.14	1.99	0.12	70.84	24,054.92	0.02	0.03	0.04	0.00	1.66
10	10,011.95	0.53	0.94	1.71	0.09	61.24	38,824.40	0.02	0.03	0.04	0.00	1.66
11	10,007.11	0.45	1.00	1.96	0.12	66.79	40,774.07	0.02	0.03	0.05	0.00	1.90
12	10,079.36	0.46	1.12	1.77	0.11	64.71	28,089.88	0.02	0.03	0.05	0.00	2.05
13	10,079.91	0.40	0.98	1.56	0.10	57.03	32,569.28	0.02	0.03	0.05	0.00	1.81
14	10,099.30	0.46	1.24	2.03	0.13	72.51	42,864.86	0.02	0.03	0.05	0.00	1.86
15	10,089.71	0.47	1.20	1.83	0.14	68.41	23,749.58	0.01	0.02	0.04	0.00	1.40
16	10,018.91	0.48	1.20	1.82	0.13	68.01	36,560.09	0.02	0.03	0.05	0.00	1.83
17	10,001.33	0.52	1.04	1.20	0.11	52.43	29,843.90	0.01	0.02	0.02	0.00	1.03
18	10,003.15	0.35	0.75	1.05	0.08	41.50	27,217.46	0.02	0.04	0.06	0.00	2.36
19	10,087.61	0.32	0.80	1.23	0.07	45.15	34,718.81	0.01	0.02	0.03	0.00	0.94
20	10,048.46	0.32	0.80	1.22	0.07	44.89	36,621.16	0.01	0.02	0.03	0.00	1.09
21	10,066.20	0.35	0.90	1.51	0.08	53.17	21,462.06	0.02	0.03	0.04	0.00	1.63
22	10,002.72	0.38	1.01	1.50	0.08	55.33	21,455.01	0.02	0.04	0.04	0.00	1.79
23	10,000.43	0.28	0.58	1.01	0.06	36.33	28,909.26	0.02	0.05	0.08	0.00	2.79
24	10,046.98	0.32	0.88	1.23	0.06	46.04	43,039.00	0.01	0.03	0.04	0.00	1.50
25	10,077.34	0.39	0.91	1.30	0.08	49.59	43,177.46	0.01	0.01	0.01	0.00	0.59
26	10,061.63	0.36	0.95	1.34	0.08	50.64	29,428.30	0.01	0.02	0.03	0.00	1.22
27	10,067.09	0.39	0.83	1.11	0.08	44.66	35,937.12	0.02	0.05	0.06	0.00	2.43
28	10,017.71	0.61	1.30	1.42	0.12	62.79	59,063.30	0.00	0.01	0.01	0.00	0.38
29	10,065.72	0.74	1.52	1.66	0.14	74.06	48,769.87	0.01	0.01	0.01	0.00	0.46
30	10,016.18	0.78	1.50	1.64	0.14	74.00	42,528.31	0.01	0.01	0.01	0.00	0.54
31	10,030.13	0.67	1.70	1.19	0.11	65.04	36,530.73	0.01	0.01	0.01	0.00	0.49
32	10,047.31	0.38	0.87	1.47	0.11	53.29	60,159.94	0.01	0.01	0.02	0.00	0.70
33	10,046.44	0.33	0.97	1.23	0.08	48.19	32,895.43	0.01	0.03	0.05	0.00	1.83
34	10,057.15	0.42	1.00	1.30	0.07	51.15	31,758.62	0.01	0.02	0.03	0.00	1.29
35	10,026.82	0.39	0.85	1.49	0.12	53.79	35,138.68	0.01	0.01	0.02	0.00	0.73
36	10,044.96	0.43	1.06	1.42	0.09	55.21	21,771.62	0.01	0.02	0.03	0.00	1.08
37	10,027.06	0.37	0.89	1.28	0.09	48.81	33,881.92	0.01	0.02	0.03	0.00	1.21
38	10,012.93	0.35	0.90	1.14	0.06	45.02	25,571.50	0.01	0.03	0.04	0.00	1.68
39	10,097.85	0.33	0.95	1.07	0.06	43.86	21,363.65	0.03	0.05	0.08	0.00	3.05
Total General	391,531.29	0.45	1.05	1.46	0.10	56.71	1,429,879.87	0.01	0.02	0.03	0.00	1.21

Fuente: Propia

El Pit Yen reservas de 391,531 Tn con 56.71 US\$/Tn de NSR.

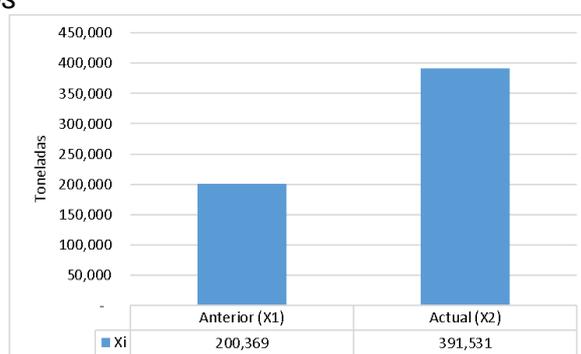
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1. Impacto de una metodología de estimación de reservas adecuada

Se realizó la comparación entre las reservas obtenidas anteriormente por el área de geología y la obtenida actualmente en donde se logra los resultados que se muestran en la siguiente figura.

Figura 48

Comparativo Reservas



Fuente: Propia

Donde:

$$X1 < X2$$

$$200,369 < 391,531$$

En esta investigación al determinar el impacto de la aplicación de una metodología de estimación de reservas en el tajo Yen, se pudo encontrar que las reservas ascienden a 391,531 Tn. Lo que nos da a entender es que existe un impacto positivo del 95% en las reservas del tajo Yen al aplicar una metodología de estimación de reservas adecuada. Esto quiere decir que efectivamente la aplicación de una metodología de estimación de reservas adecuada tiene un impacto positivo sobre las reservas del tajo Yen. Frente a lo mencionado se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las hipótesis alternas, donde se refieren que existirá una adecuada estimación de reservas del tajo Yen. Los resultados obtenidos permiten confirmar la hipótesis planteada, que, al elaborar una metodología para la estimación de reservas adaptada a los parámetros geométricos, económicos, operativos, geotécnicos, etc. y demás particularidades del yacimiento, se logrará una adecuada

estimación de reservas. La cual mejora el diseño final de la mina, el planeamiento de minado y la valorización de la mina.

Pit Final:

El Pit Final que utilizamos tiene un ancho mínimo de banco de 15 m, para obtener 4 Pushbacks, para posteriormente realizar el diseño de las fases operativas, el cual genera el NPV Acumulado más alto.

Diseño de mina:

El diseño de mina elaborado, en 4 fases genera un bajo Striping Ratio, y se diseñan en función al Pit Final previamente optimizado.

Reporte de reservas:

El reporte de reservas es finalmente un producto del LOM elaborado para el diseño de mina, y la secuencia obtenida de las fases obtenidas, siendo este reporte el resultado final de este trabajo.

4.2. Impacto de manipular un modelo de bloques involucrando las diluciones

En relación al primer objetivo, manipular un modelo de bloques de vetas involucrando las diluciones. Se efectuó con el modelo de bloques inicial para posteriormente tener parámetros diluidos de bloques y luego realizar un rebloqueo, obteniendo un modelo de bloques para realizar la estimación de reservas.

En esta investigación al determinar el impacto de manipular un modelo de bloques involucrando las diluciones para el tajo Yen, se pudo obtener un input que se utilizará para un análisis de una mina a tajo abierto. Lo que nos da a entender es que existe un impacto positivo de tener un modelo de bloques que se utilizará para un análisis de una mina a tajo abierto al manipular un modelo de bloques involucrando las diluciones. Esto quiere decir que efectivamente la aplicación de manipular un modelo de bloques involucrando las diluciones tiene un impacto positivo debido a que anteriormente no se tenía. Frente a lo mencionado se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las hipótesis alternas, donde se refieren que ahora si existe un modelo de bloques involucrando las diluciones para el

tajo Yen. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar los resultados, confirmamos que mientras mejor se aplique la manipulación de un modelo de bloques involucrando las diluciones se obtendrá un mejor modelamiento geológico de los valores de las leyes de mineral.

4.3. Impacto de valorizar cada bloque usando los valores NSR punto.

En relación al segundo objetivo, calcular los costos a utilizar y asignar los correspondientes valores NSR puntos para poder valorizar cada bloque. También se llevó a cabo, primero asignando los valores NSR punto y después ingresando los costos a cada bloque para obtener un modelo económico.

En esta investigación al determinar el impacto de valorizar cada bloque usando los valores NSR punto en el tajo Yen, se pudo tener un modelo económico adecuado. Lo que nos da a entender es que existe un impacto positivo de tener un modelo económico adecuado que no se tenía antes al valorizar cada bloque usando los valores NSR punto en el tajo Yen. Esto quiere decir que efectivamente la aplicación de valorizar cada bloque usando los valores NSR punto en el tajo Yen tiene un impacto positivo debido a que era un ejercicio que antes no se realizaba. Frente a lo mencionado se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las hipótesis alternas, donde se refieren que ahora si existe un modelo económico adecuado para el tajo Yen. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar los resultados, confirmamos que mientras mejor se aplique valorizar cada bloque usando los valores NSR punto se obtendrá un modelo económico con mejor valorizado.

4.4. Impacto de seleccionar el Pit Final que se utilizará para el diseño final

En relación al tercer objetivo, seleccionar el Pit Final que se utilizará para el diseño final. Se seleccionó el Pit Final, a partir del cual se realizó el diseño final y se reportó las reservas inpit.

En esta investigación al determinar el impacto de seleccionar el Pit Final que se utilizará para el diseño final en el tajo Yen, se pudo obtener un reporte de reservas inpit dentro de un diseño operativo. Lo que nos da a entender es que existe un impacto positivo

de tener un reporte de inpit dentro de un diseño operativo al aplicar la selección del Pit Final. Esto quiere decir que efectivamente la aplicación de seleccionar el Pit Final tiene un impacto positivo debido a que era un ejercicio que antes no se realizaba. Frente a lo mencionado se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las hipótesis alternas, donde se refieren que ahora si existe un diseño final para el tajo Yen. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar los resultados, confirmamos que mientras mejor se aplique la selección del pit final mejor será el diseño final.

Conclusiones

Los recursos minerales medidos de Yen se estiman en un total de 455,370 Tn con 1.37 % Zn, 1.53 % Pb, 0.1 % Cu y 0.56 oz/t Ag y los recursos minerales indicados se estiman en un total de 378,760 Tn con 1.37 % Zn, 1.53 % Pb, 0.1 % Cu y 0.58 oz/t de plata. Además. Los recursos minerales inferidos se estiman en un total de 196,578 Tn con 1.37 % Zn, 1.53 % Pb, 0.1 % Cu y 0.68 oz/t Ag.

Huachocolpa Uno es un Sistema Epitermal de Baja Sulfuración, con depósito de vetas de Pb-Zn más Ag y Cu, alojado en rocas volcánicas.

El control de la mineralización es estructural, litológico y mineralógico, los minerales de mena son esfalerita, galena, galena argentífera, en menor proporción calcopirita y cobres grises de la variedad freibergita - tetraedrita.

Las Reservas Minerales Probadas y Probables de Yen se estiman en un total de 391,531 Tn con 1.46 % Zn, 1.05 % Pb, 0.1 % Cu y 0.45 oz/t Ag.

El procedimiento de dilución se correlaciona con la tendencia histórica y se considera apropiado para el método de minado superficial Open Pit empleado en Kolpa.

Los valores NSR punto utilizados son: para Ag de 15.82 US\$/oz, para Cu de 33.46 US\$/oz, para Pb de 15.38US\$/oz, para Zn de 20.61 US\$/oz.

Los costos utilizados son: Costo de minado en veta de 5.42 US\$/Tn, Costo de minado en Caja de 2.44 US\$/Tn y Costo de panta de 11.5 US\$/Tn.

Es probable que el Stripping Ratio aumente en los últimos periodos de producción, ya que las potencias de las vetas en los márgenes del depósito y en la profundización disminuirán exponiendo una mayor dilución.

Es probable que el nivel de extracción disminuya en circunstancias similares, ya que se requerirá más cuidado para evitar una dilución excesiva en el mineral.

Se requerirán mejoras en la explotación para las áreas que requieren un método más selectivo de mineral en los últimos años al minar las franjas del depósito.

Se diseñan 3 fases de minado, de las cuales 2 pertenecen a la parte norte y un tajo independiente al sur este.

Existe un potencial de explotación por métodos subterráneos para los recursos que quedan por debajo del pit final diseñado. Los cuales deben ser evaluados mediante otros procedimientos.

Recomendaciones

Revisar los diseños para disminuir el potencial de una mayor dilución a medida que la extracción se acerca a los límites de mineralización.

Se hará un esfuerzo para agilizar y automatizar el proceso de estimación de reservas minerales para facilitar futuras estimaciones, revisiones y auditorías de reservas minerales.

Se recomienda, para futuras investigaciones, calcular el tamaño de bloque óptimo (altura de banco) para obtener el mayor beneficio económico.

El proceso automático debe implementarse antes de estimar la reserva, en particular, las leyes del recurso mineral inferido y ausente deben establecerse en cero para que los recursos minerales inferidos y el recurso ausente interpretado se traten como desmonte.

Se debe mantener y utilizar el plan LOM utilizando un software de planificación de mina 3D que se generó para las reservas minerales para proporcionar los pronósticos de producción de mina a mediano y corto plazo. Extender el procedimiento para generar planes LOM usando un software auditable antes de declarar reservas minerales.

Se debe preparar uno o más planes LOM que sean más optimistas que el caso base para su uso en la planificación estratégica. Por lo general, el plan de LOM optimista incluye recursos minerales inferidos diseñados a un nivel conceptual de detalle y actualizado a medida que el recurso se mueve a una categoría Indicada o Medida.

Es necesario establecer un sólido proceso de reconciliación de reserva mineral de mina a molienda a fin de proporcionar un respaldo adecuado para mejorar los supuestos de dilución y recuperación minera.

Para futuras investigaciones, se recomienda, calcular el intervalo de confianza porcentual de las reservas.

Para futuras investigaciones, se recomienda, controlar la pérdida de variabilidad de las leyes.

Es necesario implementar un sistema de recopilación de datos adecuado para recopilar los datos necesarios para establecer el proceso de conciliación anterior en un formato utilizable.

Desarrollar y mantener modelos geotécnicos, incluidas estructuras y tipos de macizos rocosos.

Revisar el impacto que podría tener el nivel freático en la reserva en un nivel más profundo.

Referencias bibliográficas

- Alvarado Valdivia, Luis Hector. "Cálculo de reservas de un proyecto a tajo abierto en el norte del Perú". 2010.
- Ausenco. "Technical Report NI 43-101 for Corani Project". 2019.
- Chura Torres, Henry. "Optimizar el planeamiento a largo plazo de la mina a tajo abierto Tacaza – CIEMSA empleando los softwares mineros GEMCOM WHITTLE Y MINESIGHT". 2019.
- CIM Standing Committee on Reserve Definitions. "CIM Definition Standards for Mineral Resources & Mineral Reserves". 2014.
- Clavo Rimarachín, Ever Willian. "Evaluación del incremento de reservas en el tajo Parccaorco - Breapampa". 2013.
- Freeport - Mcomoran. "Technical Report Summary of Mineral Reserves and Mineral Resources for Cerro Verde Mine". 2022.
- Gonzales Paihua, Tomas. "Diseño de minas a tajo abierto". 2010
- Huaricalla Huaqui, Miguel Angel. "Determinación de equipos a corto plazo para el proceso de operación a cielo abierto - Mina 5 - Compañía Minera Shougang - Marcona – Perú". 2018.
- Hustrulid W., Kuchta M. "Open Pit Mine Planning and Design". Taylor & Francis. 2006.
- Lane K.F. "La definición económica de mineral". Comet Strategy Pty. 2016.
- Minconsulting. "Plan de minado a largo plazo KOLPA SA". 2019.
- Paredes Valderrama, Jonathan Franic. "Determinación de Parámetros de Fases de Minado para Optimizar el VAN del Tajo Esperanza en Mina El Toro". 2021.
- Peirano Opazo, Fernando Andrés. "Definición de Pit Final capacitado bajo incertidumbre". 2011
- Rendu JM. "An introduction to cut-off grade estimation". Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME). 2014.

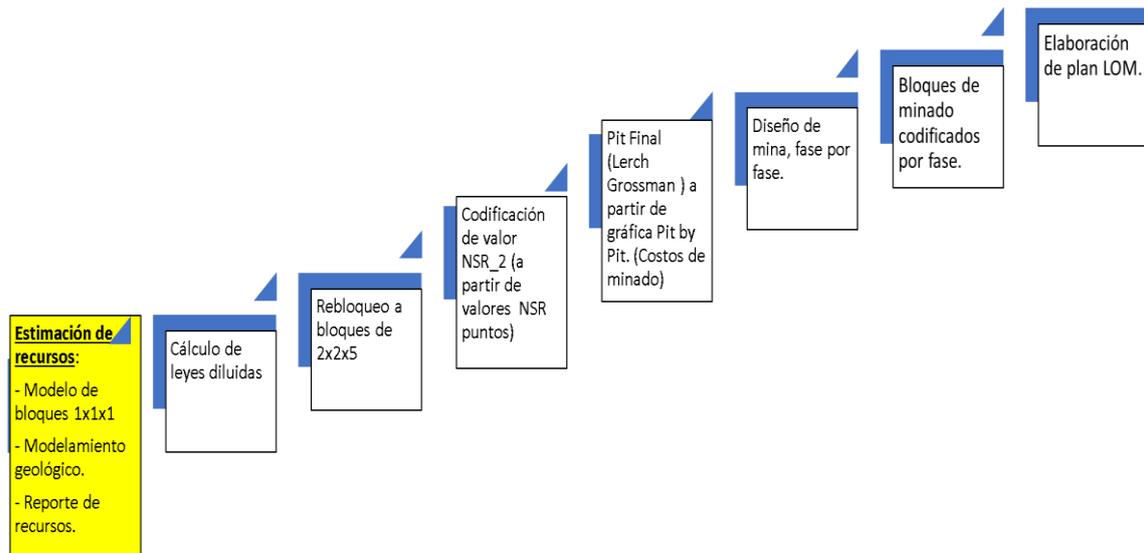
Roscoe Postle Associates. "Technical Report on the Atacocha mine". 2019.

Universidad Nacional de Ingeniería de la FIGMM. "Curso de PLANEAMIENTO DE MINADO" y "Curso de METODOS DE EXPLOTACION SUPERFICIAL".

Anexo

ANEXO 1

FLUJOGRAMA DE ESTIMACIÓN DE RESERVAS



ANEXO 2

DIAGRAMA DE FLUJO

