



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**Aplicación del NSR para la ganancia de recursos
minerales en la estimación del modelo de corto plazo en
una mina en Apurímac**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Félix Jesús ESTRADA CAVERO

ASESOR

Dr. Jaime César MAYORGA ROJAS

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Estrada, F. (2025). *Aplicación del NSR para la ganancia de recursos minerales en la estimación del modelo de corto plazo en una mina en Apurímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Félix Jesús Estrada Cavero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75468211
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-6777-5685
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jaime César Mayorga Rojas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10369482
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8423-3343
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro Antonio Olivares Ballena
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06085689
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jesús Alberto Torres Guerra
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07219691
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Iván Mesias Santos Paredes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25627100

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.11. Recursos Mineros
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Apurímac Provincia: Cotabambas Distrito: Chalhuanahuacho Latitud: -14.092500 Longitud: -72.283333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05 Geociencias https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el viernes 05 de diciembre del año 2025 siendo las 11:30 am, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Ing. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA
Ing. IVÁN MESIAS SANTOS PAREDES
Dr. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA

(Presidente De Jurado)
(Miembro de Jurado)
(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **FÉLIX JESÚS ESTRADA CAVERO** quien sustentará la Tesis titulada: **"APLICACIÓN DEL NSR PARA LA GANANCIA DE RECURSOS MINERALES EN LA ESTIMACION DEL MODELO DE CORTO PLAZO EN UNA MINA EN APURIMAC"**; su asesor el docente **Dr. JAIME CESAR MAYORGA ROJAS**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Dieciocho (18)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **FÉLIX JESÚS ESTRADA CAVERO**

Siendo las 12:05 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 05 de diciembre del 2025


ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA
PRESIDENTE DE JURADO


ING. IVÁN MESIAS SANTOS PAREDES
MIEMBRO DE JURADO


DR. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA
MIEMBRO DE JURADO


DR. JAIME CESAR MAYORGA ROJAS
MIEMBRO ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE

SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Jaime César Mayorga Rojas en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° 000004-2025-EPIGL-FIGMMG/UNMSM de la tesis de investigación académico, cuyo título es **«APLICACIÓN DEL NSR PARA LA GANANCIA DE RECURSOS MINERALES EN LA ESTIMACIÓN DEL MODELO DE CORTO PLAZO EN UNA MINA EN APURÍMAC»**, presentado por el bachiller **FÉLIX JESÚS ESTRADA CAVERO** para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **2%** de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Geólogo.

Lima, 17 de noviembre de 2025

Firma del Asesor



Nombres y Apellidos del asesor: Jaime César Mayorga Rojas

DNI: 10369482

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir cada día.

A mi amorosa y luchadora madre, Nelly, que siempre estuvo apoyándome desde el primer momento, por ser mi ejemplo de esfuerzo y disciplina, sin sus enseñanzas y crianza, no podría haber sido el hombre en el que me he convertido.

A mi dedicada y bella hermana, Lisseth, que me enseñó que todas las cosas se pueden lograr con esfuerzo y dedicación, y me demostró que siempre hay que soñar en grande y que nada es imposible.

A mi abuelita Fidelia, que en paz descansa, estaría muy alegre y orgullosa de su nieto.

A mi abuelito Juan, por siempre estar presente, por su apoyo incondicional y sus palabras de motivación constante.

A mi querida familia Cavero Peláez, que siempre estuvo presente en todas mis etapas formativas, siempre brindándome consejos y palabras de aliento, siempre los llevaré en mi corazón, mi Madrina Luz, mi Padrino Enrique, mis tíos, tías, primos, primas, y todas las personas que me estiman. Ustedes son mi baile inolvidable.

A las mascotas de mi familia, que hicieron la vida mucho más alegre, Duff, Layca, Paquita, Dalma, Jack, Tom, Lia, Tomasa, Jayco, Lucas y Negrita.

A mis amistades que he forjado a lo largo de mi vida, en el colegio, en la universidad, en el trabajo, gracias por su amistad sincera, son una parte fundamental en mí.

Finalmente, no solo no hubiera sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo, algunos siguen hasta hoy. ¡Gracias totales!

AGRADECIMIENTOS

Primero, agradezco a Dios por todo lo que me ha dado, por iluminar mi camino y hacer posible alcanzar mis metas, también agradezco a mi hermosa familia que siempre estuvo presente apoyándome incondicionalmente.

Agradezco a mi alma mater, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a mi querida escuela de Ingeniería Geológica que me dio la oportunidad de ser ingeniero geólogo y poder contribuir a la sociedad, de poder conocer grandes profesionales y amistades que durarán toda la vida.

Agradecer de manera enfática al Doctor Jaime Mayorga, por el apoyo en el desarrollo del presente estudio, por su orientación en cada avance presentado, por los consejos y las palabras de aliento que fueron clave para la culminación de este trabajo.

Agradezco al equipo de Ore Control de Minera Las Bambas, que me dio la oportunidad de formar parte del mundo minero, en especial a los ingenieros Carlos Maldonado, Yoel Llamoca y Cristhian Rojas, por compartir sus conocimientos y experiencias, que fueron una gran inspiración para la elaboración de mi tesis.

Finalmente, culmino este trabajo con un profundo sentimiento de gratitud hacia todos los que me brindaron su apoyo, palabras de aliento y su tiempo; cada gesto de ayuda fue esencial para la culminación de mi tesis.

Tabla de Contenido

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	16
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3.1. Problema general	18
1.3.2. Problemas específicos	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Importancia.....	20
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	21
2 CAPITULO II: EL MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. Net Smelter Return (NSR)	29
2.2.2. Modelo De Corto Plazo.....	31

2.2.3.	Modelo De Bloques	32
2.2.4.	Cut-off económico basado en NSR	33
2.2.5.	Ore Control y reconciliación mina – planta	34
2.3.	Definición de términos	35
2.3.1.	NSR (Net Smelter Return)	35
2.3.2.	Ley de corte (cut-off grade).....	36
2.3.3.	Desmonte.....	36
2.3.4.	Recuperación metalúrgica	36
2.3.5.	Modelo de bloques.....	37
2.3.6.	Modelo de corto plazo.....	37
2.3.7.	Precio base del metal	38
2.3.8.	Porcentaje pagadero	38
2.3.9.	Penalidades metalúrgicas	38
2.3.10.	Optimización del minado	38
2.3.11.	Yacimientos polimetálicos	39
2.3.12.	Reconciliación mina-planta.....	39
2.3.13.	Vulcan	39
3.	CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	40
3.1.	HIPÓTESIS.....	40
3.1.1.	Hipótesis general	40
3.1.2.	Hipótesis específicas	40

3.2.	VARIABLES	41
3.2.1.	Variable independiente	41
3.2.2.	Variable dependiente	41
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	41
4.	CAPITULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
4.1.	Área de estudio.....	43
4.2.	Diseño de investigación.....	43
4.3.	Población y Muestra	44
4.4.	Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información.	45
4.4.1.	Procedimiento.....	45
4.4.2.	Técnicas.....	47
4.4.3.	Instrumentos	47
4.5.	Análisis Estadísticos	48
4.5.1.	Valor del NSR por bloque.....	48
4.5.2.	Leyes de los metales	48
4.5.3.	Tonelaje recuperable.....	48
4.5.4.	Valor neto o económico	49
4.5.5.	Análisis de tendencia central	49
4.5.6.	Medidas de dispersión.....	49
4.5.7.	Distribución de frecuencias	49
4.5.8.	Comparación de proporciones.....	49

5.	CAPITULO V: RESULTADOS	50
5.1.	Cálculo del NSR para el polígono seleccionado	50
5.2.	Estadísticas de leyes en el polígono seleccionado.....	53
5.2.1.	Distribución de ley de cobre.....	54
5.2.2.	Distribución de ley de molibdeno.....	55
5.2.3.	Distribución de ley de plata.....	56
5.3.	Clasificación de los bloques en el polígono (mineral – desmonte).....	58
5.4.	Proporción mineral – desmonte.....	60
5.5.	Comparación con modelo anterior del polígono seleccionado	63
5.6.	Análisis económico y tonelaje recuperable.....	68
5.7.	Análisis estadístico-económico de los bloques del polígono.....	71
5.7.1.	Tendencia central.....	71
5.7.2.	Dispersión.....	73
5.7.3.	Distribución de frecuencias.....	74
5.8.	Clasificación por rangos NSR en dólares	75
5.9.	Visualización del polígono	76
5.10.	análisis espacial para definir mejores zonas de minado según NSR.....	77
5.11.	Vista de tipos de clasificación.....	78
5.12.	Delimitación final del polígono para el minado.....	79
6.	CAPITULO VI: DISCUSIÓN.....	81
6.1.	interpretación de resultados	81

6.2.	Relevancia operativa.....	82
6.3.	Comparación entre estudios previos.....	83
6.4.	Limitaciones del estudio	84
7.	CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
7.1.	Conclusiones	86
7.2.	Recomendaciones	89
8.	CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del polígono 01-05-3600-069-01. Elaboración propia -----	50
Figura 2. Valores del NSR de cada bloque. Elaboración propia. -----	51
Figura 3. Grafica de distribución de los valores del NSR. Elaboración propia. -----	52
Figura 4. distribución de leyes de cobre (Cu %) -----	54
Figura 5. distribución de leyes de molibdeno (Mo ppm) -----	55
Figura 6. distribución de leyes de plata (Ag g/t) -----	56
Figura 7. gráfico de barras. Mineral-desmonte -----	60
Figura 8. Vista en planta de los bloques coloreado por NSR -----	61
Figura 9. gráfico de barras. Mineral-desmonte -----	65
Figura 10. mapa de bloques coloreado por cut-off -----	66
Figura 11. mapa 3D de bloques coloreado por NSR -----	67
Figura 12. gráfico de barras. Valorización económica NSR vs cut-off -----	70
Figura 13. gráfico de barras, media, mediana, del NSR -----	72
Figura 14. Gráfico de barras de la dispersión, elaboración propia -----	73
Figura 15. Histograma de distribución de valores de NSR -----	74
Figura 16. gráfico de barras por rango USD\$, elaboración propia -----	75
Figura 17. mapa del polígono seleccionado dentro del modelo de corto plazo, elaboración propia. -----	76
Figura 18. mapa 3D del polígono según su NSR, elaboración propia -----	77
Figura 19. mapa de bloques según el cut-off del NSR, mineral vs desmonte, elaboración propia -----	78
Figura 20. mapa 3D del polígono final para el minado, elaboración propia -----	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. elaboración propia -Nota. NSR: Net Smelter Return	42
Tabla 2. resumen de análisis estadísticos. elaboración propia.....	57
Tabla 3. resultados NSR al polígono seleccionado	59
Tabla 4. Comparación de métodos NSR vs tradicional	63
Tabla 5. Tonelaje de ambos modelos	64
Tabla 6. Diferencia de métodos en USD	69

RESUMEN

El presente estudio se realizó en una mina polimetálica ubicada en la región de Apurímac, Perú, con el objetivo de la aplicación de un indicador económico llamado Net Smelter Return (NSR), en la estimación del modelo de corto plazo, considerando bloques de mineral dimensionados de 5m x 5m x15m, donde se aplicaron todo los factores asociados, esto incluye transporte, precios de los metales y recuperación metalúrgica, con la finalidad de mejorar la valoración de los bloques en el modelo de corto plazo.

Los resultados obtenidos nos demuestran que, al aplicar el NSR en el modelo de corto plazo, se obtiene una reclasificación de 4700 toneladas adicionales de mineral en comparación con el método tradicional de estimación de ley de corte, en términos económicos representa una ganancia de 76 000 USD, gracias al aporte de los subproductos del yacimiento como el Molibdeno y la Plata, al aplicar el NSR permite la precisión en la clasificación de los bloques, logrando la optimización en la planificación y priorización de mineral a extraer en la operación minera.

Finalmente, se lograron identificar limitaciones, relacionadas a la incertidumbre en los bloques que su valor es cercano al cut-off económico del NSR, debido a la correlación del NSR con factores de precios de mineral, costos de tratamientos, deducciones pertinentes y recuperaciones

metalúrgicas, la incorporación de un análisis de incertidumbre para esos bloques cercanos al cut-off económico del NSR será de vital importancia en futuros estudios para evitar riesgos de sobrestimación y mejorar la precisión y confiabilidad del modelo de corto plazo.

Palabras clave: Net Smelter Return, modelo de corto plazo, Cut-off, geometalurgia, planificación minera, Apurímac

ABSTRACT

This study was conducted in a polymetallic mine located in the Apurímac region, Peru, with the objective of applying an economic indicator known as the Net Smelter Return (NSR) in the estimation of the short-term model. The study considered ore blocks sized $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 15\text{ m}$, incorporating all associated factors, including transportation, metal prices, and metallurgical recovery, to improve block valuation within the short-term model.

The results show that by applying the NSR in the short-term model, a reclassification of an additional 4,700 tons of ore was achieved compared to the traditional cut-off grade estimation method. Economically, this represents a gain of USD 76,000, thanks to the contribution of the deposit's by-products such as molybdenum and silver. The application of NSR allows for greater accuracy in block classification, optimizing the planning and prioritization of ore extraction in the mining operation.

Finally, certain limitations were identified, mainly related to uncertainty in blocks whose values are close to the NSR economic cut-off. This is due to the correlation of the NSR with factors such as metal prices, treatment costs, relevant deductions, and metallurgical recoveries. Incorporating an uncertainty analysis for these blocks near the NSR economic cut-off will be essential in future studies to avoid overestimation risks and to improve the accuracy and reliability of the short-term model.

Keywords: Net Smelter Return, short-term model, cut-off, geometallurgy,
mine planning, Apurimac

1.CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.INTRODUCCIÓN

En toda operación minera, para el tema del minado de los bloques de mineral, se debe contar con un modelo, tanto de largo plazo como de corto plazo, esto es para poder tener un mejor control del material y un mejor procesamiento de la información del minado, mejorando la toma de decisiones operativas. Usualmente, en las minas se utilizaba la estimación bajo el método de cut-off o corte por ley, por lo que solo considera su valorización económica a través de la concentración del mineral, pero en muchos casos este método no refleja la realidad económica del bloque mineral porque no considera diferentes variables que influyen en la valorización del bloque mismo como son: la recuperación metalúrgica, costos de tratamiento, ley de los subproductos, precios del mercado, las penalidades, su transporte e incluso otras deducciones contractuales, lo que permite tener una representación más precisas de la rentabilidad del bloque.

En el presente estudio se pretende utilizar la aplicación del Net Smelter Return como método para mejorar la valorización del bloque en el modelo de corto plazo, ya que este método calcula el valor real neto del bloque o mejor dicho la “dolarización del bloque”, permitiendo que el equipo de Ore Control pueda reclasificar los bloques, pasando de bloques de desmonte a bloques de mineral, generando una ganancia en tonelaje, lo cual ocasiona

un valor más representativo de la ganancia en términos económicos de los ingresos efectivos de la operación.

1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El Net Smelter Return es un indicador económico que valora los bloques considerando ley de cabeza, recuperaciones metalúrgicas, costos de fundición, y considera los subproductos como molibdeno y plata, a diferencia del cut-off tradicional, el NSR ofrece una estimación más realista en valor económico y la optimización del yacimiento, mejorando en la toma de decisiones operativas y generando una mayor rentabilidad del negocio minero.

Por lo tanto, la aplicación del método tradicional de corte de ley en los modelos de corto plazo, puede incurrir a errores en términos de estimación de bloques porque no realiza una correcta valorización, ya que no está considerando la recuperación metalúrgica, leyes de mineral, transporte, precios, deducciones y penalidades de los subproductos, excluyendo a bloques que podrían ser tratados económicamente viables por esas características, la aplicación de ese método tradicional reduce el máximo potencial de los recursos minerales disponibles para explotación y condiciona la eficacia de la operación minera.

Ante esta situación, surge la necesidad de buscar opciones óptimas, como la aplicación del método NSR que nos va a permitir una evaluación

considerando diferentes aspectos relevantes para la correcta estimación de bloques en un modelo de corto plazo, bajo este método se ofrecerá una visión más realista del bloque estimado para la mejora en la toma de decisiones en la operación minera.

A nivel mundial, el NSR se ha consolidado como la mejor opción en minas de gran escala como Red Dog en Alaska, que reporta en su operación el uso del NSR, la cual tiene en cuenta las recuperaciones metálicas, los costos y los cargos por tratamiento. (Teck Resources,2020), de igual forma en la mina Lalor, Canadá, se señala que las reservas minerales se estiman por valores NSR, dependiendo de la extracción y ruta de procesamiento (Hudbay Minerals ,2024), estas operaciones nos indican que el NSR es fundamental para la integración de factores metalúrgicos y económicos para la optimización de la rentabilidad minera.

A nivel nacional, este indicador económico se aplica en importantes operaciones mineras. En Antamina, que utiliza el NSR en sus cálculos de ingresos de minerales (Antamina Technical Report,2024), asimismo, en Cerro de Pasco complex, de Nexa Resources, en sus reportes técnicos señalan el uso del NSR como criterio de estimación de recursos minerales, que optimizan la valorización de los bloques y la planificación a corto plazo (Cerro de Pasco Technical Report,2023)

1.3.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1.Problema general

P.G.: ¿Cómo contribuye la aplicación del NSR para la ganancia de recursos minerales en la estimación del modelo de corto plazo?

1.3.2.Problemas específicos

P.E.1: ¿Qué efectos tiene la aplicación del método NSR para cada bloque en el modelo de corto plazo?

P.E.2: ¿Qué impacto tiene la aplicación del NSR en la estimación de leyes y tonelajes para cada bloque del modelo de corto plazo?

P.E.3: ¿Qué impacto tiene la aplicación del NSR en la categorización de los bloques en el modelo de corto plazo?

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.Objetivo General

O.G.: Analizar la aplicación del método NSR para optimizar la valorización económica de los recursos minerales en el modelo de corto plazo

1.4.2.Objetivos específicos

O.E.1: Aplicar el método NSR para cada bloque del modelo de corto plazo.

O.E.2: Calcular las leyes y tonelajes obtenidos mediante la aplicación del método NSR

O.E.3: Recategorizar los bloques en el modelo de corto plazo por el método del NSR.

1.5.IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1.Importancia

El presente trabajo de investigación es relevante porque propone la aplicación del NSR en el modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales incorporando fundamentos tanto prácticos como teóricos que enriquecen la literatura sobre control de operaciones, optimización de recursos y mejor toma de decisiones en las operaciones mineras, al sintetizar los criterios económicos, técnicos y geometalúrgicos.

Desde el punto de vista práctico, la implementación del NSR permite la correcta valorización y la recategorización de los bloques mineral-desmonte, optimizando su estimación en leyes y tonelajes, generando beneficios económicos y operativos a las empresas involucradas, en especial a las mineras polimetálicas de Apurímac, puede aplicarse en contextos similares porque favorece la rentabilidad operativa y optimiza la planificación del minado

Desde la perspectiva científica, el presente trabajo de investigación pretende validar empíricamente la aplicación y utilidad del NSR como el criterio óptimo para la estimación de recursos minerales, adjuntando evidencias que comprueben su efectividad y que se puede replicar en otras operaciones mineras. De esta forma, el presente trabajo de investigación se

justifica porque contribuye al avance del conocimiento, fortalecimiento y desarrollo continuo en la gestión de recursos minerales.

1.6.Limitaciones de la Investigación

El presente trabajo de investigación presenta algunas limitaciones metodológicas y contextuales que acotan su alcance y su interpretación de los resultados, principalmente relacionados con el ámbito del modelo de corto plazo, la calidad y disponibilidad de los datos y otros factores económicos externos que pueden influir en la óptima valorización de los bloques.

- El presente trabajo de investigación se limita solamente al modelo de corto plazo en una determinada zona
- Para la correcta aplicación del método NSR se precisa que los datos sean de calidad
- Se aplicarán datos históricos y disponibles en el momento del presente trabajo de investigación, por lo cual la aplicación está condicionada a estos datos
- Las variables económicas que se utilizarán como precio, costos y penalidades serán dentro de un tiempo determinado, no se considerará las variaciones económicas que podrían influir en la valorización del modelo de corto plazo a lo largo del tiempo.

2.CAPITULO II: EL MARCO TEÓRICO

2.1.Antecedentes de la investigación

2.1.1.Antecedentes internacionales

Goldie & Tredger (1991) en su artículo *Net Smelter Return models and their use in the exploration, evaluation and exploitation of polymetallic deposits* , realizaron un estudio con el objetivo de aplicar el método Net Smelter Return (NSR) para la valorización y planificación del minado de depósitos polimetálicos , su metodología consistió en aplicar el método NSR para la optimización de la rentabilidad del bloque , incluyendo diferentes factores como ley de cabeza, recuperación geometalúrgica y costos de procesamiento, concluyendo que el NSR mejora la rentabilidad de la mina, validando el uso de dicho método como una mejor herramienta para la operación minera, ese estudio respalda la aplicación de ese método en otras operaciones mineras y en otros contextos como el que se aborda en el presente estudio.

Downie (2019) en su investigación titulada *Application of a Net Smelter Return model within a polymetallic base metal processing plant* documentó la aplicación del método NSR en la mina Rosebery, Tasmania, mina polimetálica, con el objetivo de maximizar la recuperación económica de minerales en conjunto de Cobre, Plata, Plomo, Zinc y Oro, la metodología se basó en aplicar el criterio NSR para reajustar los procesos operacionales y metalúrgicos, como conclusión, lograron una ganancia aproximada de USD36 millones adicionales en un tiempo de 3 años , el cual en términos de porcentaje , es aproximadamente 4.6% de aumento por tonelada aplicando NSR, demostrando el impacto práctico de este método en las operaciones mineras.

Teck Inc. (2020), en su informe técnico *Annual Technical Report, Red Dog, Alaska, EE. UU.*, tuvo como objetivo aplicar el cálculo del Net Smelter Return como criterio para la clasificación de recursos en la operación minera, su metodología consistió en el cálculo del NSR por bloques, restando los costos de operación e integrando valores metalúrgicos, para obtener el valor neto real por tonelada, aunque este informe técnico no presenta conclusiones explícitas, se interpreta que la aplicación del NSR permite una clasificación y valorización más rentable, este antecedente es de vital importancia porque muestra la aplicación operativa del NSR en una

de las minas polimetálicas más importantes del mundo, validando su aplicación y optimización como modelo económico.

Beard et al. (2024), reportan en el informe *Update on the Grasberg and Kucing Liar block cave mine*, tuvieron como objetivo evaluar el desempeño del NSR por bloque a gran escala, en su metodología emplearon parámetros como la recuperación metalúrgica por tipo de mena y costos de minado, esto permite la estimación de cada bloque por tonelada y sirve de criterio operativo para la optimización y selección de frentes de minado, si bien el reporte no formula conclusiones directas, en el análisis técnico se deduce que la aplicación del NSR facilita la planificación, reduce costos y da prioridad a zonas más rentables, este antecedente afianza que el NSR es aplicado a grandes unidades mineras a nivel mundial para su mejor planificación operativa.

Padilla et al. (2024), nos reportan en el *NI 43-101 Technical Report for the El Peñón Gold-Silver Mine, Antofagasta Region, Chile*, tuvieron como objetivo aplicar el NSR en minería tajo abierto y minería subterránea para determinar valores de cut-off NSR económicos, tienen distintos valores en su operación minera, para tajo abierto tienen un cut-off NSR de US\$64/t mientras que para reservas subterráneas manejan un valor de cut-off NSR US\$148/t, su metodología para estos cálculos del NSR se basó en diferentes factores como la recuperación metalúrgica, procesamiento, costo

de minado y transporte, aunque no se incluye conclusiones formales , se puede llegar a deducir que la aplicación del NSR permite una mejor valorización económica , precisa y coherente con la operación minera, este antecedente es de vital importancia porque demuestra la aplicación del NSR en una mina de operación mundial en Sudamérica de forma explícita, tanto para minería subterránea como a cielo abierto, lo que reafirma la aplicación en otros contextos de depósitos minerales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Quispe Bruna (2019), en su estudio titulado *Planeamiento de programación de producción de minerales a corto plazo en minería subterránea* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional del Altiplano] tuvo como objetivos, en el contexto nacional, el análisis de las metodologías de planificación minera a corto plazo, la metodología aplicada fue la revisión de casos operativos en las minas del Perú y la comparación de sus procedimientos, identificando limitaciones en la estimación del modelo de corto plazo, y que el uso del NSR era inexistente en la mayoría de las operaciones mineras de ese momento, llegando a la conclusión de que la mayoría de las minas seguían utilizando la estimación por ley de corte y no aplicaban el NSR, el autor recomienda la aplicación del método NSR con el objetivo de mejorar la valorización de las operaciones mineras, en especial a las polimetálicas, donde están

involucradas mayores variables. Este antecedente es relevante para el presente estudio ya que para optimizar los recursos minerales es fundamental aplicar el método NSR.

Albino Ledesma et al. (2024) en su tesis *Análisis de la conciliación del tonelaje, leyes y NSR de la veta Don Ernesto, NV 3990 para la mejora del rendimiento operacional en la unidad minera El Porvenir-Cerro de Pasco*, tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de la operación mediante la conciliación de los bloques, aplicando el NSR, su metodología incorporó factores claves como leyes de cabeza, costos operativos y recuperaciones metalúrgicas, todo eso para obtener el valor NSR por tonelada. El autor del estudio llegó a la conclusión de que la aplicación del NSR y otros factores logran una mejor conciliación entre la mina y planta de beneficio, y una mejor valorización de los recursos en el modelo de corto plazo. Este antecedente constituye un caso a nivel nacional, validando su aplicación en operaciones mineras peruanas.

Coanqui Pacha (2019), en su tesis titulada *Optimización de plan de minado a corto plazo en la Unidad Minera Tacaza – Puno* [Universidad Nacional del Altiplano], tuvo como objetivo proponer estrategias de optimización mediante la planificación del minado a corto plazo. Su metodología se basó en herramientas geoestadísticas, geometalúrgicas y análisis de producción, Si bien no aplicó directamente el método NSR, utilizó técnicas de estimación y control. Como conclusión, el autor recomendó utilizar o incorporar indicadores económicos que otorguen una valorización precisa de los recursos minerales del modelo de corto plazo, resaltando la importancia de un criterio económico preciso. Este antecedente es significativo porque sugiere la necesidad de optimizar planes de minado con factores precisos más allá del uso exclusivo de la ley de cabeza.

Nexa Resources (2021), reporta en *Technical Report on the Cerro Lindo Mine*, Ica, Perú. Tuvo como objetivo la aplicación del NSR para la estimación de recursos de zinc, plomo, cobre y plata. La metodología fue el cálculo del NSR por tonelada, considerando los factores económicos y metalúrgicos. Aunque el informe técnico no presenta textualmente una conclusión, se puede inferir por lo expuesto, que la aplicación del NSR permitió una clasificación más precisa de los recursos y reservas de la operación minera, logrando establecerlo como criterio económico oficial de la mina, generando una mejor gestión operativa. Este antecedente es

relevante porque se trata de la mina subterránea más importante del Perú, que emplea el NSR como su criterio de estimación y económico oficial.

De igual manera, Compañía Minera Antamina (2024), reporta en su informe *Technical Report on the Antamina Mining Operation, Perú (NI-43-101)*, tuvo como objetivo la aplicación del NSR como criterio para su clasificación de reservas y recursos, similar a lo realizado por Nexa Resources, en Antamina, la metodología empleada incluyó la aplicación del NSR como parámetro económico principal, considerando factores económicos y metalúrgicos en su yacimiento polimetálico en Áncash. Aunque el reporte no presenta conclusiones explícitas, se llega a inferir que la aplicación del NSR optimizó la valorización de los bloques del modelo de corto plazo y mejoró las estimaciones de los recursos disponibles. Finalmente, este antecedente evidencia la aplicación del NSR en una de las operaciones mineras más importantes del país para la optimización y mayor precisión en la estimación.

2.2.Bases teóricas

2.2.1.Net Smelter Return (NSR)

El NSR o retorno neto de fundición es un indicador que se usa en la minería para la evaluación del valor neto que se llega a obtener de un bloque mineral después de descontar los costos correspondientes como son: procesamiento, penalidades, transporte y otros gastos, este indicador nos permite indicar si un bloque es económico para su minado, lo cual llega a ser fundamental para la correcta planificación de minado y ganancias de recursos minerales en el modelo de corto plazo.

Según Wills y Finch (2015), el NSR es el ingreso neto por tonelada de mineral que se espera obtener después de considerar todos los costos relacionados con el tratamiento del mineral y su venta, excluyendo los costos de extracción.

Para operaciones polimetálicas para calcular el NSR, es la siguiente formula:

$$NSR = \sum_{i:1}^n (Leyi \times Recuperacióni \times Precioi \times \%Pagaderoi) - Costosi$$

- Leyi: contenido metálico del mineral en el bloque
- Recuperacióni: porcentaje estimado de la recuperación metalúrgica del metal
- Precioi: precio del metal en el mercado
- Pagaderoi: porcentaje del metal que se paga por el servicio de fundición, después de las penalidades y descuentos.
- Costosi: lo demás contemplado como transporte, tratamiento y penalidades.

Según Downie (2019), la aplicación del NSR es útil para yacimientos polimetálicos porque mejora la rentabilidad de los bloques por toneladas, lo que optimiza el minado y la mejor toma de decisiones en un corto plazo, en este caso en particular será el cobre como producto principal y como subproducto al molibdeno , esta aplicación del NSR nos permitirá estimar con precisión la ganancia potencial de recursos minerales de cada bloque antes de su minado, esto será de vital importancia para la maximización del valor del bloque mineral

2.2.2. Modelo De Corto Plazo

En minería, este modelo representa una herramienta fundamental para la operación de un yacimiento, su definición es que es un subgrupo del modelo de bloques, encajado a una escala menor en términos de tiempo, lo cual puede ser diario, semanal y mensual, y que su enfoque es la rentabilidad del yacimiento en ese lapso.

Hustrulid y Kuchta (2013) nos indica que este modelo se construye bajo la información actualizada de la operación minera, esto incluye las leyes de los minerales, la geomecánica del lugar, la recuperación metalúrgica de la planta procesadora y la operacionalidad disponible, en su contra parte del modelo de largo plazo que tiene por finalidad el diseño final del tajo y la programación anual, este modelo de corto plazo está más predispuesto a optimizar resultados inmediatos y adaptaciones frecuentes del yacimiento.

Wills y Finch (2015) para la integración económica de este modelo es necesario un parámetro, ese vendría a ser el NSR, ya que nos va a permitir la cuantificación del ingreso total que se obtendrá por tonelaje procesado, después de los respectivos descuentos.

En los yacimientos polimetálicos, la aplicación del NSR es de vital importancia ya que valora correctamente los bloques del modelo de corto plazo con los subproductos como el oro, plata y molibdeno, incluso cuando la ley de cobre no llega a ser elevada, esta aplicación permite una correcta

clasificación precisa en términos económicos maximizando la ganancia de los recursos minerales por toneladas minadas. Wills y Finch (2015)

Según Whittle Consulting (2010), la aplicación del NSR permite el minado de los bloques del modelo con mayor precisión y valorización económica, lo cual genera una mayor rentabilidad en la operación minera.

Finalmente, el modelo de corto plazo con la aplicación del NSR asegura un minado viable operacional y financieramente.

2.2.3. Modelo De Bloques

El modelo de bloques es la representación total y tridimensional de un yacimiento, el volumen de todo el yacimiento está dividido en bloques o celdas, y cada una de ellas con las características correspondientes como mineral, litología, densidad, recuperación metalúrgica y variables geotécnicas, este modelo de bloques forma la base esencial para la realización de las estimaciones de los recursos y reservas.

Según Sinclair y Blackwell (2004) para crear este modelo se requiere ciertos datos específicos que se obtienen de la exploración como el sondeo, muestras y análisis químicos, y con esta data se interpolan por diferentes métodos geoestadísticos, como el kriggin ordinario, esto nos permitirá generar un modelo de bloques con información de valores estimados para

cada bloque, lo cual será importante para la secuencia del minado, cálculo del tonelaje y el material de mineral recuperable.

Este modelo es muy importante para la planificación de largo y corto plazo, para este estudio, este modelo nos sirve de base para la aplicación del NSR en ciertos bloques para la identificación de bloques con mayores ganancias tanto en mineral como en tonelaje, esto nos permitirá una mejor planificación al momento del minado y optimizando los valores de cada bloque.

2.2.4.Cut-off económico basado en NSR

Es el valor mínimo del NSR por tonelada que un bloque necesita lograr ser considerado explotable, ese valor está en función de otros parámetros como costos operativos, minado, procesamiento y otros costos indirectos, si el bloque es mayor al cut-off económico del NSR será considerado como mineral, en caso contrario será considera desmonte.

Adaptado de Hustrulid y Kuchta (2013) nos indica la siguiente formula:

$$Cut - off\ NSR = minado + procesamiento + transporte + otros$$

En donde cada componente de la formula representa los costos unitarios por tonelada.

2.2.5.Ore Control y reconciliación mina – planta

La función principal del equipo de ore control es garantizar que el mineral enviado de mina a planta cumpla con los valores previstos en el modelo de corto plazo como la ley y tonelaje principalmente, destacan que ore control debe incluir procesos rigurosos en muestreo, logueo, estimación y control de frentes. Según Amoako y Al-Hassan (2015), para que una reconciliación sea consistente, se debe gestionar las diferencias entre lo planificado y producido, es de vital importancia para evitar desviaciones y optimizar la exactitud del modelo.

Otros autores como Chierigati, Delboni Jr. y Costa (2013), considera como la fase crítica la reconciliación porque es en donde se validan los modelos de bloques de largo y corto plazo, al entrar en comparación con la planta. Destacan la implementación de controles estadísticos y mejoras continuas para la precisión del modelo de corto plazo y darle una visión más realista a la operación.

2.3. Definición de términos

2.3.1. NSR (Net Smelter Return)

Es un indicador económico que representa el valor total o neto por tonelada de mineral, después de disminuir los costos como transporte, tratamiento, penalidades, así como gastos asociados, la aplicación es clave para determinar el valor económico de un bloque y su minado en el modelo de corto plazo (Wills y Finch, 2015).

Según (Wellmer, 1989). El NSR era un indicador que refleja el real valor económico de cada bloque del modelo, consiguiendo la distinción entre los bloques de desmonte y mineral de una manera más precisa. La SME (2013), destaca que la aplicación del NSR es recomendable para yacimientos polimetálicos, como es el caso del presente estudio, por la integración de diferentes parámetros como la recuperación, costos, transporte y precios aplicados a los metales involucrados.

2.3.2.Ley de corte (cut-off grade)

Nos indica el contenido metálico mínimo que debe tener un bloque de mineral para que al momento de procesarlo sea económicamente rentable, este valor está afectado por diferentes variables como precio de los metales, costos y eficacia en la recuperación (Hustrulid y Kuchta, 2013).

Desde una perspectiva más teórica, Lane (1988), tuvo una definición conservada al asociar estrictamente la ley de corte como un concepto económico que depende del precio del metal y su procesamiento.

Logrando establecer las bases modernas de la definición de mineral.

2.3.3.Desmonte

Se refiere al material que no cumple con los valores económicos establecidos, se considera sin valor y no es procesado, su destino es el botadero (Hustrulid y Kuchta, 2013)

2.3.4.Recuperación metalúrgica

Es el valor del metal que está presente en el mineral que se puede extraer de una manera efectiva en la planta procesadora, este valor actúa directamente en la estimación mediante el NSR, al proporcionar el cuanto del contenido metálico del mineral se transforma en material comerciable (Wills y Finch, 2015).

2.3.5. Modelo de bloques

Es la representación de forma tridimensional de un yacimiento, el cual está dividido en pequeños bloques, y cada uno de ellos con características o valores estimados como ley, tonelaje, recuperación metalúrgica y factores geotécnicos, este modelo se utiliza para la estimación de recursos y precisar estrategias de extracción (Sinclair y Blackwell, 2004). Otros autores como Isaacks y Srivastava (1989) destacan lo fundamental que es el modelo de bloques para la integración de la variabilidad espacial de los datos disponibles.

2.3.6. Modelo de corto plazo

Es la herramienta que nos sirve para la planificación en un tiempo determinado y trata de maximizar la rentabilidad, en periodos diarios, semanales y mensuales, esta herramienta utiliza información geológica actualizada e información operativa para la toma de decisiones en el minado. (Hustrulid y Kuchta, 2013). Asimismo, en conceptos más modernos Dias et al. (2023) adicionan que los modelos de corto plazo es de vital importancia cuantificar la incertidumbre porque está ligado directamente a la clasificación de mineral-desmonte.

2.3.7.Precio base del metal

Es el valor del metal en el mercado al momento de la estimación, este dato del valor del metal, adjunto al valor de porcentaje pagadero y penalidades, están presentes en la valorización del mineral en el NSR. (Wills y Finch, 2015).

2.3.8.Porcentaje pagadero

Es el porcentaje del contenido metálico que al momento de la fundición se reconoce y se paga, después de los descuentos por impurezas. (Wills y Finch, 2015).

2.3.9.Penalidades metalúrgicas

Son los descuentos que se aplican al producto final o concentrado por impurezas o contaminantes, influye directamente en el valor final del mineral recuperado (Wills y Finch, 2015)

2.3.10.Optimización del minado

Abarca la selección y la extracción ordenada de los bloques del modelo para la mayor valorización económica posible del yacimiento, teniendo en cuenta la parte operativa y geológica-ambiental, el NSR nos facilita esta optimización (Whittle Consulting, 2010)

2.3.11. Yacimientos polimetálicos

Son los depósitos minerales que albergan varios metales en su geología con valor económico, como: cobre, plata, zinc, plomo, oro y plata, su valorización depende de sus respectivos precios, recuperaciones y penalidades. (Goldie & Tredger, 1991)

2.3.12. Reconciliación mina-planta

Es la comparación entre valores obtenidos en el modelo de bloques entre los valores obtenidos en la planta de beneficios, según Parker (2012), aseguran que el control geológico y operacional es de vital importancia para la validación del modelo y evitar sobreestimaciones o subestimaciones.

2.3.13. Vulcan

Software geológico especializado en ambientes mineros que nos va a permitir modelar y estimar yacimientos, la construcción de modelos de bloques y poder gestionar la planificación del minado tanto en corto plazo como en largo plazo, la aplicación del NSR en este software es fundamental ya que nos permitirá la visualización y el cálculo de forma acertada los valores económicos de los bloques tridimensionalmente (Maptek, 2020).

3.CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.HIPÓTESIS

3.1.1.Hipótesis general

H.G.: La aplicación del NSR en el proceso de estimación del modelo de corto plazo optimiza la valorización de los bloques, lo que contribuye a un aumento significativo en la ganancia de tonelaje de recursos minerales.

3.1.2.Hipótesis específicas

H.E.1: La aplicación del NSR nos va a permitir una valorización más precisa de cada bloque del modelo de corto plazo, incluyendo todas sus variables geometalúrgicas y económicas.

H.E.2: El uso del NSR impacta positivamente en la precisión de las leyes y el tonelaje estimado en el modelo de corto plazo

H.E.3: La aplicación del NSR clasifica con mayor precisión la categorización de los bloques, identificando cuales son económicamente viables.

3.2.VARIABLES

3.2.1.Variable independiente

- Aplicación del NSR (Net Smelter Return)

3.2.2.Variable dependiente

- Ganancia de recursos minerales en el modelo de corto plazo

3.3.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

A continuación, se presenta la tabla de operacionalidad de variables del presente estudio:

Tabla 1. NSR: Net Smelter Return. Elaboración propia-Nota.

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica/instrumento	Escala
NSR (independiente)	Valor total o neto del bloque	• NSR por bloque (USD) • Recuperación metalúrgica (%) • Precio metal (USD) • Penalidades	• Software geológico (Vulcan) • Método NSR • Modelo de bloques	Cuantitativa
Modelo de corto plazo (dependiente)	Clasificación del recurso mineral	• Tonelaje económico clasificado (T) • Valor económico de recursos recuperados (USD) • Numero de bloques estimados como mineral	• Resultados de la comparativa de métodos de estimación • Gráficos	Cuantitativa

4.CAPITULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.Área de estudio.

El presente estudio se realiza en una operación minera de tajo abierto polimetálica, se encuentra ubicada en la región de Apurímac, cuyo nombre se mantiene en reserva por temas de confidencialidad profesional, la operación minera ya cuenta con un modelo de bloques estimados con anterioridad, el cual consta de información geometalúrgica relevante como leyes de los metales , las recuperaciones metalúrgicas, densidades de los minerales , petrología y mineralogía asociada, todo eso permite la aplicación del NSR en la valorización económica de los bloques del modelo de corto plazo.

4.2.Diseño de investigación

El presente estudio es tipo Aplicada, porque busca generar saber con medidas prácticas en la optimización en la ganancia de recursos minerales aplicando el NSR. El método aplicado es el cuantitativo, porque relaciona los datos y análisis numéricos con los bloques y tonelajes recuperados. El diseño del presente estudio es no experimental y transversal, ya que la manipulación de variables no se realiza de forma directa, y la recopilación de los datos se realiza en lapso, sin el seguimiento a largo plazo.

Finalmente, el enfoque es técnico-económico, ya que el objetivo principal

de este estudio es la evaluación del impacto en la aplicación del NSR para la ganancia de recursos minerales en la estimación en el modelo de corto plazo.

4.3. Población y Muestra

En el presente estudio la población está conformada por la cantidad total de los bloques del modelo de corto plazo generado para este yacimiento, todos estos bloques llegan a representar al total, lo cual se podrían aplicar los diferentes parámetros, como la aplicación del NSR, por otro lado, la muestra del presente estudio está integrada por el subconjunto de bloques que consta con información importante como la data geometalúrgica robusta y confiable, totalmente necesaria para la aplicación del NSR, esto incluye leyes de mineral, porcentaje de recuperación, densidades de los minerales, petrología y mineralogía , así como los parámetros económicos como precio del mineral en el mercado, costos por el tratamiento metalúrgico y las penalidades, esta selección del presente estudio se realiza de forma intencional, bajo los criterios requeridos, con el afán de garantizar la aplicación del método NSR y aceptabilidad del análisis.

4.4.Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información.

En el presente estudio se realizó una metodología estructurada al momento de la aplicación del Net Smelter Return (NSR), a la estimación del modelo de corto plazo de un yacimiento polimetálico de tajo abierto ubicado en la provincia de Apurímac. En la metodología al momento de la aplicación del NSR se utilizó datos geometalúrgicos y económicos con el software Vulcan para la integración de estos datos.

4.4.1.Procedimiento

- Recopilación de datos geometalúrgicos y económicos

Se reunió información del modelo de corto plazo existente en la base de datos, esto incluye valores como leyes de mineral, factores metalúrgicos, recuperación del mineral, densidades, petrología y mineralogía. Además, se recopiló información de parámetros económicos como los precios del mercado de los metales, los costos de tratamiento, penalidades y transporte.

- Cálculo del NSR para cada bloque

Para el presente estudio se utilizará el software Vulcan para la aplicación de la formula NSR a cada bloque del modelo de corto plazo, con la incorporación de los parámetros geológicos, metalúrgicos y económicos, con la finalidad de asignar una correcta valorización a cada bloque.

- Clasificación de los bloques ajustado al umbral NSR

Se precisó el umbral donde se logre la rentabilidad, donde el cut-off sea económico permitiendo la correcta clasificación de los bloques como mineral o desmonte, según el valor del NSR obtenido por cada bloque.

- Comparación de la clasificación inicial del modelo

Los resultados que sean emitidos por el modelo de corto plazo después de la aplicación del NSR serán comparados con la clasificación del modelo de corto plazo anterior que fue basada en las estimaciones tradicionales, eso nos permitirá una correcta valorización de los bloques y la evaluación entre ambos modelos de corto plazo.

- Análisis de tonelaje mineral vs tonelaje desmonte

Finalmente, después del análisis de ambos modelos, tanto el del NSR, como el estimado tradicionalmente, se analizará el impacto en tonelaje mineral que se puede recuperar y transformar en ganancias de recursos, priorizando mejores decisiones para la estimación del modelo de corto plazo.

4.4.2.Técnicas

- Revisión de información interna como reportes geológicos, reportes metalúrgicos y reportes económicos.
- Manejo de base de datos y modelos previos y existentes
- La aplicación del método NSR, teniendo en cuenta el criterio técnico y cálculos necesarios para su correcta aplicación.
- QA/QC y reuniones técnicas para la validación de este método.

4.4.3.Instrumentos

- Para el cálculo del NSR, su aplicación en el modelo de bloques de corto plazo y analizar su rentabilidad se utilizará el software Vulcan
- En términos de tablas de datos económicos, data geometalúrgica y análisis comparativos se utilizará el software Excel
- Finalmente, se trabajará con información recopilada y validada de la base de datos interna del yacimiento.

4.5. Análisis Estadísticos

Para el análisis estadístico del presente estudio, se emplearon técnicas estadísticas dirigidas a la interpretación de los resultados tras la aplicación del NSR en el modelo de bloques de corto plazo, esto nos ayudará a identificar el comportamiento y la variabilidad de factores claves en el modelo, así como los efectos económicos en la clasificación del yacimiento.

En el presente estudio se emplearon dos herramientas fundamentales, para el análisis estadístico, procesamiento de data y gráficos, se utilizó Excel, y para el cálculo y aplicación del NSR, así como la visualización en 3D de los bloques del modelo de corto plazo, se utilizó Vulcan.

- Para los análisis estadísticos fueron considerados estas variables:

4.5.1. Valor del NSR por bloque

Integración de los parámetros geometalúrgicos y económicos

4.5.2. Leyes de los metales

Variabilidad de los bloques

4.5.3. Tonelaje recuperable

De acuerdo con el umbral rentable definido

4.5.4. Valor neto o económico

De los bloques rentables con el NSR, en comparación con la antigua clasificación.

- Para los análisis estadísticos fueron considerados estos métodos:

4.5.5. Análisis de tendencia central

Para los valores del NSR, se calcula, media, mediana y moda

4.5.6. Medidas de dispersión

Para conocer la variabilidad, se calculó desviación estándar y en rango

4.5.7. Distribución de frecuencias

Histogramas para la visualización de bloques según el NSR

4.5.8. Comparación de proporciones

Identificación en las diferencias entre ambos modelos y su clasificación de bloques como mineral-desmonte, antes y después del NSR.

Cabe mencionar que estos análisis estadísticos se aplicaron en una zona específica del yacimiento, conteniendo valores de geometalúrgica completa, esto nos ayudó a la validación y aplicación del método NSR y su impacto en el modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales

5.CAPITULO V: RESULTADOS

5.1.Cálculo del NSR para el polígono seleccionado

Para el presente estudio se realizó la aplicación del NSR en un polígono específico del modelo de bloques de corto plazo, este polígono fue elegido cuidadosamente por la información valiosa y validada que contenía al nivel geometalúrgico y económico, este polígono contiene 39 bloques del modelo, se encuentra en el yacimiento Ferrobamba, nivel 3600, proyecto 069, malla 01, en una zona estratégica del yacimiento.

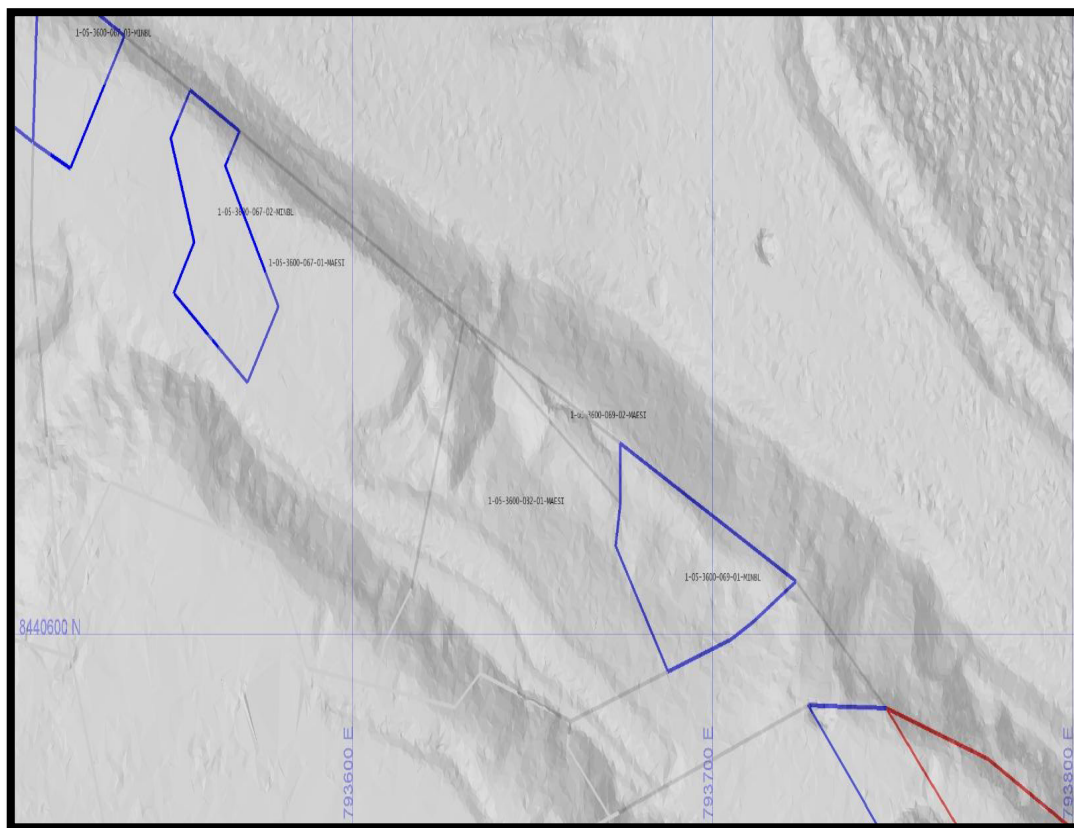


Figura 1. Ubicación del polígono 01-05-3600-069-01. Elaboración propia.

En el polígono se integraron valores para el cálculo del NSR como leyes de los metales (Cu, Mo, Ag), recuperación metalúrgica, densidades, precio actualizado del mercado para los metales, costos de tratamiento, transporte y penalidades adyacentes, la formula del NSR fue aplicada directamente en el software Vulcan

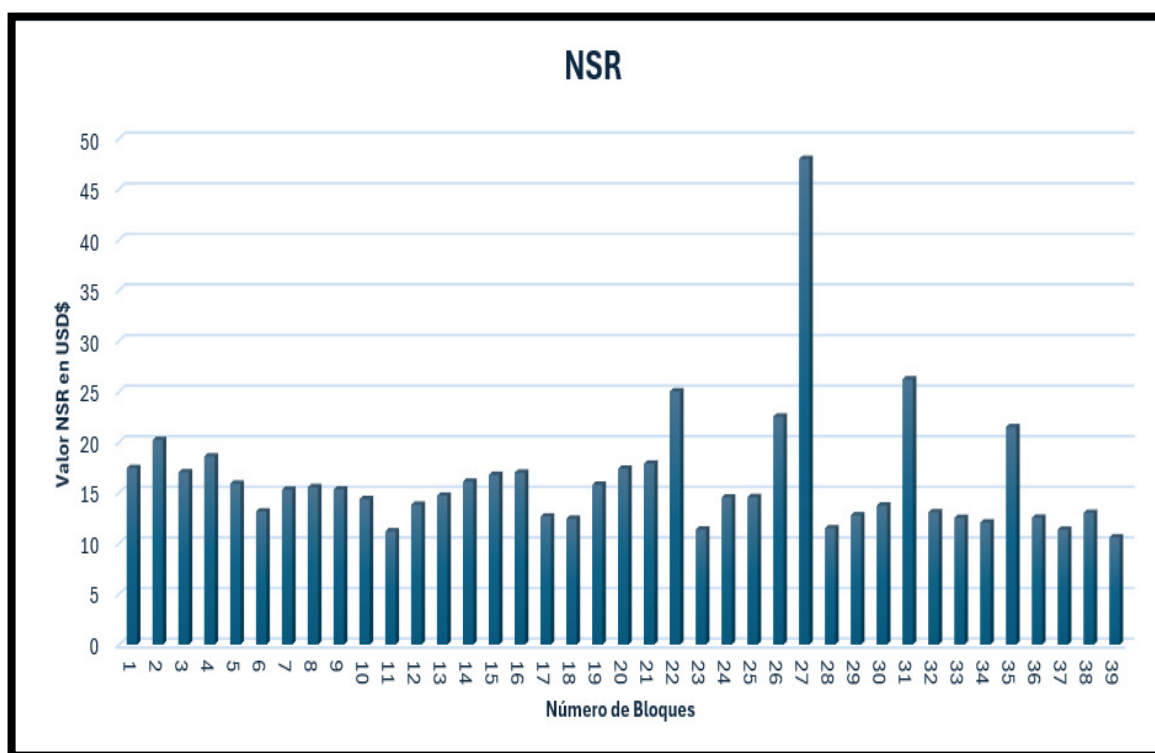


Figura 2. Valores del NSR de cada bloque. Elaboración propia.

Después de la aplicación del NSR obtuvimos los siguientes resultados:

Valor mínimo: 10.6 US\$/t

Valor máximo: 48 US\$/t

Valor promedio: 16.03 US\$/t

Mediana: 14.72 US\$/t

Desviación estándar: 6.38 US\$/t

Estos valores son de vital importancia para el reconocimiento de bloques rentables dentro del polígono, para una valorización económica más precisa.

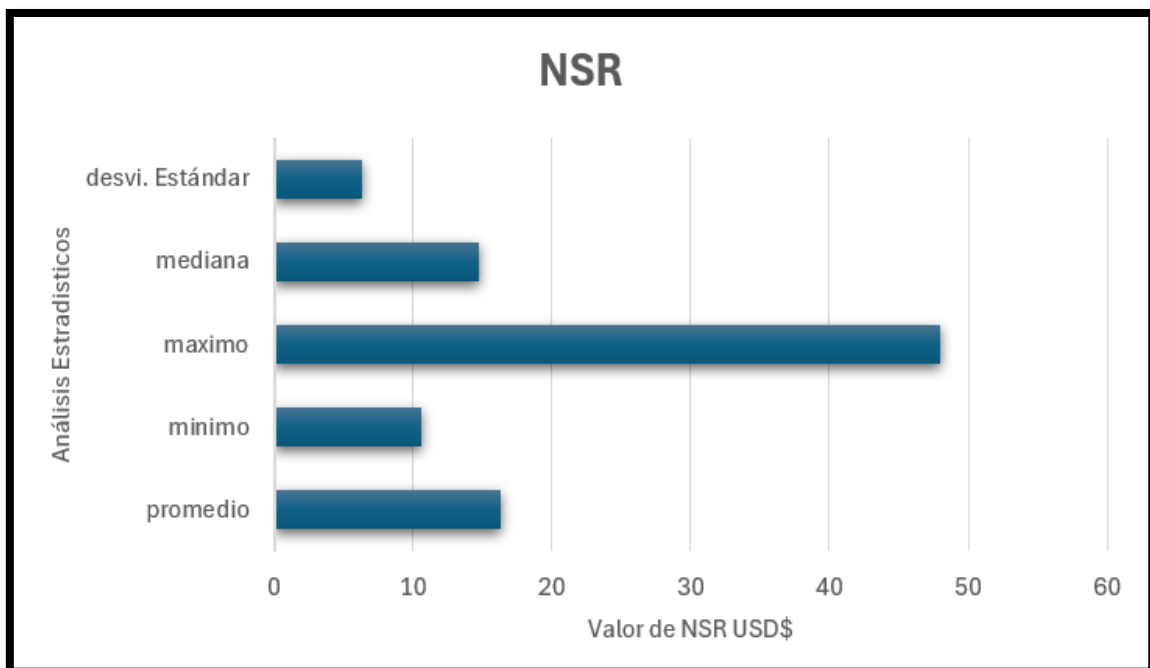


Figura 3. Gráfico de distribución de los valores del NSR. Elaboración propia.

5.2. Estadísticas de leyes en el polígono seleccionado

En esta sección del presente estudio se muestran los resultados de las leyes de los metales en los bloques del polígono seleccionado es complementaria al punto 5.1, el polígono cuenta con información clara y precisa brindada por el laboratorio permitiendo la integración y cálculo del NSR.

Los metales considerados para el presente estudio son: Cobre, Molibdeno y Plata, para cada uno se realizó la estadística correspondiente al nivel del polígono para cada bloque mediante Vulcan.

A continuación, el análisis estadístico para las leyes de los metales dentro del polígono del modelo de bloques seleccionado.

5.2.1. Distribución de ley de cobre

Se muestra una concentración entre 0.15% y 0.63%, con promedio 0.23%

de Cu en los bloques contenidos en la zona seleccionada

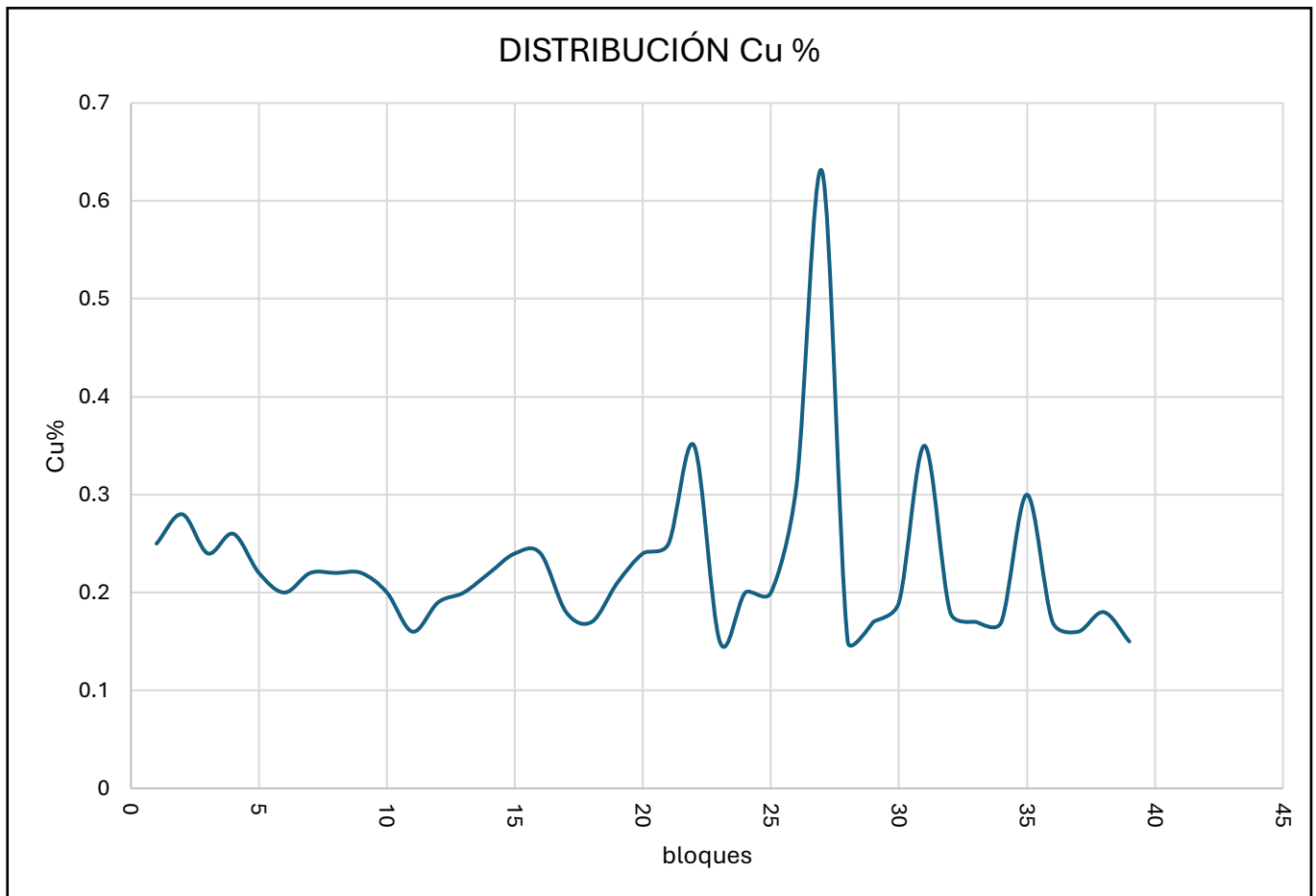


Figura 4. Distribución de leyes de cobre (Cu %). Elaboración propia.

5.2.2. Distribución de ley de molibdeno

Se muestra una concentración entre 21ppm y 150ppm, con promedio 61.72ppm de Mo en los bloques contenidos en la zona seleccionada

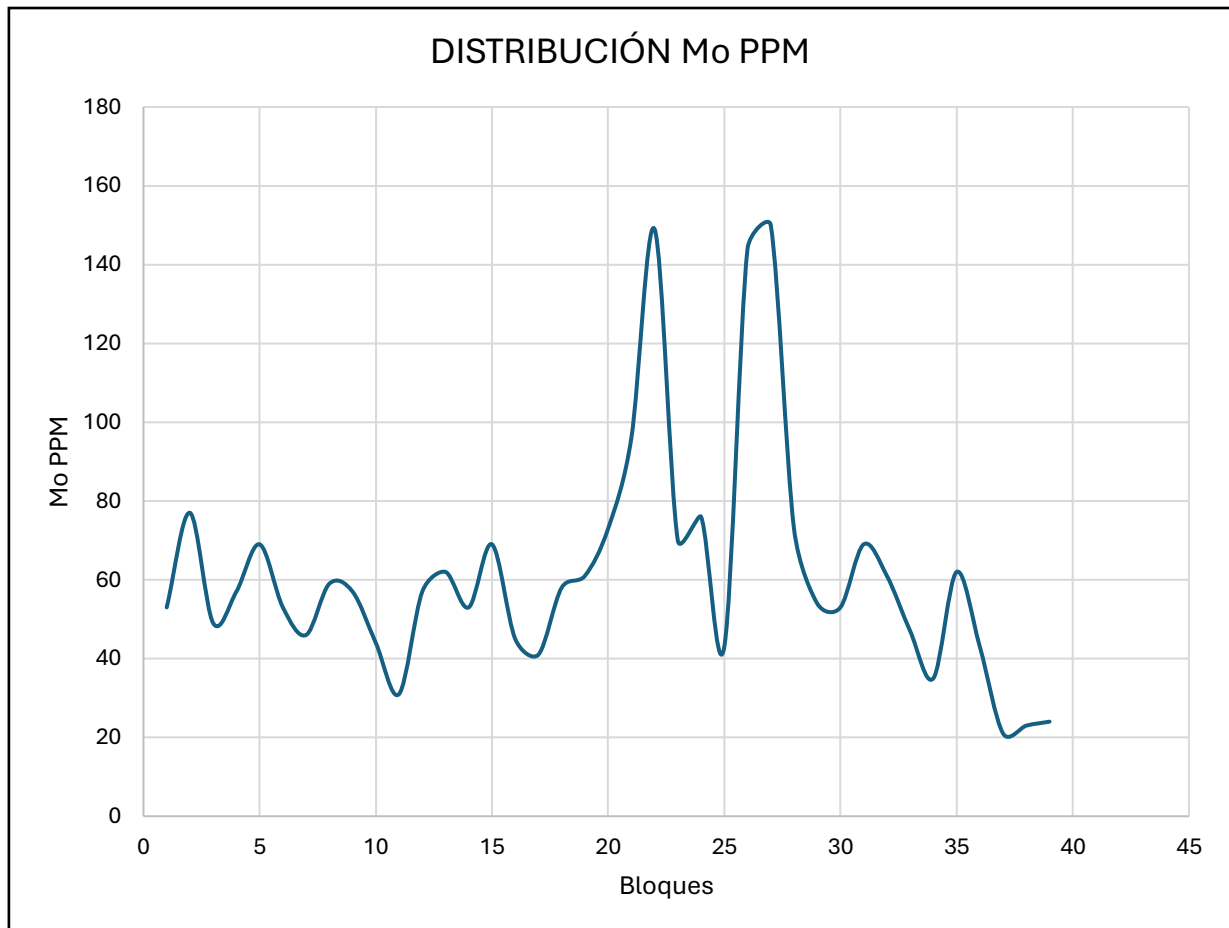


Figura 5. Distribución de leyes de molibdeno (Mo ppm). Elaboración propia.

5.2.3. Distribución de ley de plata

Se muestra una concentración entre 0.64g/t y 2.11g/t, con promedio 1g/t de Ag en los bloques contenidos en la zona seleccionada

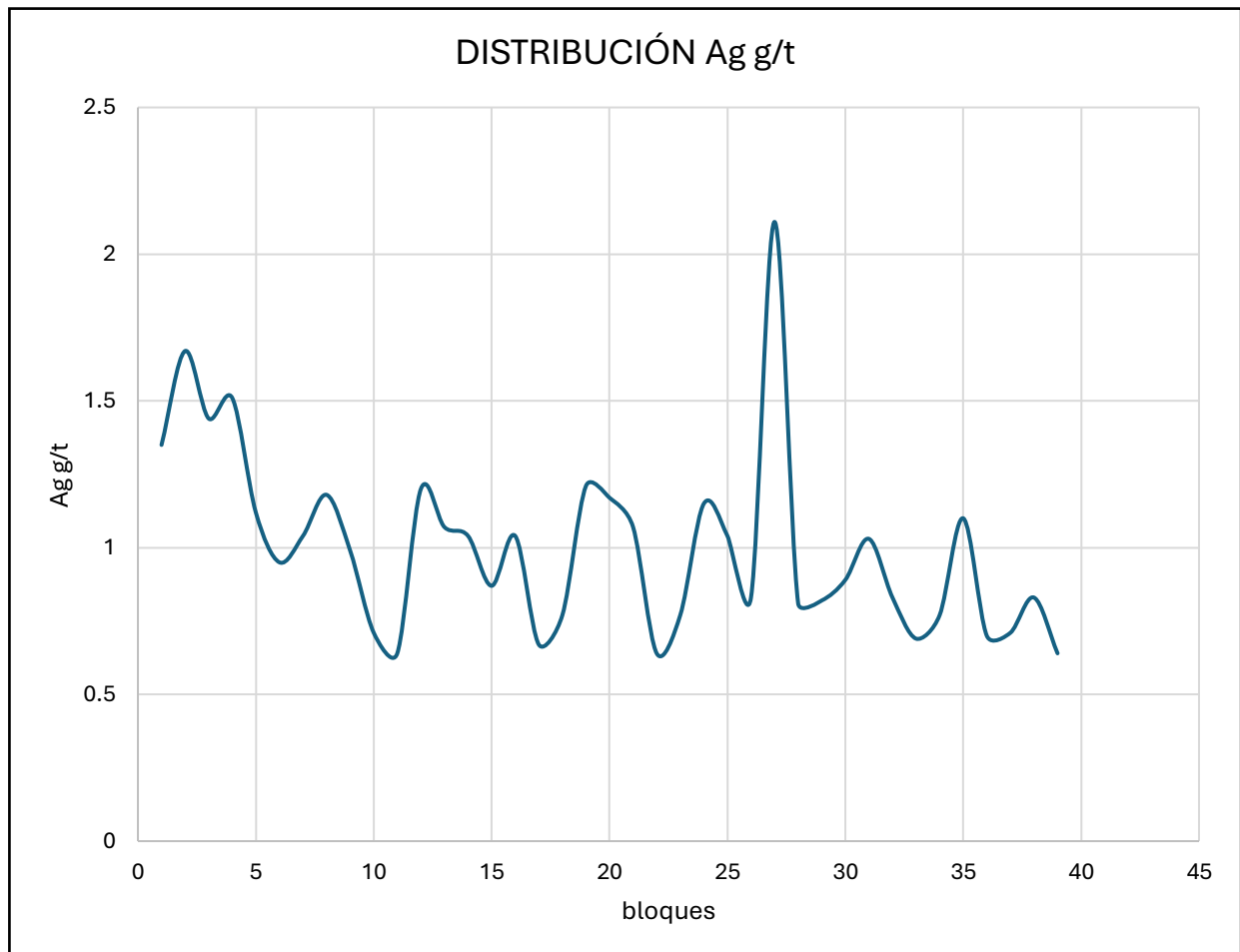


Figura 6. Distribución de leyes de plata (Ag g/t). Elaboración propia.

A continuación, la tabla resumen de los análisis estadísticos para los metales analizados:

Tabla 2. Resumen de análisis estadísticos. Elaboración propia.

Metal	Ley mínima	Ley máxima	Ley promedio	Mediana	Desviación Estándar
Cu %	0.15	0.63	0.23	0.2	0.1
Mo ppm	21	150	61.72	57	29.6
Ag g/t	0.64	2.11	1.01	1.01	0.3

Como se observa en las tablas conjuntas, el contenido del metal de los bloques en el polígono seleccionado muestra alta variabilidad, tanto valores muy ínfimos, así como valores altos, lo cual pueden llegar a tener un impacto al momento de la valorización de los bloques en el modelo de corto plazo. Esto nos demuestra una correlación geológica entre los valores del NSR con la mineralización de los bloques.

5.3. Clasificación de los bloques en el polígono (mineral – desmonte)

En esta sección del presente estudio, se expone la clasificación de los bloques del polígono seleccionado del modelo de corto plazo aplicando el método NSR como criterio económico, teniendo en cuenta un Cut-off de NSR definido con anterioridad, esta clasificación desde el punto de vista económico nos diferenciará los bloques que representan mineral y los desmontes.

Para el siguiente análisis se utilizó el valor económico del cut-off del NSR igual a US\$/t 11.90, esto es determinado por los siguientes parámetros:

- Costos de minado
- Costos de transporte
- Costo de procesamiento
- Costos de tratamiento y penalidades
- Recuperación metalúrgica
- Precio de los metales en el mercado

Con ese umbral del valor del cut-off económico del NSR, se llega a la clasificación de:

- Mineral

$$\text{NSR} \geq \text{cut-off económico}$$

- Desmonte

$$\text{NSR} < \text{cut-off económico}$$

A continuación, se presente los resultados al aplicar el NSR al polígono seleccionado:

Tabla 3. Resultados NSR al polígono seleccionado. Elaboración propia.

Clasificación	# de bloques	Tonelaje total	% del total	Ley promedio de Cobre	NSR promedio
Mineral	34	32KT	88%	0.24	17.05
Desmonte	5	4KT	12%	0.15	11.02
Total	39	36KT	100%	0.22	16.11

5.4. Proporción mineral – desmonte

Se muestra el resumen visualmente de la proporción entre la clasificación de mineral-desmonte

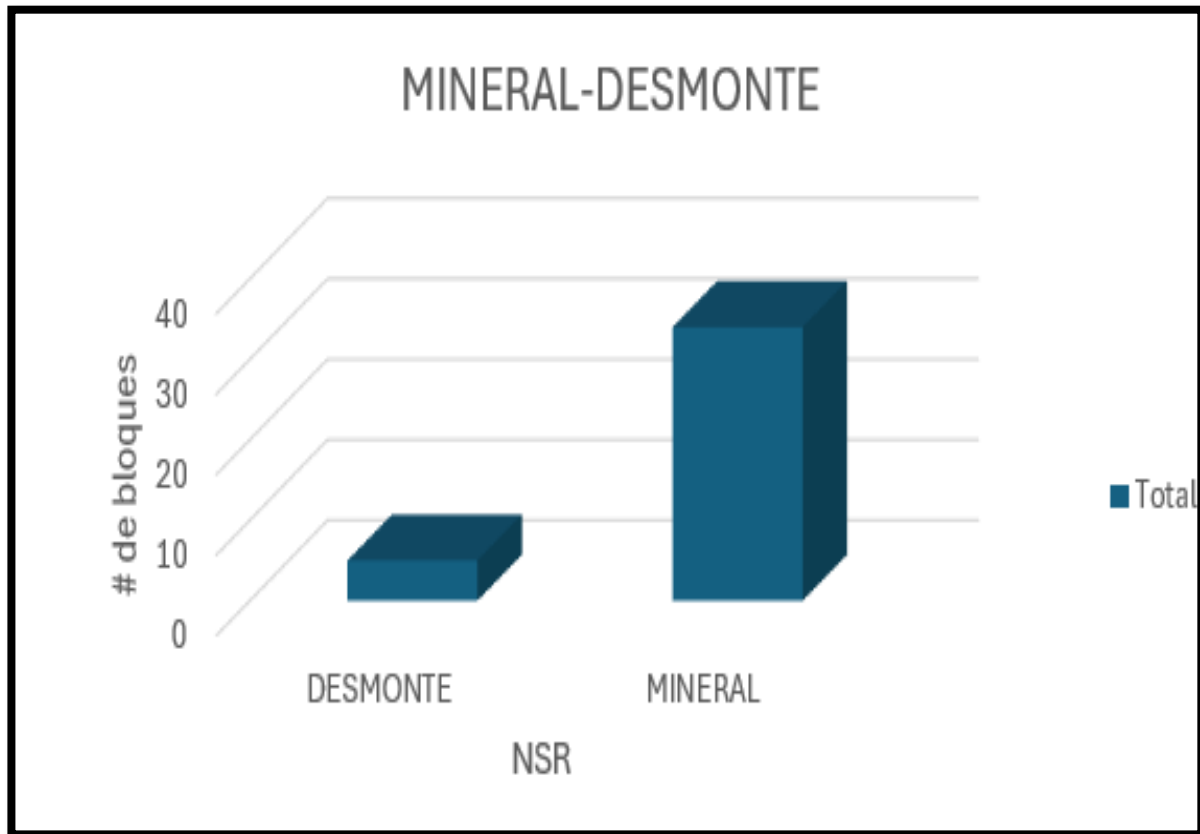


Figura 7. Gráfico de barras. Mineral-desmonte. Elaboración propia.

A través del software Vulcan se puede tener una visualización en 3D, donde se observa la distribución espacial del mineral-desmonte, del polígono seleccionado en el modelo de corto plazo

- Color azul: representa mineral
- Colore gris: representa desmonte

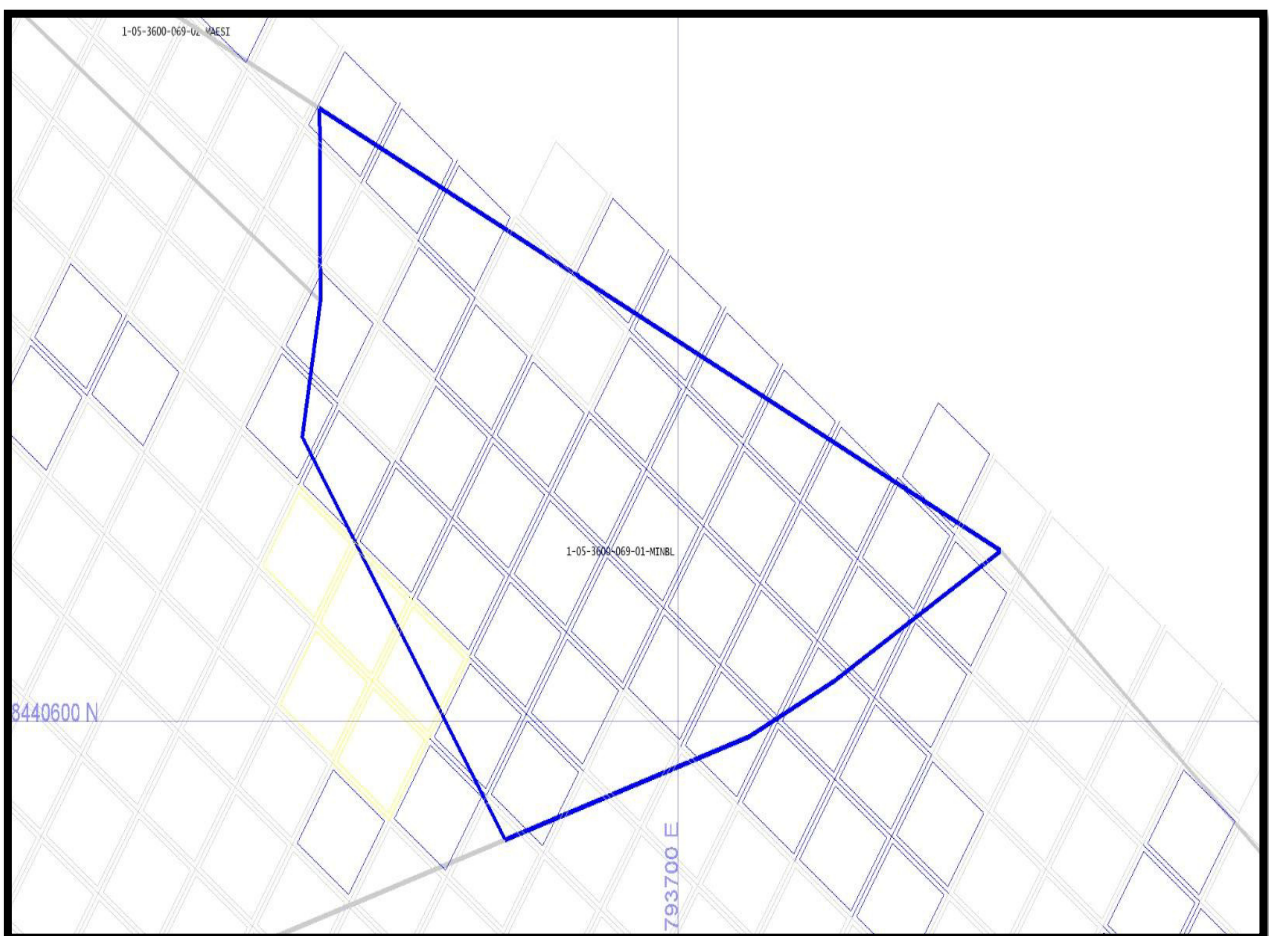


Figura 8. Vista en planta de los bloques coloreado por NSR. Elaboración propia.

De todos los bloques del polígono analizado, se cuenta con 88% de mineral y 12% de desmonte, todo esto clasificado por el NSR.

Este análisis de la aplicación del NSR en el modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales permite una clasificación más precisa de los recursos disponibles, buscando la optimización de la operación minera.

Cabe recalcar que los bloques que próximos al cut-off económico pueden presentar un grado de incertidumbre en su clasificación, ya sea por variaciones en los factores como el precio del metal, los costos de transporte y procesamiento en planta, que pueden ocasionar que un bloque cambie de categoría entre mineral y desmonte, el factor de incertidumbre debe ser considerado en la gestión del modelo de corto plazo.

5.5. Comparación con modelo anterior del polígono seleccionado

En esta sección del presente estudio, se comparó los resultados bajo 2 enfoques diferentes en la clasificación de los bloques del polígono elegido en el modelo de corto plazo:

- Utilizando la ley de corte tradicional (cut-off), en este caso se considera el valor de 0.18% de Cu, si es mayor o igual, se considera mineral, si es menor se considera desmonte.
- El otro enfoque es el aplicado en este estudio, la aplicación del NSR y su cut-off económico (ver sección 5.3)

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de los datos comparativos:

Tabla 4. Comparación de métodos NSR vs tradicional. Elaboración propia.

Modelo	Criterio	Variables
Tradicional (cut-off)	Ley de corte	Ley de mineral
NSR	Cut-off económico del NSR	Leyes + recuperación+ precios y costos

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de la clasificación mineral-desmonte de los bloques por los 2 métodos en el polígono seleccionado.

Tabla 5. Tonelaje de ambos modelos. Elaboración propia.

Clasificación	Modelo tradicional	Modelo con NSR	Diferencia en Toneladas
Mineral	27300 t	32000 t	+4700 t
Desmonte	8700 t	4000 t	-4700 t
Total	36000 t	36000 t	-

En el siguiente cuadro se muestra el cuadro comparativo del tonelaje clasificado:

Eje x: modelos

Eje Y: tonelaje

Series: mineral/desmonte

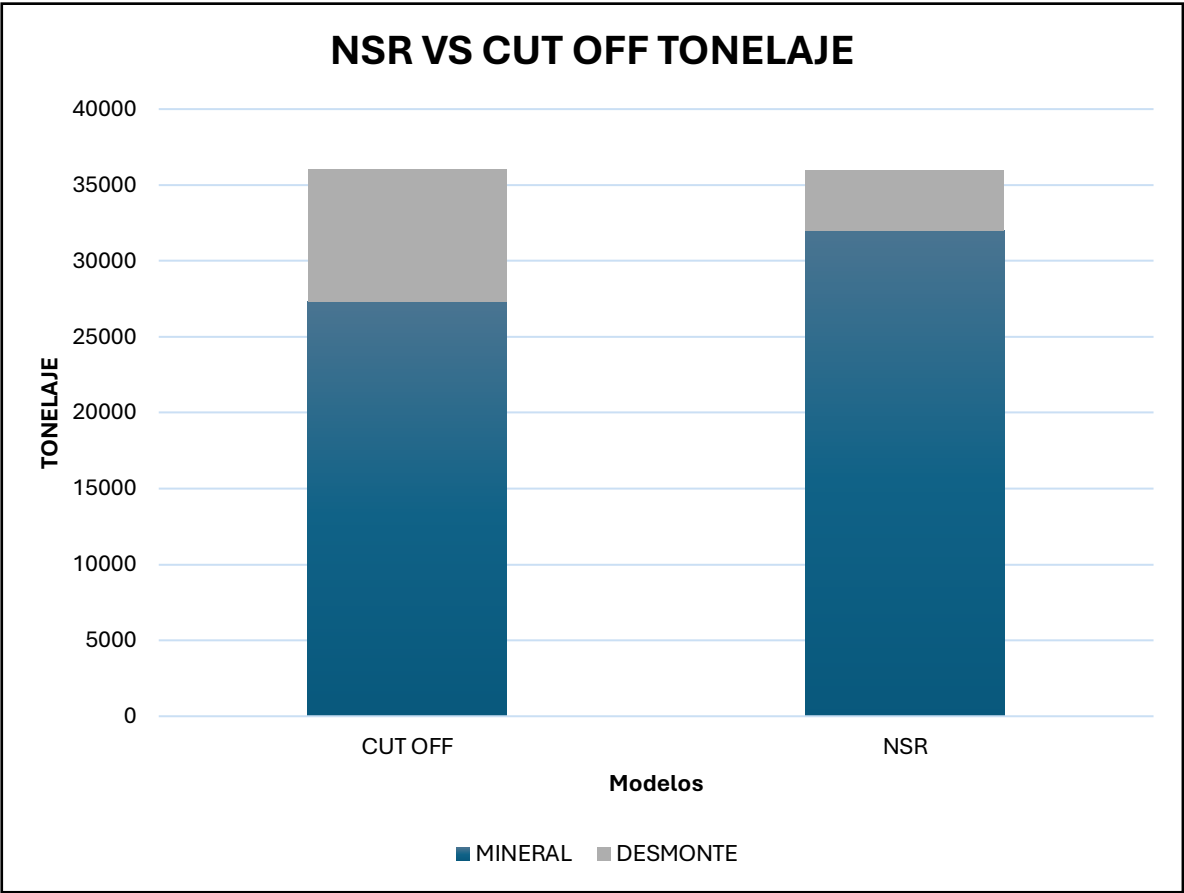


Figura 9. Gráfico de barras. Mineral-desmonte. Elaboración propia.

A continuación, se observa los modelos comparativos en 3D, tanto para el modelo tradicional por cut off y para el modelo por NSR, los colores permiten la diferenciación de los bloques reclasificados.

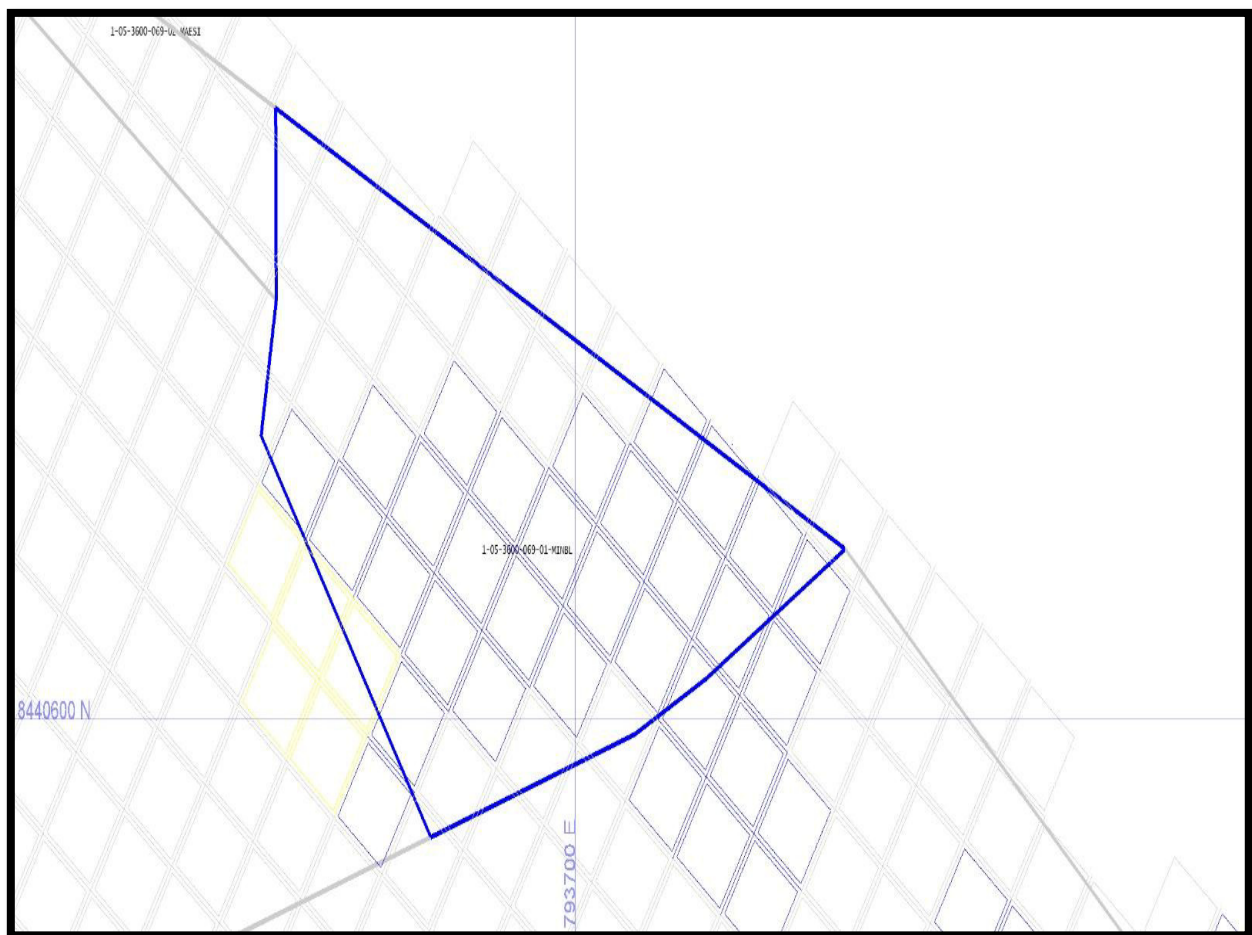


Figura 10. Mapa de bloques coloreado por cut-off. Elaboración propia.

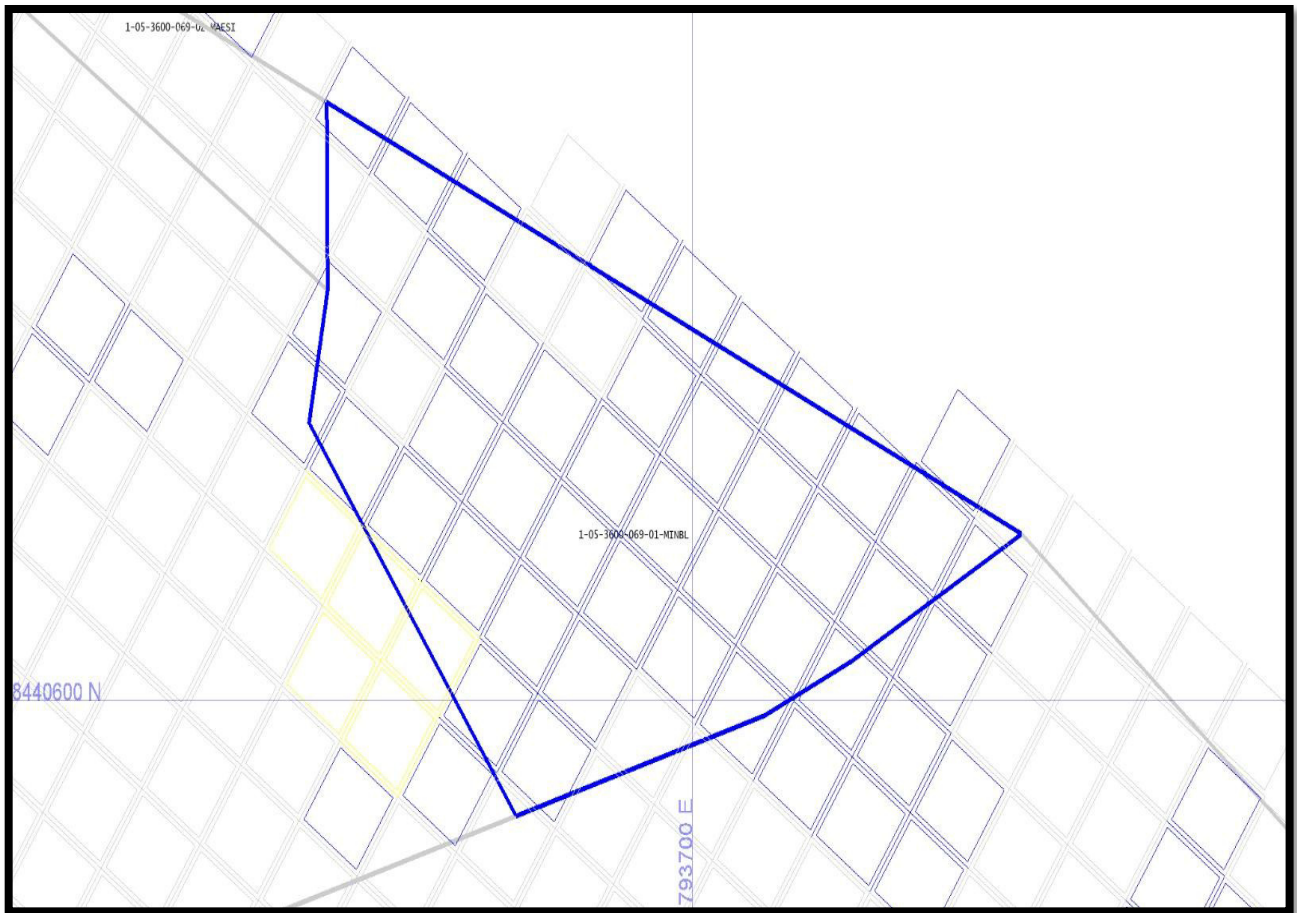


Figura 11. Mapa 3D de bloques coloreado por NSR. Elaboración propia.

Finalmente, este análisis y comparación entre modelos estimados con diferentes métodos nos brinda diferentes valores, con el modelo NSR nos da un enfoque más técnico y preciso para la estimación del modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales, maximizando la recuperación y optimizando las decisiones de minado.

5.6. Análisis económico y tonelaje recuperable

En esta sección del presente estudio se evaluará el impacto económico causado por la aplicación del NSR a los bloques del modelo de corto plazo, luego de su reclasificación, se procedió a la dolarización de los bloques.

En este análisis solo se considera los bloques que sean igual o superen el cut-off económico del NSR establecido, agrupa tanto el tonelaje como el NSR promedio para valorización total de recuperación.

- Valor neto o total económico: US\$/ tonelaje x NSR promedio
- Ley promedio del Cu de bloques de mineral: 0.22%
- Valor estimado del polígono con NSR seleccionado: 16.11%

A continuación, se mostrará una tabla comparativa entre el modelo tradicional de cut-off y el modelo con NSR considerando mismo precio de Cu, misma recuperación, mismos costos de transporte y penalidades, la diferencia es el valor agregado de minerales como el molibdeno y la plata.

Tabla 6. Diferencia de métodos en USD. Elaboración propia.

Modelo	Tonelaje de mineral (T)	NSR promedio	Valor total USD
Modelo tradicional (cut-off)	27300 t	-	439500
Modelo NSR	32000 t	16.11	515520
Diferencia	4700 t	-	76020

A continuación, se muestra una gráfica comparativa de la valorización entre ambos modelos

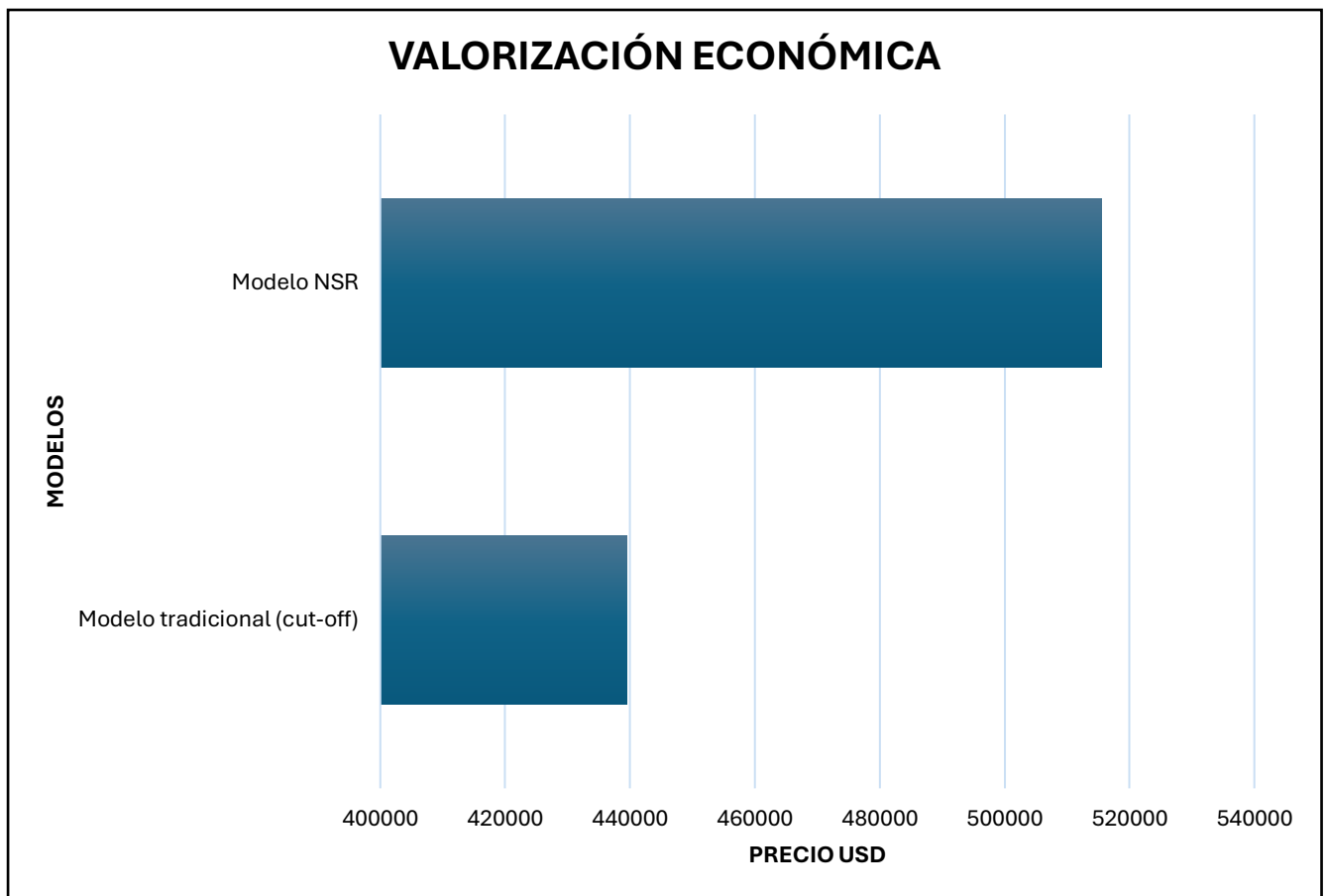


Figura 12. Gráfico de barras. Valorización económica NSR vs cut-off. Elaboración propia.

Este análisis nos evidencia el incremento del valor económico mediante el NSR, así como la ganancia de tonelaje, lo cual es un incremento en la estimación y valorización en el modelo de corto plazo en una suma de 76000 USD.

5.7. Análisis estadístico-económico de los bloques del polígono

En esta sección del presente estudio se estudiará el comportamiento económico de los valores en los bloques en el polígono después de aplicar el NSR, al analizar la distribución tendencia y dispersión de los valores económicos del NSR en el polígono nos brindará una visión más amplia sobre la variabilidad económica.

5.7.1. Tendencia central

Los valores económicos de cada bloque del polígono fueron evaluados para identificar su tendencia central:

- Media: US\$/15340.0
- Mediana: US\$/ 13854.0

No se muestra la estadística de moda, ya que los valores no son representativos en tema de comparación o igualdad, es decir, la ausencia de valores repetidos.

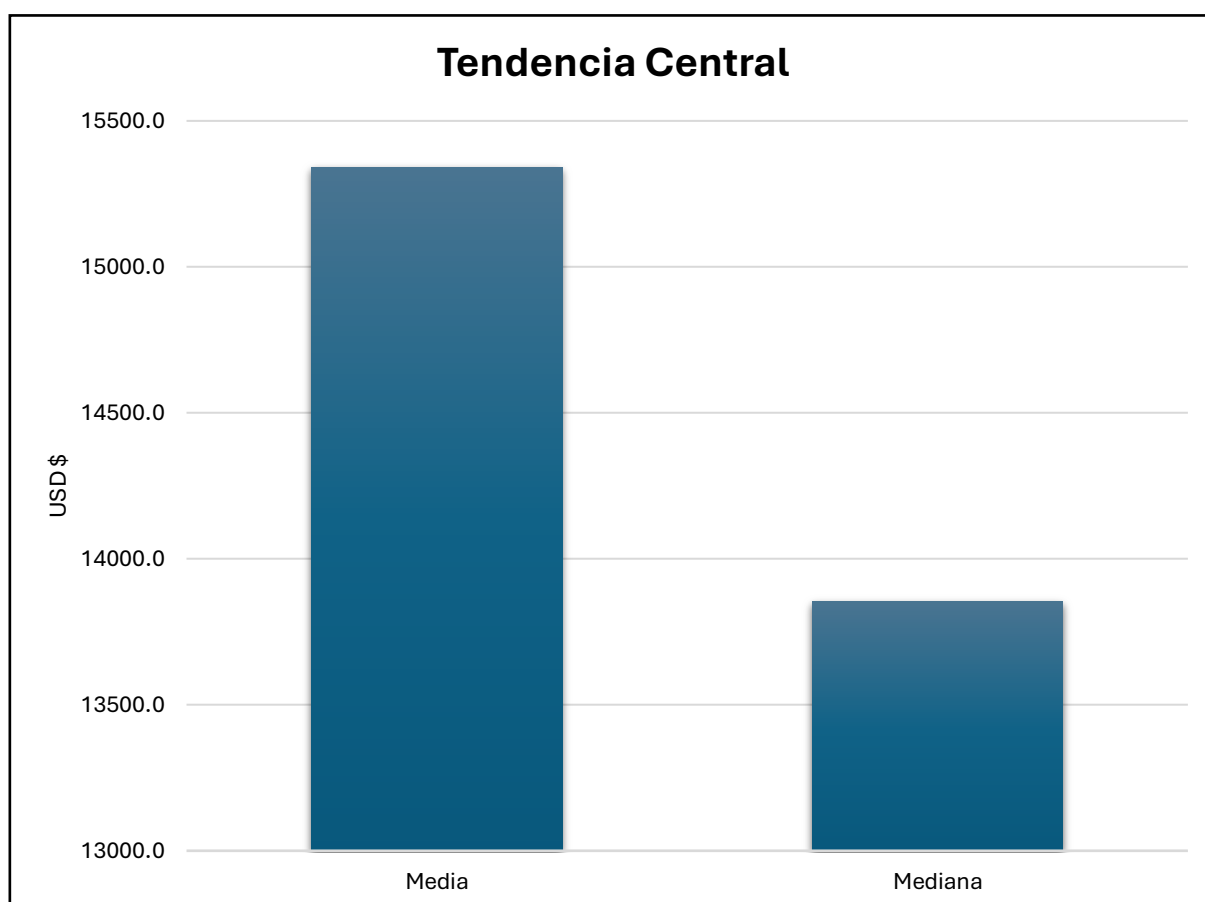


Figura 13. Gráfico de barras, media, mediana, del NSR. Elaboración propia.

5.7.2. Dispersión

Los valores económicos del polígono fueron evaluados para identificar su dispersión para saber la variabilidad del NSR:

- Desviación estándar: 5929 US\$
- Rango: mínimo 9976 US\$ - máximo 45176 US\$

Estos datos nos mostrarán la variabilidad, lo cual es vital para identificar bloques del polígono muy pobres o ricos en términos económicos.

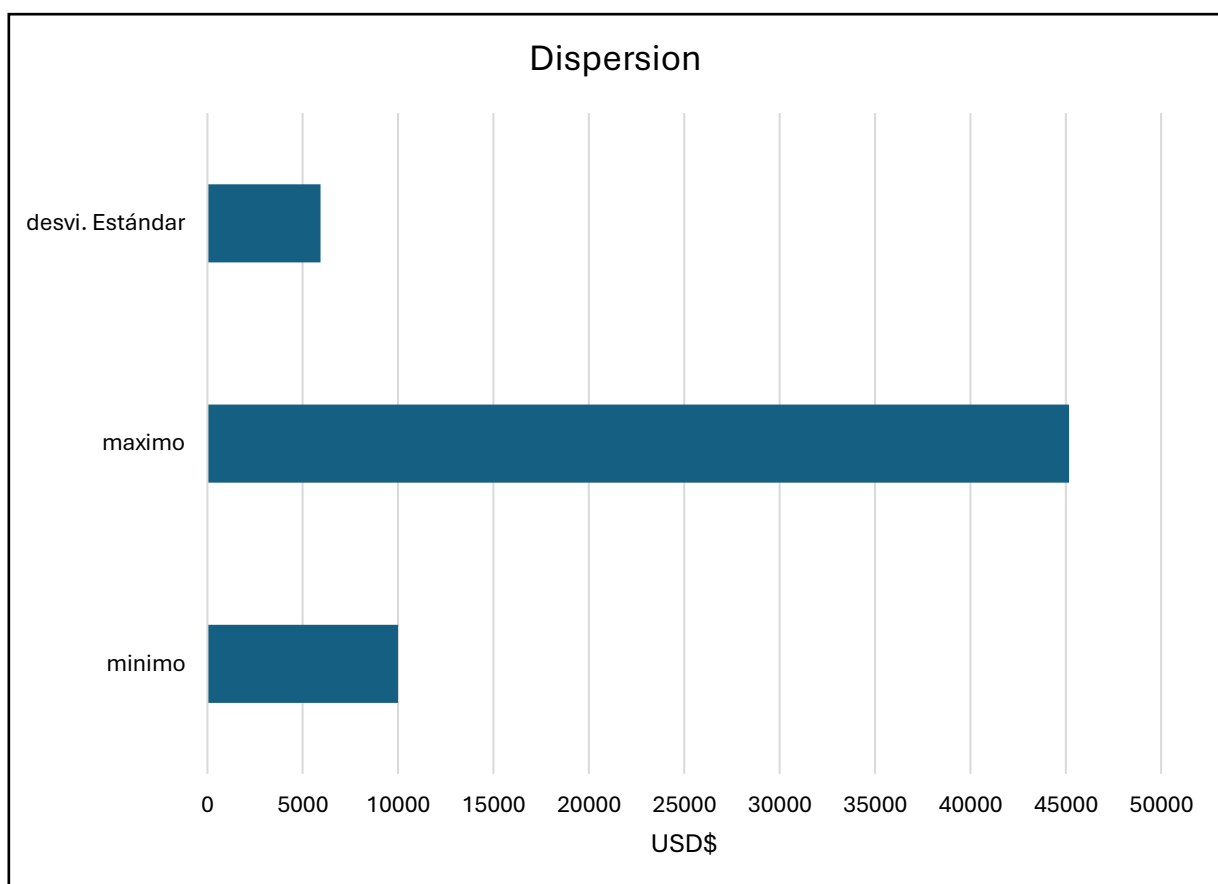


Figura 14. Gráfico de barras de la dispersión. Elaboración propia.

5.7.3.Distribución de frecuencias

Los valores económicos de los bloques del polígono fueron evaluados para el análisis de frecuencias, que nos muestra los bloques agrupados por intervalos de NSR y saber su distribución: asimétrica, normal o sesgada

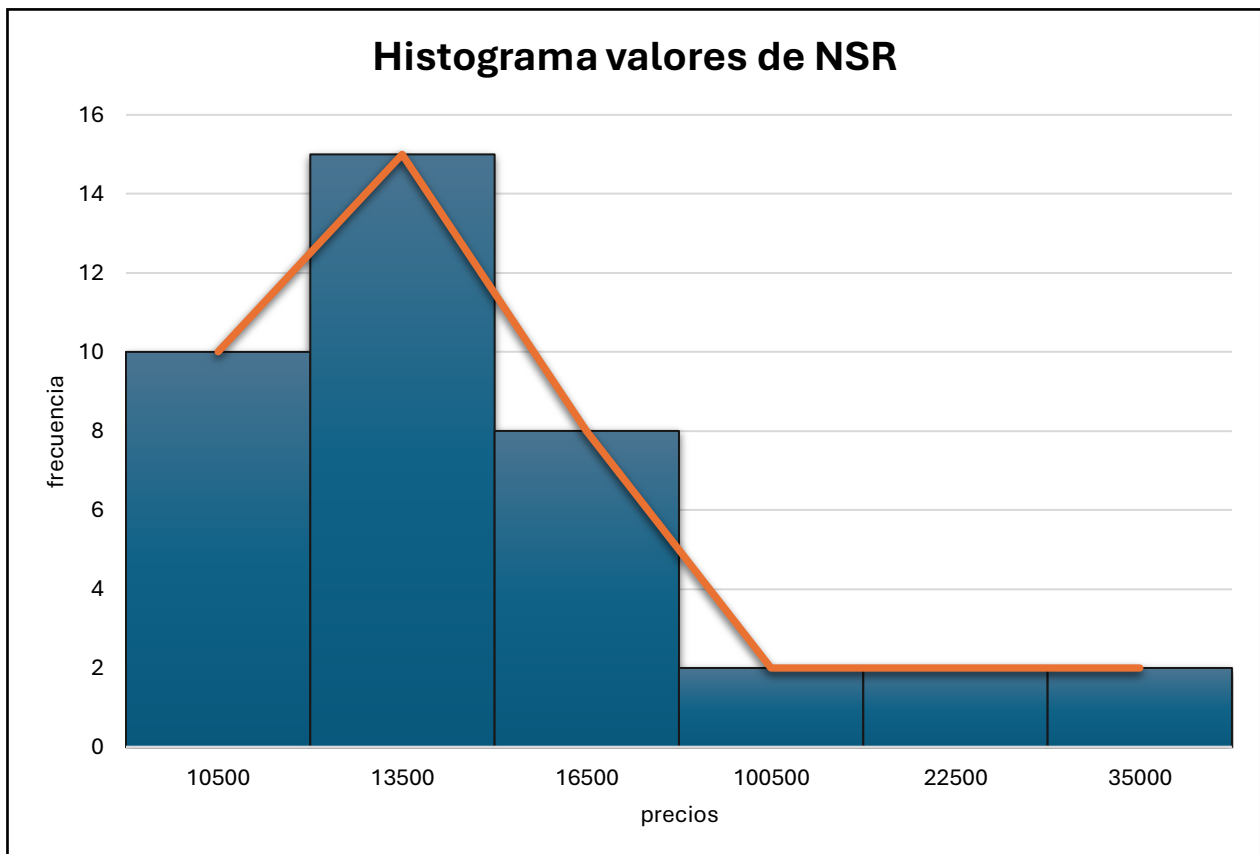


Figura 15. Histograma de distribución de valores de NSR. Elaboración propia.

Se observa que la mayoría de los valores se concentran en las primeras barras, también se observa una disminución hacia la derecha conforme aumenta el NSR, lo cual nos indica una distribución asimétrica positiva.

5.8. Clasificación por rangos NSR en dólares

Los valores en dólares de NSR se agruparon en 3 grupos para la visualización de la distribución del valor, la identificación de zonas rentables y para la toma de decisiones en el minado

- Rango 1: $NSR < 13000\text{US\$}$ - color Azul
- Rango 2: $13000\text{ US\$} \leq NSR \leq 18000\text{ US\$}$ - color Amarillo
- Rango 3: $NSR > 19000\text{\$/}$ - color Rojo

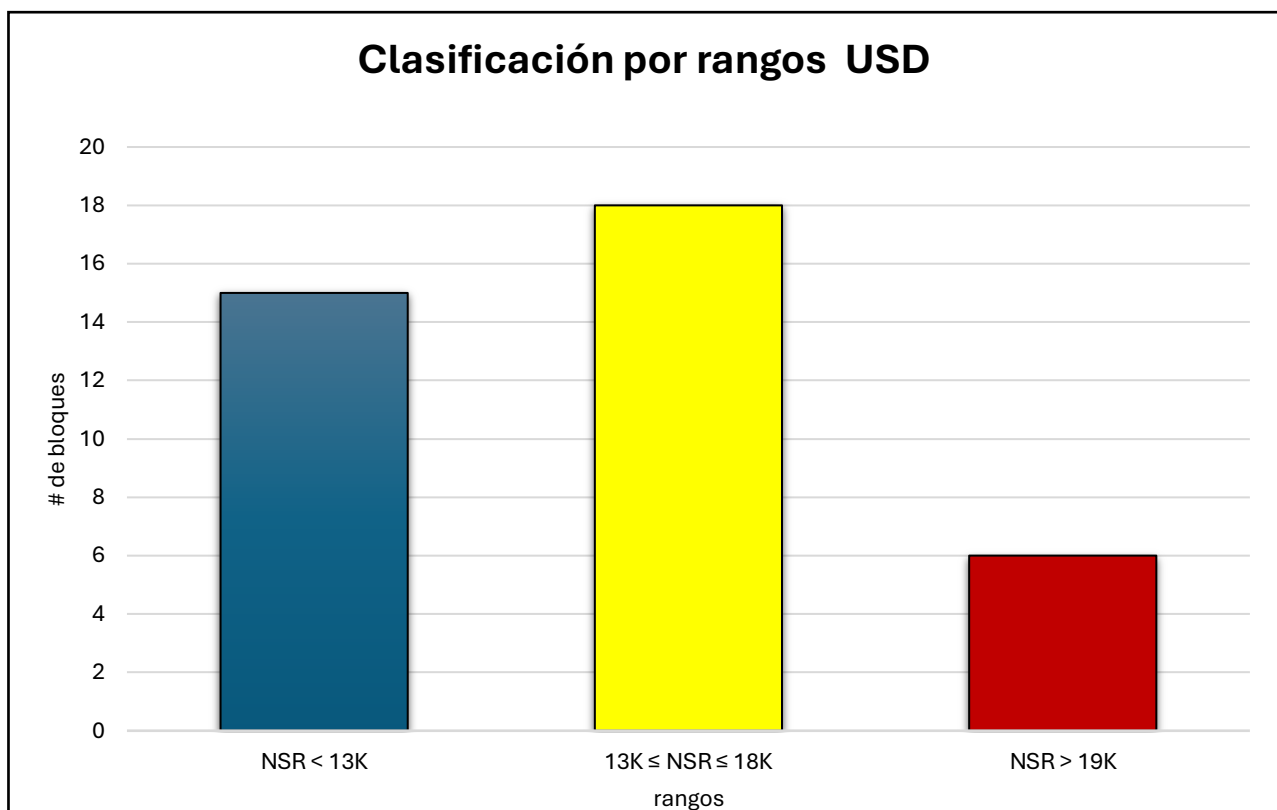


Figura 16. Gráfico de barras por rango USD\$. Elaboración propia.

Este análisis en los rangos determinados es útil para determinar zonas con mayor valor económico del polígono.

5.9. Visualización del polígono

Con el software Vulcan se mostrará el polígono para una mejor visualización, será enfocado en la valorización del NSR calculado y aplicado anteriormente.

- Vista general del polígono con sus valores NSR

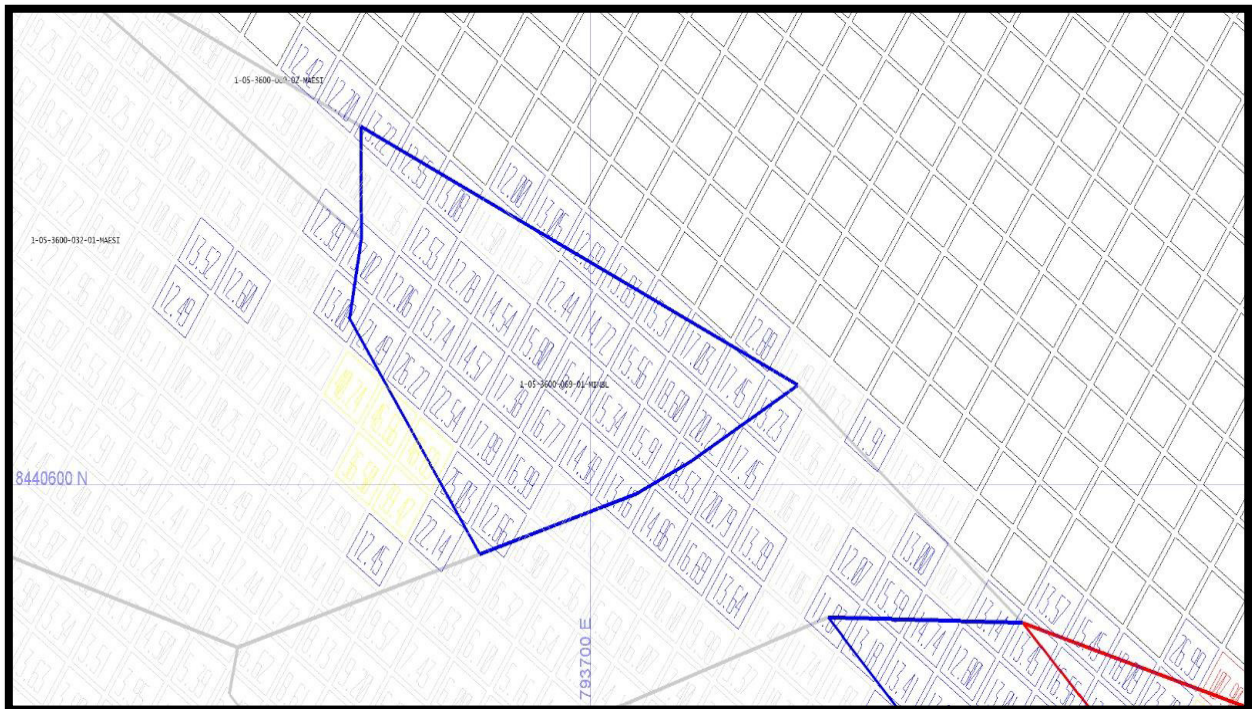


Figura 17. Mapa del polígono seleccionado dentro del modelo de corto plazo. Elaboración propia.

5.10.análisis espacial para definir mejores zonas de minado según NSR

Los bloques dentro del círculo rojo representan la mejor zona para minar por sus valores de NSR, en dirección de Esta a Oeste, según la flecha indicada.

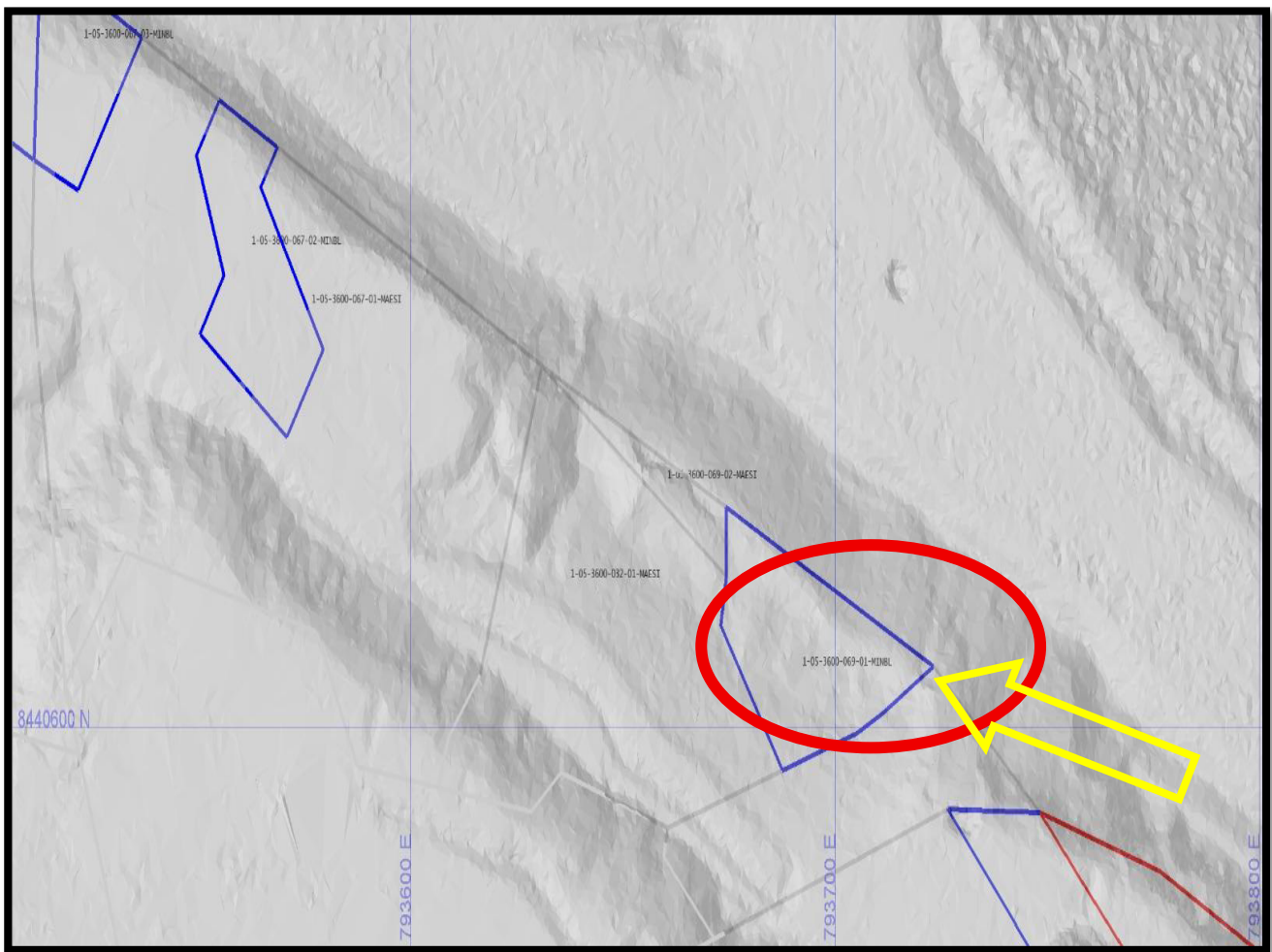


Figura 18. Mapa 3D del polígono según su NSR. Elaboración propia.

5.11. Vista de tipos de clasificación

En la siguiente imagen se observa los bloques que superan el cut-off económico del NSR, en la clasificación del polígono, ya teniendo todos los datos se puede procesar con valores de desmonte, baja, mediana y alta ley, en este polígono se obtiene: desmonte, baja ley y mediana ley.

Azul: mineral de baja ley

Amarillo: mineral de mediana ley

Gris: desmonte

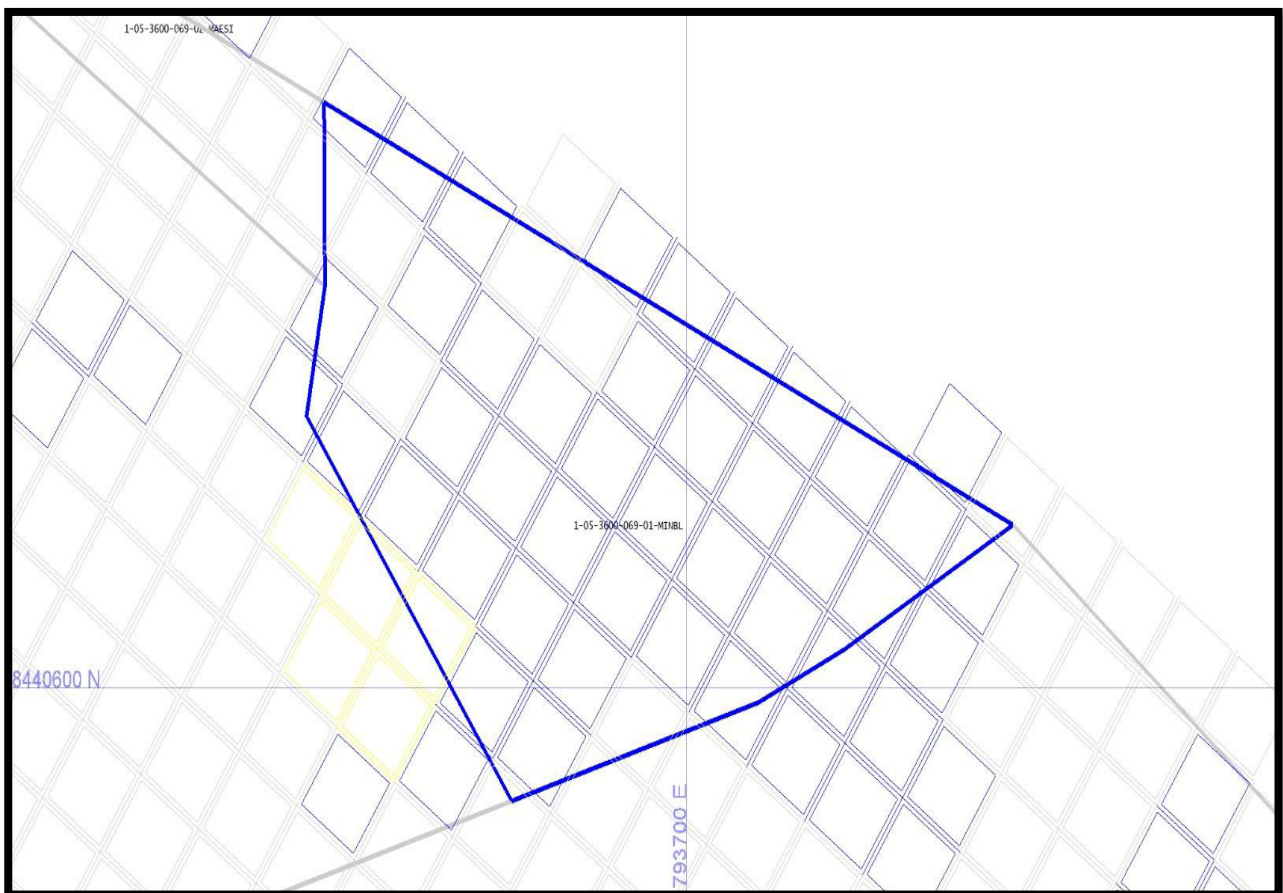


Figura 19. Mapa de bloques según el cut-off del NSR, mineral vs desmonte. Elaboración propia.

Estas visualizaciones nos darán un mejor panorama de la distribución de los bloques que cumplen con el NSR económico, observando zonas donde hay una mayor rentabilidad, y en otras zonas, menor rentabilidad, lo cual es el respaldo de la aplicación del NSR en el modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales.

5.12.Delimitación final del polígono para el minado

Finalmente, después de todos los análisis técnicos y económicos gracias a la aplicación del NSR en el modelo de corto plazo para la ganancia de recursos minerales, se procedió a la delimitación del polígono de minado, con los valores de los bloques y el criterio del geólogo.

El geólogo con la ayuda visual 3D del modelo de corto plazo, leyes de mineral, clasificación mineral-desmonte y su valorización económica, se trazó el límite para el recurso mineral explotable, considerando los parámetros adicionales como la continuidad geológica, estabilidad geotécnica, accesos operativos para los equipos y la secuencia de minado.

Esas áreas dentro del polígono consideradas como mineral, será minado en su momento correspondiente en coordinación con planeamiento y operaciones mina, optimizando la recuperación de estos recursos con los objetivos técnicos y económicos de la operación minera.

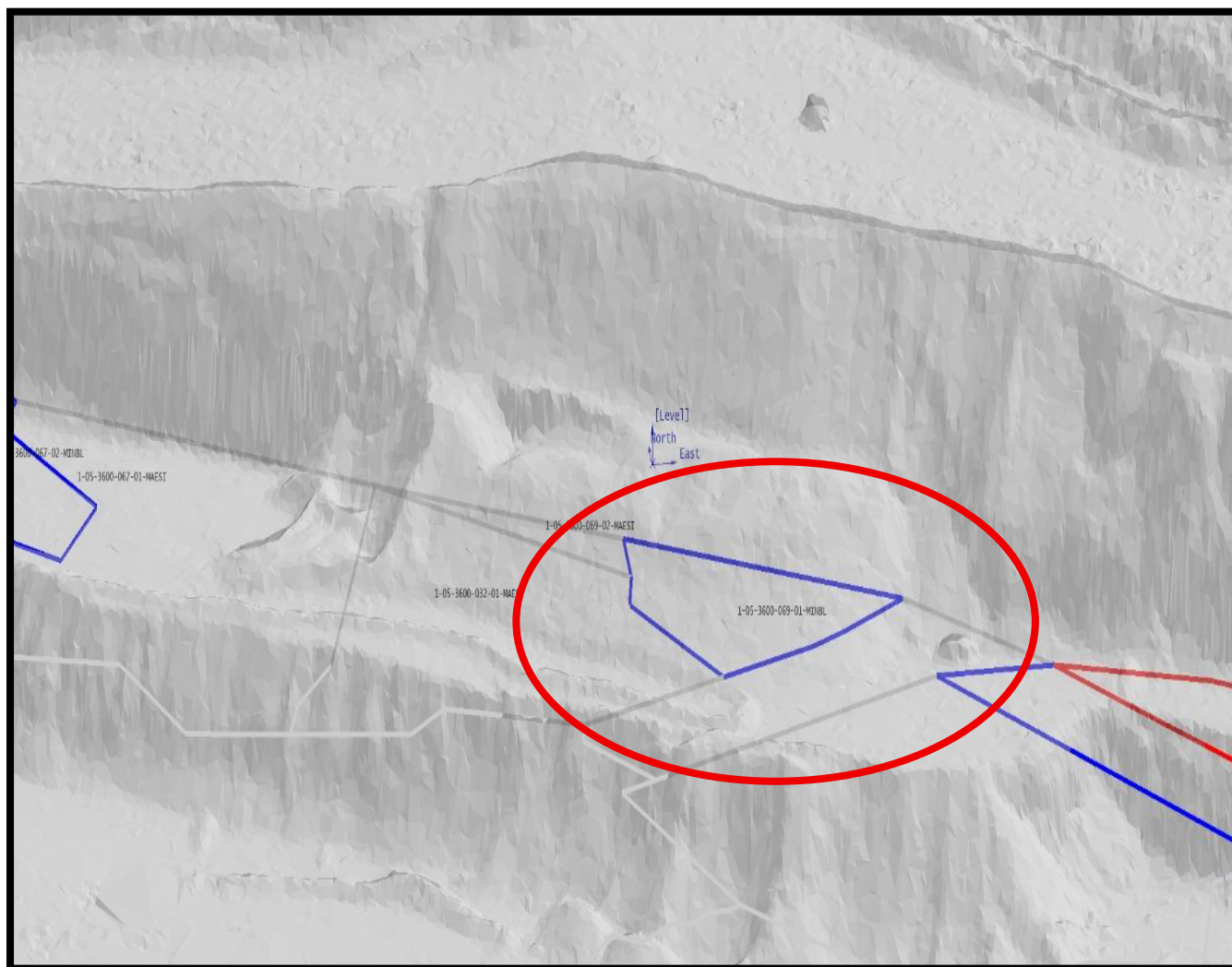


Figura 20. Mapa 3D del polígono final para el minado. Elaboración propia.

6.CAPITULO VI: DISCUSIÓN

6.1.Interpretación de resultados

La aplicación del NSR para la ganancia de recursos minerales en el modelo de corto plazo ha obtenido resultados que validan la hipótesis de este estudio, la optimización y la reclasificación de bloques que al principio eran considerados desmonte, se reclasificaron como mineral.

En el polígono estudiado 01-05-3600-069-01, se reclasificó 4700 T de desmonte a mineral , lo cual representa un incremento del 17% aproximadamente en comparación al modelo tradicional que se solía utilizar, esto viene de la mano con la ganancia en términos económicos de 76000 USD\$, estos resultados nos indican que la aplicación del NSR es un método y herramienta con más precisión que el método tradicional de estimación Cut-off , porque además de integrar la ley del mineral principal, en este caso el Cobre, también integra el Molibdeno y la Plata, considerando también las variables geometalúrgicas y económicas, evidencian una mejor realidad en temas operacionales.

6.2. Relevancia operativa

En términos de operaciones y control de mineral, el NSR significa un avance y una oportunidad de mejora en la gestión del modelo de corto plazo, la dolarización de los bloques facilita la comunicación y coordinación entre los 3 principales grupos que operan la mina como son geología, planeamiento y operación mina, ya que al ser un solo criterio de clasificación, permite priorizar frentes de minado que contengan mejor valor económico, evitando así el envío de material estéril o desmonte a planta ocasionando poca rentabilidad.

Para el área de planeamiento, es un soporte para la priorización de material a minar, según las condiciones de la operación, ya que se podrá tomar mejores decisiones según la distribución de los polígonos y la necesidad de mineral.

Para el área de geología es de vital importancia, porque se tendrá una mejor visión apegada a la realidad económica de los bloques, por consiguiente, al modelo de corto plazo, lo que optimiza los informes de reconciliación al momento de comparar los modelos con la información real de planta.

Finalmente, la visualización del polígono seleccionado en 3D y de los bloques clasificados por NSR nos muestra una distribución espacial más precisa y coherente con la geología de la operación, lo que fundamenta la aplicación del método NSR en los procesos de ore control.

6.3. Comparación entre estudios previos

Los resultados de este presente estudio son concordantes con otros estudios documentados en otras operaciones mineras, como se explicó en los antecedentes , en una mina en Tasmania, llamada Rosebery, Downie(2019) analizando sus resultados después de aplicar el NSR, reportó una mejora económica de 36 millones de dólares en un lapso de 3 años, teniendo como base los estudios de Goldie & Tredger(1991), asegura que el NSR es el indicador con mejor valorización y viabilidad de los recursos de una mina polimetálica.

En el presente estudio, los resultados arrojados, en una escala menor, nos brinda beneficios en recuperación de tonelaje y valor económico, justificando su aplicación en temas de optimización de recursos en la operación minera.

Los resultados obtenidos también nos brindan información del comportamiento geológico del yacimiento en Apurímac, en el caso del Cobre, Molibdeno y Plata, presentan una alta variabilidad, similar a los otros estudios realizados como el de Downie (2019), confirmando que la aplicación del NSR como criterio de valorización es de vital importancia para una correcta optimización.

6.4.Limitaciones del estudio

En el presente estudio se identifican algunas limitaciones para la correcta aplicación del NSR, principalmente el NSR se encuentra en dependencia de factores económicos como son el precio del metal, costos de tratamiento, transporte y penalidades, un movimiento o cambios en estos precios cambiaría el valor NSR de cada bloque.

Estos resultados son coherentes según Dias et.al (2023), indican que la cuantificación de la incertidumbre es clave para los modelos de corto plazo, porque las fluctuaciones en los precios de metales, recuperación y costos pueden cambiar la clasificación de mineral-desmonte, esto significaría un riesgo para la estimación.

Asimismo, con la información de estas zonas, se presenta una restricción en ciertas zonas por la densidad de muestro, lo cual puede generar una mala calidad en la estimación.

En el presente estudio, a nivel metodológico y operativo, se realizó la estimación sobre los bloques 5m x 5m x 15m, correspondiente al tamaño del bloque del modelo de corto plazo, estas dimensiones se consideraron de acuerdo con las condiciones y equipos de la operación minera.

La dilución y pérdidas operativas al momento del minado puede impactar en la valorización final de los bloques, se debe gestionar un óptimo control en campo para evitar esos problemas y obtener los valores más cercanos a los estimados.

7.CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.Conclusiones

- En el presente estudio, la aplicación del NSR para la ganancia de recursos minerales en el modelo de corto plazo nos permitió la validación de la hipótesis general, demostrando que este método optimizó la valorización económica de los bloques, en el polígono seleccionado se reclasificaron 4700 toneladas adicionales como mineral, generando una ganancia económica de 76 000 USD, este aumento es el sustento de que la aplicación del NSR ofrece un incremento de recursos frente a la aplicación del corte de ley tradicional en operaciones polimetálicas.
- La aplicación del NSR nos permite una valorización más precisa de cada bloque del modelo de corto plazo, porque involucra diferentes factores de manera simultánea como: metalúrgicos, geológicos, mineros, económicos, costos, transportes, deducciones y penalidades, a diferencia del uso del método tradicional de ley de corte, el NSR ofrece una valorización integral y más real de cada bloque del modelo de corto plazo.

- La aplicación del NSR impactó positivamente en la precisión de la estimación de leyes y tonelaje en el modelo de corto plazo, se logró un incremento del 17% de mineral clasificado pasando de 27 300 T a 32 000 T, gracias a los subproductos como el molibdeno y la plata, considerando las recuperaciones y costos adyacentes. Este incremento nos demuestra que la aplicación del NSR optimiza la rentabilidad, valorización económica y confiabilidad de las estimaciones de la operación minera.
- En relación con la gestión operativa y la priorización de las zonas de minado, la aplicación del NSR permitió una clasificación más precisa de los bloques, principalmente en la diferenciación de los bloques económicamente viables con los no económicamente viables. Con un 88% de bloques reclasificados como mineral por el NSR y 12% como desmonte a comparación del método tradicional de ley de corte, que clasificó 76% de bloques como mineral y 24% como desmonte, evidenciando una mejora de tonelaje. Esto nos demuestra que la aplicación del NSR nos ofrece una mejor valorización y optimización de los recursos mineros en el modelo de corto plazo.

- Finalmente, la aplicación del NSR mejora la precisión económica, operativa y técnica del modelo de corto plazo, por la consideración de todos los factores involucrados como: geometalúrgicos, geológicos, económicos y operativos en un solo valor cuantificable, esto permite una mejor toma de decisiones en procesos de Ore Control y minado, teniendo un mejor manejo de los recursos de la operación minera. Por consiguiente, el uso del NSR se consolida como un criterio clave y preciso para las operaciones mineras polimetálicas, aportando valor agregado en la gestión de recursos mineros.

7.2.Recomendaciones

- Este modelo ya fue implementado de forma sistemática en la operación minera, siendo el principal criterio para la clasificación de mineral-desmonte, esto mejoró la rentabilidad de la mina y la precisión en la planificación operativa día a día.
- Extender y ampliar la aplicación del NSR hacia los demás modelos como el de largo plazo principalmente, esto evitará errores de sobreestimación o subestimación, en los recursos en el yacimiento, logrando una estabilidad en lo económico y operacional.
- Continuar con el fortalecimiento y capacitación del personal de geología, planeamiento y operaciones-mina en el uso e interpretación del NSR, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de otras minas, así como la presente mina analizada, con la finalidad de una correcta interpretación y operacionalidad en los procesos de minado, ore control y reportes de reconciliación mina-planta.

8.CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Amoako, R., & Al-Hassan, S. (2015). *Ore grade reconciliation techniques – A review*. Journal of Geoscience and Geomatics, 3(5)
- Beard, D., Moran, L., Brannon, B., & Rumbino, A. (2024). *Update on the Grasberg and Kucing Liar block cave mines*. En Proceedings of MassMin 2024. Australian Center for Geomechanics.
- Chierigati, A. C., Delboni Jr., H., & Costa, J. F. C. L. (2013). *Sampling for proactive reconciliation practice*. Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section A.
<https://doi.org/10.1179/174328608X396526>
- Coanqui Pacha, J., F. (2019). *Optimización de plan de minado a corto plazo en la Unidad Minera Tacaza – Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional
- Compañía Minera Antamina S.A. (2024). *Technical report On the Antamina Mining Operation*, Perú (NI 43-101)

- Dias, G. M. C., Rocha, M. M., & Silva, V. M. (2023) *A novel geostatistical index of uncertainty for short-term mining plan*. CIM journal.

<https://doi.org/10.1080/19236026.2022.2145077>
- Downie, W. (2019). *Application of a Net Smelter Return model within a polymetallic base metal processing plant*. Proceedings of the MetPlant 2019 Conference.
- Goldie, R., & Tredger, P. (1991). *Net Smelter Return models and their use in the exploration, evaluation and exploitation of polymetallic deposits*. Geoscience Canada, 18(4), 159–171.
- Hudbay Minerals Inc. (2024). *Annual Reserve & Resource Update (Report)*. Hudbay Minerals.
- Hustrulid, W., & Kuchta, M. (2013). *Open pit mine planning & design* (3^a ed.). Taylor & Francis.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M., (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press.
- Lane, K. F. (1988). *The economic definition of ore: Cut-off grades in theory and practice*. Mining Journal Books

- Ledesma, M. J.A., & Bastidas Meza, C. B. (2024). Análisis de la Conciliación del tonelaje, leyes y NSR de la veta Don Ernesto, NV 3990 para la mejora del rendimiento operacional en la Unidad Minera El Porvenir-Cerro de Pasco [Tesis profesional, Universidad Continental].
- Malca Casavilca, N.R.C., Mayorga Rojas, J.C., Ccatamayo Barrios, J.H., Soto Juscamayta, L.M., Sánchez Pimentel, J.I., & Del Águila Guerrero, E. F. (2025). *Fundamentos de la investigación científica en ingeniería: desde la elección del tema hasta la defensa de la tesis*. Centro de investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación (CILADI)
- Maptek. (2020). *Vulcan 2020: Integrated geology and optimized mine design*.
- Nexa Resources (2021). *Technical report on the Cerro Lindo Mine*; Ica, Perú. Nexa Resources.
- Nexa Resources. (2023). *Technical report on the Cerro de Pasco Mining Complex*, Perú (NI 43-101)

- Padilla, R., Emerson, C., Delgado, A., Iturralde, C., & Andrews, M. (2024). *NI 43-101 Technical Report for the El Peñón Gold-silver Mine*, Antofagasta Región, Chile, Pan American Silver Corporation.
- Parker, H. M. (2012). *Reconciliation principles for the mining industry*. Mining Technology, 121 (3)
<https://doi.org/10.1179/1743286312Y.0000000007>
- Quispe Bruna, M. (2019). *Planeamiento de programación de producción de minerales a corto plazo en minería subterránea* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14041>
- Sinclair, A. J., & Blackwell, G. H. (2004). *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge University Press.
- Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. (2013). *An introduction to cut-off estimation (2nd ed.)*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Teck Resources Limited. (2020). *Red Dog Mine: Technical Report, Alaska, USA (NI 43-101)*
- Wellmer, F. W. (1989). *Calculation of the net smelter return (NSR) of a mine*. In Economic evaluation in exploration (pp 45-72) Springer.

- Whittle Consulting. (2010). *Simultaneous mining and mineral processing enterprise optimization for the platinum industry*.
Proceedings of the 4th International Platinum Conference:
Platinum in Transition. The Southern African Institute of
Mining and Metallurgy.
<https://www.whittleconsulting.com.au/wp-content/uploads/2023/04/Simultaneous-mining-mineral-processing-enterprise-optimization-for-the-platinum-industry.pdf>
- Wills, B. A., & Finch, J. (2015). *Mineral Processing Technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery* (8^a ed.)