

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**“Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la
productividad en la unidad minera Antapite - 2024”**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:
Bach. Lino Elbis RONDINEL GUTIERREZ

ASESOR:
Mg. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a la familia, por el apoyo constante a lo largo de todo este proceso. De alguna forma, cada esfuerzo realizado tiene mucho que ver con el acompañamiento recibido, incluso en los momentos donde parecía que el avance era lento o complicado.

También se dedica a quienes, desde el entorno académico, fueron parte de la formación como profesional. A los docentes que, más allá de los cursos, dejaron criterios y formas de entender la minería que hoy se reflejan en este trabajo.

De igual manera, se dedica a todas las personas que forman parte de la actividad minera, especialmente a quienes trabajan en campo, donde la teoría se pone a prueba todos los días. En cierto modo, este estudio busca aportar, aunque sea de forma pequeña, a una mejor comprensión y aprovechamiento de los recursos dentro de la mina.

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de la presente investigación no habría sido posible sin el apoyo de diversas personas e instituciones que, de una u otra forma, contribuyeron a que este trabajo pueda concretarse.

En primer lugar, se expresa un sincero agradecimiento a la Unidad Minera Antapite, por brindar las facilidades necesarias para el acceso a la información y permitir la realización de las actividades de campo. La colaboración del personal operativo y técnico fue clave, ya que permitió comprender de manera más cercana las condiciones reales de trabajo, algo que en la práctica termina siendo tan importante como los propios datos.

De igual manera, se reconoce el apoyo del asesor de tesis, cuya orientación y observaciones permitieron encaminar el desarrollo del estudio, especialmente en los momentos donde era necesario ajustar criterios o replantear algunos enfoques. Su experiencia fue, en cierto modo, un punto de referencia constante durante todo el proceso.

RESUMEN

En el contexto actual de la minería subterránea peruana, donde los márgenes económicos dependen cada vez más de decisiones técnicas finamente calibradas, surge una cuestión que, aunque parece antigua, se vuelve hoy sorprendentemente actual: ¿y si el relleno detrítico, ese material que alguna vez fue descartado como inservible, guardara un nuevo potencial productivo? Es una pregunta que no se formula en abstracto, sino desde el suelo real de la Unidad Minera Antapite, en Huancavelica, donde la experiencia acumulada, la presión por mantener la rentabilidad y la necesidad de extender la vida útil de la mina convergen para exigir una mirada distinta. Una más aguda. Más crítica.

La mina Antapite, actualmente bajo la administración de Sierra Sun Group, arrastra el legado de decisiones técnicas de años anteriores, cuando, por razones de mercado, los tajos eran rellenos con material que no alcanzaba leyes económicamente aprovechables. En aquellos años, con un precio del oro relativamente bajo y una presión menor sobre la continuidad de operaciones, no se justificaba procesar estos volúmenes. Hoy, la situación ha cambiado. El precio del oro supera los 3,400 dólares por onza y el agotamiento progresivo de reservas primarias vuelve urgente repensar lo que antes se descartaba. Así nace la hipótesis que atraviesa esta tesis: que la recuperación del relleno detrítico antiguo, si se gestiona con un método de explotación adecuado, puede convertirse en una estrategia viable, segura y rentable para aumentar la productividad de la unidad.

Ahora bien, no se trata solo de desenterrar lo viejo. La recuperación del relleno exige entender profundamente las condiciones geomecánicas de las labores antiguas, caracterizadas muchas veces por estructuras fatigadas, cajas debilitadas y accesos comprometidos. Según los análisis realizados, las vetas Zorro Rojo, Antapite y Pampeñita concentran los mayores volúmenes de relleno aprovechable: más de 1.2

millones de toneladas, con una ley promedio de 3.32 g/t de oro. Cifras que, a simple vista, ya hablan de un potencial, aunque como suele ocurrir en minería los números necesitan ser puestos a prueba en campo.

Para ello, se desarrolló un modelo de evaluación bajo el enfoque del método de taladros largos con subniveles (Sublevel Stopping), sustentado tanto en pruebas de laboratorio como en simulaciones operativas. Las correlaciones de Pearson arrojaron resultados contundentes: en las tres vetas analizadas, los coeficientes R oscilaron entre 0.649 y 0.816, evidenciando una relación significativa entre la implementación del método y el incremento productivo. Es decir, no se trata solo de una percepción o de una suposición técnica, sino de datos que, por sí solos, comienzan a contar otra historia.

Pero, claro, una cosa es el potencial técnico y otra la implementación real. Una forma de verlo es que el método elegido por sus características masivas y su alto grado de mecanización permite trabajar de forma más segura en zonas con geometrías complejas y condiciones de estabilidad frágil. De hecho, el diseño estándar propuesto contempla anchos de minado de 2.7 metros y potencias promedio de relleno de 1.8 metros, con buzamientos de hasta 70°, condiciones que se adaptan con relativa facilidad al uso de equipos tipo scoop con telemando y jumbos de perforación angosta como el Muki LHP. Desde una perspectiva operativa, el redimensionamiento hacia un esquema "trackless" ha permitido proyectar una producción diaria de hasta 800 toneladas, partiendo de un promedio histórico de 450 tm/día. Además, el costo de minado, que antes superaba los 38 USD/t con métodos convencionales, fue reducido a menos de 19.4 USD/t tras la aplicación del nuevo método, un indicador que no solo mejora el cash cost, sino que también refuerza la sostenibilidad del negocio minero en el mediano plazo.

Ahora bien, un aspecto que merece especial atención y que muchas veces se deja de lado en análisis puramente técnicos es el rol de las personas. La productividad

alcanzada no responde únicamente al método, sino también a la forma en que se gestiona el talento humano. El estudio detectó que la estabilidad del personal operativo, la capacitación específica en nuevas tecnologías de minado, y una comunicación efectiva entre las áreas de geología, planeamiento y operaciones, son elementos que amplifican los beneficios del método implementado. Es decir, podría decirse que el método es el esqueleto, pero la gente sigue siendo el músculo y el corazón de cualquier operación minera.

En suma, este estudio no propone una fórmula perfecta, ni pretende convertir en oro todo lo que alguna vez fue descartado. Pero sí demuestra, con datos, simulaciones, y una mirada crítica, que existe un camino operativo viable para convertir el relleno detrítico en recurso productivo, sin comprometer la seguridad ni la sostenibilidad. La viabilidad económica del modelo, respaldada por un VAN proyectado de más de 20 millones de dólares y una vida útil estimada de 6.6 años adicionales, permite considerar seriamente la recuperación del relleno como parte estructural del planeamiento minero en contextos similares. Tal vez, al final, la clave no esté tanto en descubrir nuevos yacimientos, sino en mirar con otros ojos los que alguna vez creímos agotados.

Palabra Clave: Productividad, relleno detrítico, método de explotación.

ABSTRACT

In the current context of Peruvian underground mining, where profit margins increasingly depend on finely calibrated technical decisions, a question arises that, although it seems old, is surprisingly relevant today: what if the tailings, that material once discarded as unusable, held new productive potential? This question is not posed in the abstract, but rather from the real ground of the Antapite Mining Unit in Huancavelica, where accumulated experience, the pressure to maintain profitability, and the need to extend the mine's lifespan converge to demand a different perspective. A sharper one. A more critical one.

The Antapite mine, currently under the management of Sierra Sun Group, carries the legacy of technical decisions from previous years when, for market reasons, pits were backfilled with material that did not reach economically viable grades. In those years, with a relatively low gold price and less pressure on the continuity of operations, processing these volumes was not justified. Today, the situation has changed. The price of gold has surpassed \$3,400 per ounce, and the progressive depletion of primary reserves makes it urgent to rethink what was previously dismissed. This gives rise to the hypothesis underlying this thesis: that the recovery of old detrital fill, if managed with an appropriate mining method, can become a viable, safe, and profitable strategy for increasing the unit's productivity.

However, it's not simply a matter of digging up the old ore. Recovering the fill requires a deep understanding of the geomechanical conditions of the old workings, often characterized by fatigued structures, weakened walls, and compromised access. According to the analyses carried out, the Zorro Rojo, Antapite, and Pampeñita veins contain the largest volumes of recoverable fill: more than 1.2 million tons, with an average grade of 3.32 g/t of gold. These figures, at first glance, already suggest potential, although, as is often the case in mining, the numbers need to be tested in the field.

To this end, an evaluation model was developed using the sublevel stoping method, supported by both laboratory tests and operational simulations. Pearson correlations yielded compelling results: in the three veins analyzed, the R coefficients ranged from 0.649 to 0.816, demonstrating a significant relationship between the implementation of the method and increased productivity. In other words, this is not just a perception or a technical assumption, but data that, on its own, begins to tell a different story.

But, of course, technical potential is one thing, and actual implementation is another. One way to look at it is that the chosen method, due to its large-scale capabilities and high degree of mechanization, allows for safer work in areas with complex geometries and fragile stability conditions. In fact, the proposed standard design includes mining widths of 2.7 meters and average backfill thicknesses of 1.8 meters, with dips of up to 70°, conditions that are relatively easy to adapt to the use of remotely controlled scoop-type equipment and narrow-hole drilling jumbos such as the Muki LHP.

From an operational perspective, the shift to a trackless system has allowed for projected daily production of up to 800 tons, starting from a historical average of 450 tons/day. Furthermore, the mining cost, which previously exceeded USD 38/ton with conventional methods, was reduced to less than USD 19.4/ton after the implementation of the new method, an indicator that not only improves cash costs but also strengthens the sustainability of the mining business in the medium term.

However, one aspect that deserves special attention and is often overlooked in purely technical analyses is the role of people. The productivity achieved is not solely due to the method, but also to how human talent is managed. The study found that the stability of the operational staff, specific training in new mining technologies, and effective communication between the geology, planning, and operations departments are elements that amplify the benefits of the implemented method. In other words, the method could be considered the skeleton, but people remain the muscle and heart of

any mining operation.

In short, this study does not propose a perfect formula, nor does it intend to turn everything that was once discarded into gold. But it does demonstrate, with data, simulations, and a critical perspective, that there is a viable operational path to convert tailings into a productive resource without compromising safety or sustainability. The economic viability of the model is supported by a projected NPV of over \$20 million and an estimated lifespan of 6.6 additional years make it worthwhile to seriously consider reclaiming the tailings as a structural part of mine planning in similar contexts. Perhaps, in the end, the key lies not so much in discovering new deposits, but in looking at those we once thought were exhausted with fresh eyes.

Keywords: Productivity, tailings, mining method.

ÍNDICE

Página de aprobación	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE	XI
INDICE DE TABLAS	XIV
INDICE ILUSTRACION	XV
ANEXOS	XVII
CAPITULO I	1
INTRODUCCION	1
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos.....	7
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4 HIPÓTESIS	7
1.4.1. Hipótesis general	7
1.4.2. Hipótesis específica	8
1.5 VARIABLES E INDICADORES	8
1.5.1. Variable independiente	8
1.5.2. Matriz de operacionalización.....	8
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	9
1.6.1. Justificación	9
1.6.2. Importancia.....	11
CAPITULO II.....	14
MARCO TEORICO	14
2.1. GENERALIDADES.....	14
2.1.1. Antecedentes de la empresa	14
2.1.2. Ubicación y accesos	14
2.1.3. Clima y vegetación.....	15
2.1.4. Geomorfología	15
2.1.5. Geología.....	16

2.1.6.	Geología regional	16
2.1.7.	Geología local.....	17
2.1.8.	Geología estructural.....	18
2.1.9.	Geología económica.....	19
2.1.10.	Mineralogía	19
2.2.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2.1.	Antecedentes Internacionales.....	20
2.2.2.	Antecedentes Nacionales	26
2.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	34
2.3.1.	Recuperación de rellenos detríticos antiguos.....	35
2.3.2.	Método de taladros largos.....	35
2.3.3.	Pilares remanentes y su recuperación	36
2.3.4.	Clasificación geomecánica del macizo rocoso	36
2.3.5.	Estabilidad del caserón minado	36
2.3.6.	Dilución minera en zonas antiguas	36
2.3.7.	Seguridad en operaciones con relleno no cementado.....	37
2.3.8.	Modelamiento numérico aplicado a recuperación	37
2.3.9.	Diseño de mallas de perforación.....	37
2.3.10.	Productividad y costos operativos	37
	CAPÍTULO III.....	38
	MATERIAL Y METODOS.....	38
3.1.	METODOLOGIA DE INVESTIGACION	38
3.1.1.	Enfoque de investigación	38
3.1.2.	Tipo de investigación	38
3.1.3.	Nivel de investigación	38
3.1.4.	Diseño de investigación	38
3.1.5.	Población y muestra	39
3.1.5.1.	Población	39
3.1.5.2.	Muestra	39
3.1.6.	Técnica de recolección de datos.....	39
3.1.6.1.	Técnica de recolección de datos	39
3.1.6.2.	Instrumentos de recolección de datos	39
3.1.6.3.	Técnica de procesamiento	39
3.1.6.4.	Análisis de datos	40
3.2.	RECUPERACIÓN DEL RELLENO EN EL NIVEL 3240 – TAJO 6985	40
3.2.1.	Método de explotación.....	42

3.2.2.	Equipos de perforación y transporte	44
3.2.3.	Voladura	45
3.3.	Aumento de productividad	47
3.3.1.	Aumento producción periodo 1	47
3.3.2.	Aumento producción periodo 2	50
3.3.3.	Aumento de producción periodo 3	54
3.3.4.	Producción anual	57
CAPITULO IV		60
RESULTADOS Y DISCUSION.....		60
4.1.	RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD	60
4.2.	DISCUSION DE RESULTADOS	63
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	66
4.3.1.	Estadísticos descriptivos	67
4.3.2.	Prueba estadística.....	67
4.3.3.	Prueba t para igualdad de medias (SPSS)	68
4.3.4.	Modelo de regresión lineal	69
CONCLUSIONES		72
RECOMENDACIONES		74
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		75
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		77
ANEXOS.....		80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de operacionalización	9
Tabla 2 Características del yacimiento.....	20
Tabla 3: Equipos de operación.....	45
Tabla 4. Especificaciones de voladura	46
Tabla 5: Periodo 1.....	47
Tabla 6: Aumento producción periodo 2.....	50
Tabla 7: Aumento producción periodo 3.....	54
Tabla 8: Producción anual	57
Tabla 9: Resultados de productividad	60
Tabla 10: Costo unitario	61
Tabla 11: Porcentaje de recuperación.....	61
Tabla 12: Indicadores operativos	62
Tabla 13: Resultados	64
Tabla 14: Estadísticos descriptivos	67
Tabla 15: Prueba de t student.....	68
Tabla 16: Validar causa efecto.....	69
Tabla 17: Coeficientes	70

INDICE ILUSTRACION

Ilustración 1: Ubicación	15
Ilustración 2: Mapa regional	16
Ilustración 3: Geología local	17
Ilustración 4: Geología estructural	18
Ilustración 5: Carguío de taladros	40
Ilustración 6: Amarre de malla	41
Ilustración 7: Método de explotación	42
Ilustración 8: Cara libre - SLOT	43
Ilustración 9: Diagrama de flujo de método de explotación	43
Ilustración 10: Muki LHP	44
Ilustración 11. Sccop LH 203	45
Ilustración 12: Promedio producción mensual	48
Ilustración 13: Promedio producción diaria	48
Ilustración 14: Promedio ley	49
Ilustración 15: Promedio dilución	49
Ilustración 16: Promedio \$/Tn	50
Ilustración 17: Producción mes 2	51
Ilustración 18: promedio diario 2	52
Ilustración 19: promedio ley 2	52
Ilustración 20: promedio dilución 2	53
Ilustración 21: Promedio \$/Tn	53
Ilustración 22: Producción mes periodo 3	54
Ilustración 23: promedio diario periodo 3	55
Ilustración 24: Promedio ley periodo 3	55
Ilustración 25: Promedio dilución periodo 3	56

Ilustración 26: Promedio \$/Tn periodo 3.....	56
Ilustración 27: Producción anual	57
Ilustración 28: Promedio anual diario	58
Ilustración 29: promedio anual ley.....	58
Ilustración 30: Promedio anual dilución	59
Ilustración 31: Promedio anual \$/Tn.....	59
Ilustración 32: Regresión lineal	70

ANEXOS

Anexo 1:MATRIZ DE CONSISTENCIA	81
Anexo 2: Plano labores	82
Anexo 3: Plano de ventilación	82
Anexo 4: Planos de producción.....	83
Anexo 5: Perforación en tajeos	83
Anexo 6: Perforación en tajeos	84

CAPITULO I

INTRODUCCION

En minería subterránea, llega un momento en el que la discusión ya no gira únicamente alrededor de abrir nuevas labores o buscar nuevos frentes. Con los años de operación, la mina empieza a mostrar otra realidad: zonas ya explotadas, tajos cerrados, material que quedó dentro porque en su momento no justificaba un mayor esfuerzo. No es que ese material no tuviera valor, sino que el contexto técnico y económico era otro. El relleno detrítico antiguo aparece justamente ahí, como parte de ese proceso. Primero como una solución operativa, luego como algo que simplemente quedó.

En la Unidad Minera Antapite, esta situación se repite en distintos sectores. Durante etapas anteriores de explotación, grandes volúmenes de material mineralizado fueron utilizados como relleno detrítico. La decisión fue técnica, no arbitraria. Las leyes eran bajas para ese momento, los costos de extracción eran altos y la prioridad estaba en avanzar. Sin embargo, cuando se revisan los datos actuales, cuando se contrastan costos, productividad y continuidad operativa, ese relleno empieza a verse distinto. Ya no como un simple elemento pasivo, sino como un recurso que no ha sido evaluado del todo.

El problema no es solo técnico, es operativo. La mina necesita mantener producción, pero cada metro nuevo implica desarrollo, sostenimiento, ventilación, tiempo. Y tiempo, en minería subterránea, siempre termina siendo costo. Frente a eso, la pregunta aparece casi sola: ¿qué pasa con el material que ya está ahí?, ¿realmente no se puede recuperar?, ¿o nunca se analizó con el detalle suficiente? Una forma de entender esta investigación es justamente esa: una revisión crítica de decisiones pasadas a la luz de condiciones actuales.

La recuperación del relleno detrítico antiguo se plantea entonces como una alternativa, no como una solución mágica, sino como una opción que merece ser evaluada con números reales. No basta con decir que el material tiene ley; hay que ver cuánto se puede producir, cuánto cuesta hacerlo y qué impacto tiene en la productividad. Ahí se centra el interés de este estudio. En la relación directa entre el relleno, el método de explotación aplicado y el resultado inmediato en el ciclo productivo.

El objetivo general de esta investigación es evaluar si la recuperación del relleno detrítico antiguo permite aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite durante el año 2024. A partir de ello, se busca analizar cómo cambia la producción mensual, cómo varía la productividad por trabajador, qué ocurre con los costos operativos por tonelada y si realmente se mejora la recuperación del mineral. No se trata de demostrar mejoras forzadas, sino de observar qué ocurre cuando el relleno deja de ser relleno y pasa a ser material explotable.

El alcance del estudio es concreto. Se trabaja en sectores específicos donde existe relleno detrítico antiguo y dentro de un periodo operativo definido. No se intenta extrapolar resultados a toda la unidad minera ni generalizar comportamientos. El interés está en el efecto directo, casi inmediato, que tiene la recuperación del relleno sobre la productividad. Todo lo que no aporte a esa relación se deja de lado.

La hipótesis que guía el trabajo es que la recuperación del relleno detrítico antiguo, aplicada mediante un método de explotación adecuado, influye positivamente en la productividad minera. Esta influencia se manifestaría en un mayor tonelaje producido, una reducción del costo unitario y una mejor recuperación del mineral. Es una hipótesis sencilla, pero exige ser contrastada con datos reales, no con supuestos.

Para abordar este análisis, la investigación se desarrolla de manera progresiva. Primero se plantea el problema y se justifica por qué el relleno detrítico antiguo representa una

oportunidad que no ha sido evaluada en profundidad en Antapite. Luego se revisan los fundamentos técnicos relacionados con la minería subterránea, la productividad y la recuperación del mineral, no como teoría aislada, sino como soporte para entender lo que ocurre en campo. Más adelante se describe la metodología aplicada, basada en información operativa real, comparando escenarios antes y después de la recuperación del relleno.

Finalmente, los resultados se integran y se analizan en conjunto, evaluando si la recuperación del relleno detrítico antiguo realmente aporta a la productividad o si sus beneficios son limitados.

De esta manera, la investigación no busca confirmar una idea previa, sino responder a una inquietud operativa real. Una inquietud que nace de observar la mina, revisar los datos y preguntarse, con cierta cautela, si aquello que durante años fue considerado un relleno puede convertirse hoy en una fuente adicional de productividad para la Unidad Minera Antapite.

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

A nivel mundial, la minería subterránea viene pasando por un momento de ajuste que no siempre se nota a simple vista, pero que se siente con fuerza en la operación diaria. En yacimientos que llevan años a veces décadas en producción, el problema ya no es tanto encontrar nuevas reservas, sino hacer rendir mejor lo que ya está dentro de la mina. Optimizar recursos, mejorar la productividad y controlar los costos se han vuelto prioridades permanentes, sobre todo cuando cualquier decisión técnica termina impactando en la seguridad y en la estabilidad del macizo rocoso. En ese escenario, empieza a notarse que muchas de las pérdidas productivas no responden a la ausencia de mineral, sino a cómo se han

manejado ciertas zonas explotadas en el pasado.

Al revisar experiencias internacionales, aparece una coincidencia interesante. En varios casos, materiales que en su momento fueron considerados marginales o descartables permanecen dentro de la mina sin una evaluación posterior. No porque no tengan valor, sino porque nunca se volvieron a mirar con otros criterios. Trabajos como los desarrollados por Villaescusa (2014) y Hamrin (2016) muestran que la recuperación secundaria de mineral, incluyendo rellenos antiguos, puede convertirse en una alternativa técnica viable cuando se aplican métodos de explotación adecuados y se analizan con cuidado las condiciones geomecánicas reales. No es una solución automática, pero tampoco una opción descartable.

Esta situación se vuelve todavía más evidente en el contexto latinoamericano, donde la minería subterránea tradicional sigue teniendo un peso importante. En muchas operaciones de la región, la lógica operativa ha sido avanzar hacia nuevas áreas para sostener la producción, aun cuando eso implique mayores costos de desarrollo, ventilación y sostenimiento. Mientras tanto, volúmenes considerables de material mineralizado quedan confinados en rellenos detríticos, cumpliendo una función secundaria, pero sin ser evaluados desde el punto de vista productivo. Estudios realizados en minas subterráneas de Chile y México señalan que esta falta de evaluación técnica no responde tanto a una imposibilidad real de recuperación, sino más bien a decisiones tomadas en contextos anteriores, bajo criterios económicos y operativos que hoy ya no son los mismos (Brzovic & Villaescusa, 2018; Flores et al., 2020). En el Perú, la situación no es distinta. La minería subterránea constituye un pilar importante de la producción nacional, pero enfrenta limitaciones operativas cada vez más marcadas: mayores costos unitarios, reducción de márgenes y exigencias crecientes de productividad. En muchas

unidades mineras, el enfoque operativo continúa priorizando la apertura de nuevas labores, mientras se deja de lado el análisis técnico del relleno detrítico antiguo. Autores nacionales como Cáceres (2019) y Quispe (2021), en investigaciones desarrolladas en unidades subterráneas del centro y sur del país, señalan que la recuperación de rellenos antiguos ha sido poco estudiada, pese a que estos materiales contienen leyes que, bajo condiciones actuales, pueden resultar económicamente explotables. La Unidad Minera Antapite refleja claramente esta problemática. Se trata de una operación subterránea con varios años de actividad, donde la explotación histórica mediante métodos convencionales generó volúmenes significativos de relleno detrítico antiguo, utilizado principalmente para fines de estabilidad y continuidad operativa. En su momento, la decisión de emplear material mineralizado como relleno respondió a criterios técnicos y económicos válidos: leyes marginales, costos elevados y limitaciones tecnológicas. Sin embargo, al analizar los registros actuales de producción y costos, se observa que parte de este relleno contiene mineral con potencial de aprovechamiento, el cual no ha sido evaluado sistemáticamente desde una perspectiva productiva. El problema central identificado en la Unidad Minera Antapite es la subutilización del relleno detrítico antiguo como recurso productivo, lo que genera una dependencia excesiva de nuevos trabajos de desarrollo para mantener la producción. Esta situación se traduce en mayores costos operativos, tiempos adicionales de preparación y un uso poco eficiente del recurso mineral disponible. Técnicamente, el relleno detrítico no ha sido incorporado al planeamiento minero como una fuente potencial de producción, pese a que existen indicios de leyes aprovechables y condiciones geomecánicas que permitirían su recuperación controlada. Las consecuencias de este problema se manifiestan en distintos niveles. Desde el

punto de vista económico, la no recuperación del relleno detrítico implica pérdidas de tonelaje potencialmente explotable y un incremento del costo unitario por tonelada producida, al depender exclusivamente de nuevas áreas de explotación. Operativamente, la necesidad de abrir nuevos trabajos incrementa los tiempos de ciclo, los requerimientos de sostenimiento y los costos asociados a ventilación y servicios auxiliares. Asimismo, desde una perspectiva productiva, se limita la capacidad de la mina para mejorar sus indicadores de productividad sin incrementar recursos humanos o equipos. A pesar de estas consecuencias, el problema no ha sido abordado de manera adecuada hasta el momento. Una de las principales razones es la ausencia de estudios aplicados que evalúen técnica y económicamente la recuperación del relleno detrítico antiguo en el contexto específico de Antapite. Además, persisten procedimientos operativos que consideran al relleno únicamente como un elemento pasivo, sin integrar su posible recuperación en el planeamiento minero. A ello se suma la falta de estandarización de métodos de explotación orientados a recuperación secundaria y una limitada experiencia operativa documentada en este tipo de trabajos dentro de la unidad minera. Esta carencia de soluciones técnicas específicas evidencia un vacío que requiere ser abordado desde un enfoque de investigación aplicado. No se trata de proponer cambios teóricos, sino de evaluar, con datos reales y criterios de ingeniería de minas, si la recuperación del relleno detrítico antiguo puede contribuir efectivamente al aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite. En este sentido, se vuelve necesario analizar indicadores concretos como producción mensual, productividad por trabajador, costos operativos y recuperación del mineral, comparando escenarios antes y después de la aplicación de un método de explotación adecuado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la recuperación de rellenos detríticos antiguos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo influye el método de taladros largos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024?

¿Cómo influye las características geomecánicas de los tajos con taladros largos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Recuperar los rellenos detríticos antiguos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

Aplicar el método de taladros largos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

Determinar las características geomecánicas de los tajos con taladros largos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

La recuperación del relleno detrítico antiguo aumento la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

1.4.2. Hipótesis específica

La Aplicación del método de taladros largos aumento la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

Las características geomecánicas de los tajos con taladros largos tienen influencia con el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024.

1.5 VARIABLES E INDICADORES

1.5.1. Variable independiente

V1 = Recuperación del relleno detrítico

Indicadores:

- Malla de perforación
- Longitud de taladros
- Volumen extraído Variable dependiente

V2 = Aumento de la productividad

Indicadores:

- Toneladas extraídas por día
- Costo por tonelada
- % de recuperación

1.5.2. Matriz de operacionalización

Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2020) señalan que la operacionalización de variables consiste en “especificar cómo se medirán las variables de estudio, identificando sus dimensiones, indicadores y escalas de medición, con el fin de obtener datos observables y analizables”. Para estos autores, una variable que no ha sido operacionalizada correctamente no puede

ser evaluada de manera objetiva, lo que compromete la validez de los resultados.

Tabla 1: Matriz de operacionalización

Nombre	Dimensiones	Indicadores
Recuperación del relleno detrítico	Diseño de recuperación	- Malla de perforación (burden, espaciamiento) - Longitud de taladros - Volumen extraído vs. programado
Aumento de la productividad	Volumen de producción	- Toneladas extraídas por día - Costo por tonelada - % de recuperación

Fuente: Autor

1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.6.1. Justificación

La minería subterránea actual se desarrolla en un escenario cada vez más exigente. No solo por las condiciones geológicas propias del yacimiento, sino por un conjunto de factores que se van acumulando con el tiempo: mayores costos operativos, presión por mantener niveles de producción, exigencias normativas más estrictas y, sobre todo, la necesidad de reducir riesgos sin sacrificar eficiencia. En ese contexto, las decisiones técnicas ya no pueden limitarse a avanzar hacia nuevas zonas; cada metro desarrollado, cada labor nueva, implica tiempo, dinero y exposición del personal. Una forma de verlo es que la mina, conforme madura, obliga a mirar hacia adentro y preguntarse si todo lo que está ahí se está aprovechando de la mejor manera.

En operaciones como la Unidad Minera Antapite, esta reflexión se vuelve particularmente relevante. La existencia de relleno detrítico antiguo no es un hecho aislado ni accidental; responde a etapas previas de explotación donde el enfoque estaba puesto en extraer el mineral de mayor ley y asegurar la

estabilidad de las labores. Sin embargo, al revisar registros de producción, costos y reportes de seguridad, empieza a notarse que ese relleno no es un elemento neutro. Mantenerlo sin evaluación implica seguir desarrollando nuevas áreas, con el consiguiente aumento de costos y, no menos importante, de riesgos operativos. En minería subterránea, cada frente nuevo suma exposición: más tránsito, más sostenimiento, más posibilidad de incidentes.

Los indicadores de seguridad ayudan a dimensionar esta situación. En operaciones similares, el incremento de labores nuevas suele venir acompañado de mayores tasas de incidentes leves y cuasi accidentes, así como de un aumento en los días perdidos asociados a trabajos de sostenimiento y preparación. Incluso cuando los índices de accidentabilidad se mantienen dentro de límites aceptables, el esfuerzo operativo para cumplir con la normativa de seguridad y salud en el trabajo se incrementa. No es casual que los marcos regulatorios actuales insistan tanto en la prevención y en la reducción de exposiciones innecesarias. Recuperar material existente, en lugar de abrir nuevos frentes, podría contribuir indirectamente a reducir estos riesgos, al concentrar la actividad en zonas ya conocidas y evaluadas. Desde el punto de vista productivo, la justificación de este estudio se refuerza al observar que el relleno detrítico antiguo puede contener mineral aprovechable bajo las condiciones actuales de mercado y tecnología. No evaluar su recuperación significa aceptar pérdidas potenciales de tonelaje y mantener costos unitarios elevados. En un escenario donde pequeñas variaciones, por ejemplo, una reducción hipotética del 10 % en el costo por tonelada o un aumento del 15 % en la productividad pueden marcar la diferencia entre una operación ajustada y una operación sostenible, resulta difícil ignorar esta alternativa.

1.6.2. Importancia

La importancia de la investigación radica, entonces, en llenar un vacío técnico-operativo. No se trata de proponer una solución genérica ni de replicar experiencias externas sin criterio, sino de analizar, en el contexto específico de Antapite, si la recuperación del relleno detrítico antiguo puede integrarse al ciclo productivo de manera segura, eficiente y conforme a la normativa vigente. Este enfoque aplicado permite generar información útil para la toma de decisiones, aportando datos que van más allá de la intuición o de prácticas heredadas.

Además, el estudio tiene un valor práctico para la gestión minera. Al evaluar indicadores de productividad, costos y seguridad de forma integrada, se abre la posibilidad de optimizar recursos, mejorar la planificación y fortalecer la participación del personal en procesos más controlados.

En ese sentido, la investigación no solo busca aumentar la producción, sino contribuir a una operación más equilibrada, donde productividad y seguridad no se perciban como objetivos contrapuestos, sino como partes de una misma solución técnica.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

El desarrollo de la presente investigación se planteó desde una mirada realista, considerando tanto lo que era posible abordar dentro del contexto operativo de la Unidad Minera Antapite como aquello que, por diversas razones, quedaba fuera del alcance del estudio.

En cierto modo, definir estos límites permitió enfocar mejor el análisis y evitar conclusiones que no estuvieran respaldadas por la información disponible.

1.4.1.1. Temporal

El estudio se desarrolló tomando como referencia el período operativo correspondiente al año 2024. Este marco temporal permitió analizar información reciente y representativa del comportamiento productivo de la unidad minera bajo condiciones actuales de operación. Lo interesante aquí es que trabajar con datos de un solo año facilitó la comparación entre escenarios antes y después de la recuperación del relleno detrítico, evitando distorsiones asociadas a cambios mayores en el mercado, en la normativa o en la organización interna de la mina.

1.4.1.2. Espacial

En cuanto al espacio de estudio, la investigación se centró exclusivamente en sectores específicos de la Unidad Minera Antapite donde existe presencia de relleno detrítico antiguo. No se consideraron otras unidades mineras ni zonas donde este tipo de relleno no estuviera claramente identificado. Una forma de verlo es que el análisis se concentró en áreas concretas, conocidas operativamente, lo que permitió trabajar con información más precisa y con observaciones directas del comportamiento del relleno durante su recuperación.

1.4.1.3. Conceptual

Desde el punto de vista conceptual, la investigación abordó la recuperación del relleno detrítico antiguo principalmente desde su impacto en la productividad minera. Se analizaron indicadores como producción mensual, productividad por trabajador, costos operativos y recuperación del mineral. No se profundizó en aspectos metalúrgicos ni en evaluaciones económicas de largo plazo, ya que el interés estuvo puesto en entender el efecto inmediato de la recuperación del relleno dentro del ciclo productivo subterráneo.

1.4.2. Limitaciones

Como toda investigación aplicada, este estudio presentó algunas limitaciones que es necesario reconocer. Una de ellas estuvo relacionada con la disponibilidad de información histórica detallada sobre la composición y distribución del relleno detrítico antiguo, ya que parte de estos datos no se encontraba completamente sistematizada. Además, el tiempo disponible para el desarrollo del trabajo condicionó la posibilidad de ampliar el análisis a más sectores o extender el período de evaluación.

También se presentaron limitaciones asociadas al acceso operativo, pues no todas las zonas con relleno detrítico estaban disponibles para evaluación directa durante el periodo de estudio, debido a restricciones de seguridad o programación de la mina. A esto se suma que los recursos técnicos y humanos fueron los habituales de una investigación de pregrado, lo que implicó priorizar ciertos análisis sobre otros. Aun así, estas limitaciones no invalidan los resultados, sino que ayudan a contextualizarlos y a comprender su alcance real dentro del estudio realizado.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Antecedentes de la empresa

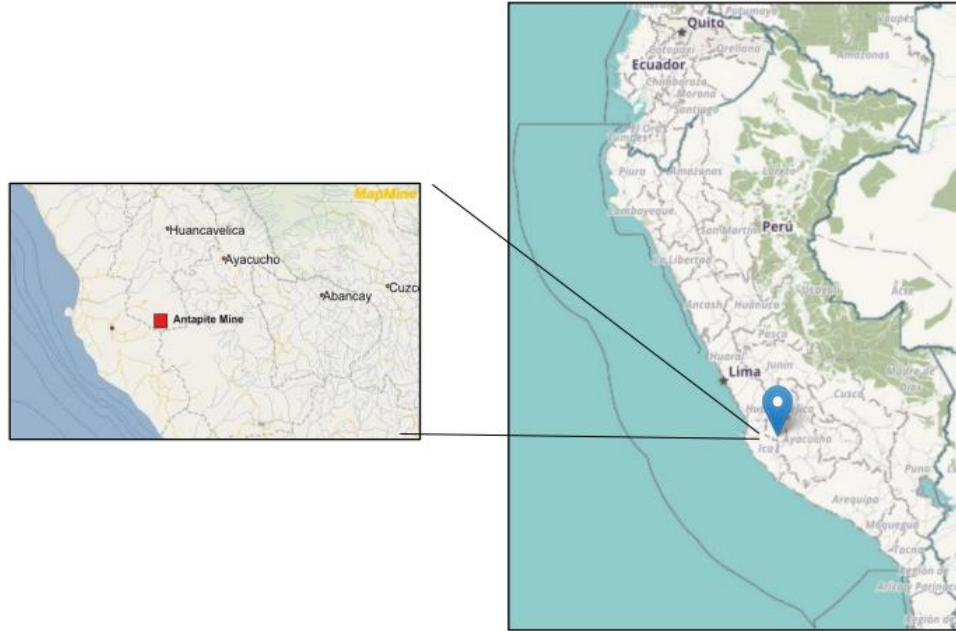
La Unidad Minera Antapite se localiza políticamente en el Perú, dentro del departamento de Huancavelica, provincia de Huaytará, en la comunidad del mismo nombre. Esta ubicación administrativa no es un dato menor, ya que condiciona tanto el marco normativo aplicable como la relación histórica entre la operación minera y el entorno social. Según lo descrito por Condori (2021), la mina se emplaza en una zona altoandina donde la actividad minera ha sido, por décadas, uno de los principales ejes económicos locales.

La documentación institucional revisada coincide en señalar que Antapite forma parte del conjunto de operaciones subterráneas que históricamente fueron desarrolladas por Compañía de Minas Buenaventura y que actualmente se encuentran bajo administración de Sierra Antapite S.A.C., perteneciente al grupo Sierra Sun Group (Sierra Antapite, 2021).

2.1.2. Ubicación y accesos

El yacimiento minero de Antapite se localiza en la vertiente occidental de los Andes, específicamente al sur de la provincia de Huaytará (Huancavelica). Es accesible desde la ciudad de Ica (km 307 de la Panamericana Sur), poblado de los Aquijes, de donde parte la vía afirmada hacia Tingue – Córdova – Antapite de 130 km. Su ubicación geográfica está delimitada por las nacientes de las cuencas de los ríos Grande e Ica, situándose a una altitud que oscila entre los 3,000 y 4,100 m s. n. m., bajo las coordenadas UTM centrales 8'459,000 N y 492,000 E.

Ilustración 1: Ubicación



2.1.3. Clima y vegetación

Las condiciones climáticas varían notablemente según la altitud: en las zonas altas, como Ocobamba y Laramarca, predomina un frío intenso; por el contrario, en los valles amplios donde se ubican Ocoyo y Tibillo, el clima es de templado a cálido. En la zona se desarrolla una actividad agrícola incipiente, especialmente en las tierras bajas cercanas a las cuencas fluviales que atraviesan Ocoyo, Tibillo, Ayamarca y Querco.

2.1.4. Geomorfología

El relieve de la zona se caracteriza por ser escarpado sobre los 3,800 m s. n. m., alternando superficies irregulares con zonas más tenues. A menor altura, la erosión fluvial de ríos juveniles ha generado una superficie más agreste y valles amplios. Geográficamente, el punto más bajo se sitúa a 1,800 m s. n. m. en la localidad de Ocoyo, mientras que la elevación máxima alcanza los 4,370 m s. n. m. en el Cerro Huaranjayoc. El área de la mina, se encuentra emplazada en la unidad geomorfológica denominada; Zona de Laderas Altas.

2.1.5. Geología

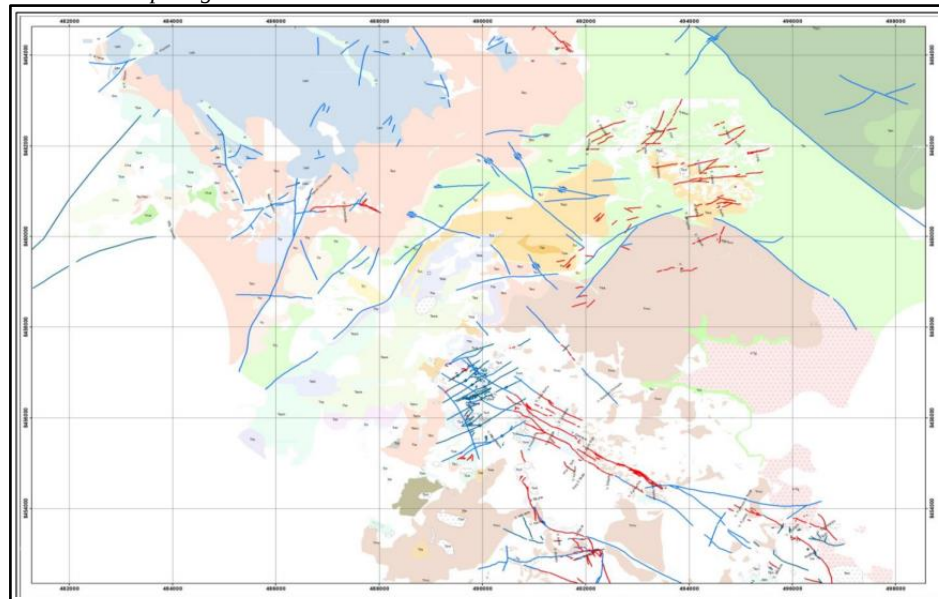
La estratigrafía del área de estudio está dominada por una potente unidad cenozoica (Eoceno-Oligoceno) de origen volcánico que supera el kilómetro de potencia. Su contacto con el basamento es discordante y varía según la zona:

- Sector NW (Veta Carmencita): Contacto con rocas sedimentarias del Mesozoico a los 3,600 metros de altura.
- Sector SE (Ocobamba): Contacto con unidades del Batolito de la Costa a los 2,900 metros de altura.

2.1.6. Geología regional

El entorno geológico de la unidad minera destaca por una secuencia volcánico-sedimentaria que supera los 1,000 metros de espesor, datada preliminarmente entre el Eoceno y el Oligoceno. Esta formación presenta una relación de discordancia sobre el basamento pre-volcánico: al noroeste, se asienta sobre sedimentos del Mesozoico; mientras que al sureste, en el sector de Ocobamba, descansa sobre el Batolito de la Costa a una altitud de 2,900 m s. n. m.

Ilustración 2: Mapa regional

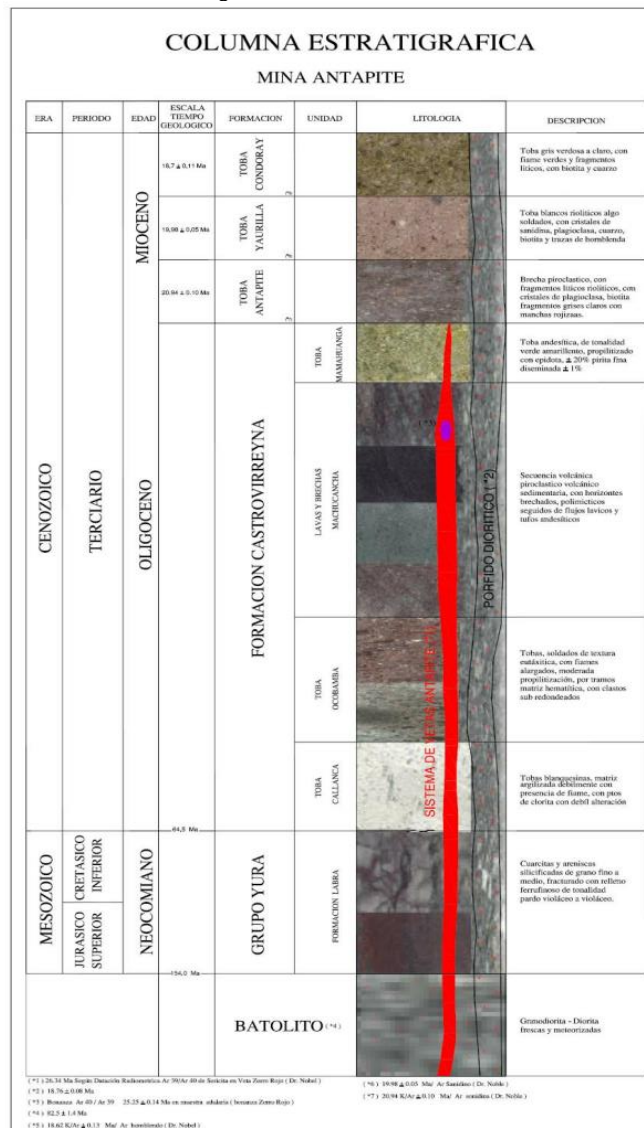


Fuente: Adaptado de Mejía L. 2019

2.1.7. Geología local

El yacimiento epitermal de baja sulfuración Antapite, se encuentra hospedada en diferentes unidades volcánicas y vulcano sedimentarias, tales como brechas, lavas y tobas que son de composición andesítica, respecto del oligoceno; los cuales están divididos por pequeños stocks y diques sub-volcánicos. En toda la extensión de las quebradas que baja del Rio Grande, en los pueblos de Ocobamba, Laramarca y Querco, está totalmente expuesto el batolito de la costa.

Ilustración 3: Geología local

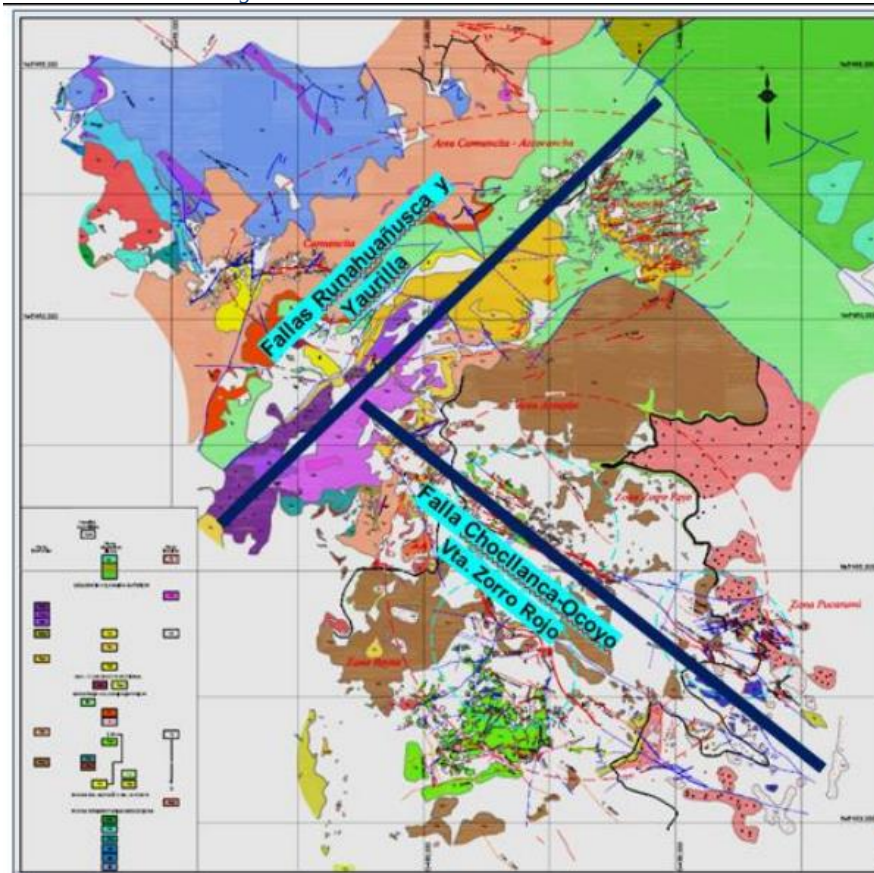


Fuente: Geología

2.1.8. Geología estructural

Estructuralmente, el Cerro Antapite representa la intersección de dos sistemas regionales que regulan la deposición de minerales. El primero, de orientación andina (WNW-ESE) y denominado Chocllanca-Ocoyo, contiene las vetas principales y podría estar vinculado al sistema de fallas regional Incapuquio. Este sistema (Vetas Zorro Rojo-Antapite) tiende a debilitarse y ramificarse en fracturas argilizadas al entrar en contacto con cuerpos intrusivos en la base oriental del cerro.

Ilustración 4: Geología estructural



Fuente: Adaptado de Condori A. 2021

El segundo sistema, de carácter trasandino (SW-NE), incluye los lineamientos Runahuañuscca y Yaurilla. Se manifiesta mediante fallas de corto recorrido con alteración argílica y escasa presencia de cuarzo. Adicionalmente, se observa un intenso fracturamiento al norte del sector central, asociado al emplazamiento de

stocks intrusivos, que genera vetillas de caolín y estructuras de cuarzo-sericita con alta densidad de fracturas cerradas.

2.1.9. Geología económica

En 1995, la consultora BISA recolectó 252 muestras de roca y 67 de suelo en el Cerro Antapite. El análisis posterior realizado por Zucker Geochemistry Group en 1998 identificó un zonamiento característico de un sistema epitermal. Este modelo geoquímico presenta una transición desde elementos volátiles de baja temperatura (Hg, Te, Se y Sb) hacia metales de mayor temperatura (Pb, Cu y Zn) en la periferia de anomalías de Au, As y Mo, lo cual confirma la presencia de un depósito de metales preciosos. Posteriormente, entre 2000 y 2001, Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. amplió el mapeo detallado con 94 muestras de roca distribuidas entre los cerros Antapite y Augurio. Asimismo, se analizaron 287 muestras de estructuras para evaluar el potencial metálico del sector central (con alteración argílica) y del flanco sur (con mayor silicificación). Finalmente, se investigaron venillas de sílice-magnetita para determinar si estas representan las manifestaciones superficiales de un pórfido de Cu-Au incipiente.

2.1.10. Mineralogía

El depósito Antapite se define como un sistema hidrotermal de baja sulfuración, donde la mineralización ocurre principalmente por el relleno de fracturas. La ganga está constituida por cuarzo, adularia, sericita y pirita. El oro, presente en estado nativo o como electrum, se vincula a una paragénesis tardía de cuarzo asociada a sulfuros, con predominancia de pirita y presencia de trazas de esfalerita, galena y calcopirita, además de sulfosales como tetraedrita y bournonita. El recurso económico se aloja en fases de cuarzo gris, calcedónico y hialino, con una relación Ag/Au de 1:1 a 1.5:1, lo que sitúa al yacimiento en los niveles intermedios a

profundos del sistema epitermal.

Tabla 2 Características del yacimiento

Roca Huésped	Rocas Volcánicas
Cota de Veta	3,100 – 3,500
Rumbo Preferente	N 60° - 80° W
Textura de la Veta	Bandeado, coloforme, criptocristalino
Alteración de la Caja	Proximal: sericita-adularia-cuarzo-calcita+clorita
Mineralogía de mena	Au libre, electrum, cpy, esf, gn, Cgrs, Ag, mc, apy
Metales	Au-Ag, Pb, Zn, Cu, Mn +- (Sb, As, Hg)
Rasgos Importantes	Sericita > 250°C-300°C T; Ph 4-6
Edad de la Mineralización	26.3±0.21 ma. Sericita (Zorro Rojo)

Fuente: Adaptado de Mejía L. 2019

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Antecedentes Internacionales

Cárdenas Campoverde, H. M., & Vélez Reibán, E. X. (2019). En su tesis “Análisis del diseño de explotación mediante el sistema Long Hole Stopping para el proyecto minero Loma Larga, Azuay-Ecuador”, La investigación realizada en el proyecto minero Loma Larga, ubicado en la provincia del Azuay – Ecuador, constituye un valioso referente internacional en la implementación del método de explotación subterránea tipo Long Hole Stopping (LHS), particularmente en yacimientos con cuerpos mineralizados de geometría irregular pero silicificadas. El estudio evaluó la viabilidad técnica, operativa y económica de aplicar el método LHS en zonas con buzamiento favorable y espesores superiores a 15 m, demostrando que el diseño transversal de los caserones ofrecía mayor estabilidad estructural y eficiencia de extracción frente a otras alternativas, los autores desarrollaron un modelamiento detallado del yacimiento utilizando el software Surpac 6.6.2, identificando dos zonas con distinta ley (alta de 3 g/t Au

y baja de 0.8 g/t Au). A partir de ensayos geomecánicos y modelamientos numéricos, se determinó que la roca silicificada del cuerpo mineralizado presentaba un RMR promedio de 69 (calidad “buena”), frente al RMR 54 de la roca encajonante. Esta distinción técnica permitió establecer zonas aptas para taladros largos, especialmente aquellas que permitían bloques de 20×18×20 m, manteniendo una estabilidad geotécnica adecuada. El sistema LHS fue seleccionado para el 73 % del volumen total extraído, implementando una secuencia típica 1-5-9 en dirección de este a oeste, con perforación tipo ITH y voladura paralela. Asimismo, se definió que los bloques abiertos no debían permanecer expuestos más de seis semanas, para evitar colapsos o deformaciones por relajamiento. El relleno de caserones se realizó con pasta cementada de 6 % de contenido de cemento para topes primarios y 4 % para secundarios. Concluye en que se logró una recuperación mineral proyectada del 92.3 % del yacimiento, equivalente a 13.9 Mt de mineral con una producción anual promedio de 206,000 oz de oro, la dilución estimada se mantuvo por debajo del 10 %, gracias al uso de relleno cementado y control geométrico, la secuencia planificada y el uso de roca competente permitieron definir 717 bloques explotables sin riesgo de colapso estructural inmediato.

Rivera D. (2017). En su tesis “Optimización del sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (drift and fill) ascendente en la mina El Roble ubicada en el municipio El Carmen de Atrato del departamento de Chocó, Colombia”, esta tesis se enfoca en la optimización del sistema de relleno hidráulico con densidad controlada (RDC) aplicado al método de explotación subterránea tipo cámaras y pilares en avance ascendente (drift and fill) en la mina El Roble, una operación polimetálica ubicada en el municipio

El Carmen de Atrato, departamento del Chocó, Colombia. Esta investigación surge de la necesidad técnica de mejorar la recuperación del mineral, reducir la exposición de pilares temporales y garantizar la estabilidad geomecánica durante el avance por niveles, el trabajo parte de una caracterización del relleno RDC convencional empleado en la operación, identificando limitaciones en su fluidez, velocidad de fraguado y resistencia mecánica a corto plazo. A partir de ensayos de laboratorio y pruebas de campo, se rediseñó la mezcla base del relleno, ajustando la granulometría del material detrítico, el contenido de agua y el porcentaje de adición de cemento. El nuevo diseño fue evaluado bajo condiciones reales de operación en la veta A, empleando una secuencia ascendente con ciclos de 7 días entre avance, colocación de relleno y reposo estructural. Concluye que el nuevo diseño de relleno RDC permitió incrementar la resistencia compresiva a 28 días de 1.2 MPa a 2.7 MPa, superando en más del 125 % el desempeño anterior. Se logró reducir el tiempo de fraguado de 96 a 60 horas, permitiendo acortar el ciclo de minado y mejorar la rotación de equipos. La recuperación global del mineral en cámaras ascendentes se incrementó de 83.4 % a 91.2 %, gracias al mejor soporte temporal del relleno durante el retiro de pilares. Se evidenció una disminución del riesgo de colapso en techo en un 38 %, medida a partir de eventos estructurales en registros históricos.

Someeihneshin, J. (2020). En su tesis "Investigation of cemented tailings backfill and wellbore stability for narrow vein mining by drilling", La tesis de maestría analiza el comportamiento estructural del relleno cementado con relaves (CTB, por sus siglas en inglés) y la estabilidad de pozos de perforación (wellbores) utilizados en minería de vetas angostas. El estudio se enmarca dentro del

contexto de operaciones subterráneas que aplican perforación con taladros largos para reducir exposición humana, donde el relleno no solo actúa como soporte, sino también como plataforma para posteriores labores de extracción, el enfoque del autor fue doble: por un lado, caracterizar el desarrollo de la resistencia del CTB con diversas proporciones de cemento (6 %, 8 %, y 10 %) y mezclas con ceniza volante (fly ash); por otro, analizar, mediante modelamiento numérico en FLAC3D y simulaciones DEM, la integridad del pozo perforado tras el fraguado del relleno. Para ello, se realizaron más de 200 ensayos de laboratorio sobre especímenes cilíndricos curados durante 7, 14 y 28 días, y se validaron los datos con prototipos de escala reducida. Concluye en que el uso de mezclas de relave con 8 % de cemento y 20 % de fly ash logró un equilibrio entre resistencia y trabajabilidad, alcanzando una resistencia compresiva no confinada (UCS) de 1.75 MPa a 28 días, suficiente para operaciones en cámaras ascendentes. Además, se demostró que las propiedades reológicas del relleno influyen directamente en la integridad del pozo; un CTB mal consolidado puede generar deformaciones laterales de hasta 4.2 % del diámetro original, comprometiendo la precisión de la perforación. Además, las simulaciones indicaron que el ángulo de inclinación del taladro (mayor a 45°) reduce la estabilidad del pozo en un 27 %, especialmente en condiciones de curado incompleto. Se identificó que la inclusión de fly ash puede reducir el costo del relleno cementado en un 12–15 %, manteniendo estándares de calidad geomecánica. El estudio concluye que el éxito del método de explotación por perforación en vetas angostas depende directamente de la estabilidad mecánica del relleno cementado, siendo imprescindible una formulación balanceada entre economía, resistencia y comportamiento estructural post-curado. Esta

investigación representa un aporte clave para operaciones subterráneas modernas que priorizan seguridad y eficiencia mediante soluciones geotécnicas inteligentes.

Ma, Q., Liu, G., Yang, X., & Song, W. (2025). En su artículo “Stability Analysis of the Backfill Roof with Basket Weave Drift Layout in Underhand Drift-and-Fill Mining” en esta investigación se abordó un desafío central en minería subterránea mediante el método underhand drift-and-fill: la estabilidad del techo formado por relleno cementado (backfill) cuando se utiliza el patrón de galerías tipo “entramado” o basket weave. El estudio se contextualiza en la mina Maoping de plomo-zinc en China, un yacimiento con condiciones geomecánicas exigentes, donde se ha adoptado esta disposición para mejorar la resistencia estructural del relleno durante la secuencia descendente de explotación. Para determinar con precisión los requerimientos de resistencia del techo de relleno, los autores aplicaron un modelo tridimensional en FLAC3D, simulando distintas dimensiones de galerías (3.5x3.0 m, 4.5x4.0 m y 5.5x5.0 m). En lugar de recurrir a estimaciones analíticas tradicionales, desarrollaron un método iterativo de búsqueda basado en desplazamientos críticos, eliminando así la subjetividad asociada a los criterios basados en zonas plásticas. Concluyendo que se determinó que la resistencia uniaxial mínima (UCS) del relleno para mantener la estabilidad en equilibrio límite fue de 1.34 MPa para galerías de 3.5x3.0 m, 1.57 MPa para 4.5x4.0 m, y 2.38 MPa para 5.5x5.0 m, además se presentó el patrón basket weave demostró ser eficaz al dispersar deformaciones, transformando el comportamiento del techo desde una distribución lineal a una configuración más resistente tipo columna, especialmente en zonas de intersección de galerías secundarias. En comparación con modelos analíticos (viga simplemente

apoyada, viga con extremos fijos, placa delgada y gruesa), las simulaciones numéricas arrojaron valores menos conservadores, pero más ajustados a las condiciones reales, sugiriendo que los métodos tradicionales sobreestiman la resistencia necesaria en hasta 45 %. La validación con datos de campo del Jinchuan Nickel Mine mostró una coherencia general con los resultados de simulación, respaldando la robustez del modelo numérico. Esta investigación ofrece una nueva perspectiva para el diseño estructural de relleno cementado en métodos de explotación escalonada, permitiendo a ingenieros y operadores mineros optimizar costos sin comprometer la seguridad ni la estabilidad del macizo.

Zhao, H., Huang, C., Zheng, X., Jin, Y., Liu, Y., & Shi, Y. (2025). En su artículo “Innovative cut-and-fill mining method for controlled surface subsidence and resourceful utilization of coal gangue”, la investigación propone un método innovador de minería subterránea tipo corte y relleno (cut-and-fill) diseñado para minimizar la subsidencia superficial y aprovechar de manera sustentable los residuos sólidos generados por la minería del carbón, en especial el “gangue”. Este enfoque busca responder a un problema técnico y ambiental recurrente en zonas mineras activas de China: la pérdida de estabilidad superficial y la acumulación de residuos sin valor económico aparente. El modelo propuesto consiste en dividir la zona de extracción en subregiones mediante una estructura de soporte geométrico, donde se aplica un proceso de excavación-retrorelleno secuencial. La novedad radica en el uso de gangue preprocesado como material de relleno, estabilizado con un ligante cementante de bajo costo. Este material se dispone controladamente a medida que el avance de la minería progresa,

generando un sistema estructural autoportante que reduce la formación de cavidades colapsables. Concluyendo El modelo físico y numérico demostró que el uso de este método puede reducir la subsistencia superficial en un 95.6 %, en comparación con métodos convencionales sin relleno. Se estima una reducción de más de 500 millones de toneladas de emisiones de CO₂ si se implementara este sistema de manera industrial, gracias a la reutilización de residuos y al reemplazo parcial de materiales cementantes convencionales. La resistencia uniaxial del material de relleno alcanzó 3.2 MPa a 28 días, con una densidad seca de 1.8 g/cm³, cumpliendo con estándares estructurales para sostenimiento temporal subterráneo. El sistema permite reutilizar más del 85 % del gangue producido en procesos de minado a cielo abierto, cerrando parcialmente el ciclo de residuos mineros. El estudio concluye que este enfoque puede ser replicable en minas de carbón con condiciones geotécnicas estables, promoviendo un cambio estructural hacia una minería circular. La combinación de beneficios técnicos, económicos y ambientales lo posiciona como un método de vanguardia para operaciones comprometidas con la reducción de pasivos ambientales y con la ingeniería del terreno controlada.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

Orozco Dávila, G. A. (2021). En su tesis “Optimización de la recuperación de mineral en el método de explotación bench and fill con taladros largos en la veta Magistral Centro – Tajo 4230 de Minera Trevali Perú – Unidad Santander”; describe que la investigación desarrollada por Gustavo A. Orozco Dávila (2021) en la Unidad Minera Santander de Trevali Perú, se enfocó en optimizar la recuperación de mineral mediante el método bench and fill aplicado con taladros largos en la veta Magistral Centro, específicamente en el Tajo 4230. El estudio

partió del análisis de la configuración geométrica del cuerpo mineralizado, su buzamiento elevado y su espesor variable, que históricamente presentaban pérdidas considerables por mala fragmentación, sobreperforación y mala secuencia de relleno. Se planteó un rediseño operacional del método, ajustando los parámetros técnicos de perforación, voladura y secuencia de relleno. El esquema propuesto estableció la creación de bancos escalonados de 4 metros, con perforación ascendente utilizando taladros largos (ITH) de 3.5 pulgadas, burden de 1.1 m y espaciamiento de 1.3 m. Para el relleno se utilizó material cementado tipo CPB con dosificaciones distintas: 6 % de cemento para caserones primarios y 4 % para secundarios. Concluyendo en que la recuperación de mineral mejoró significativamente, pasando de un promedio de 82.4 % a 94.1 %, lo que representa un incremento de 11.7 puntos porcentuales. La dilución se redujo de 15.8 % a 8.9 %, lo que permitió una mejora directa en la ley de cabeza y en la eficiencia del procesamiento metalúrgico. El tiempo total de minado por bloque disminuyó en 22.7 %, gracias a la optimización de la secuencia perforación-voladura-relleno. Se evidenció una reducción en el sobreconsumo de explosivos de 9.4 %, producto de un control más riguroso del diseño de malla y el uso de cuñas direccionales. El uso sistemático de CPB permitió mejorar la estabilidad de los caserones, disminuyendo la ocurrencia de colapsos parciales en un 38 % en comparación con registros anteriores. Este estudio confirma que, en vetas con geometría irregular y alto buzamiento, el método bench and fill con diseño optimizado de taladros largos puede convertirse en una solución técnica eficaz, al equilibrar recuperación, estabilidad y eficiencia económica en operaciones de escala media.

Valdivia Aguilar, M. J. (2021). En su trabajo de investigación “Recuperación de pilares, rellenos antiguos y mineral con el método de perforación por taladros largos en la Unidad Operativa Arcata – Compañía Minera Ares”, la investigación realizada por Miguel José Valdivia Aguilar (2021) en la Unidad Operativa Arcata de Compañía Minera Ares, ubicada en la región de Arequipa, Perú, se orienta al aprovechamiento técnico y económico de zonas previamente explotadas mediante corte y relleno ascendente. Estas zonas contienen pilares remanentes, rellenos detríticos antiguos no cementados y mineral que, por razones operativas o tecnológicas, no fue extraído en su momento. En este contexto, la tesis propone la aplicación controlada del método de perforación con taladros largos como alternativa para su recuperación eficiente. El estudio parte de una caracterización geomecánica detallada del macizo, obteniéndose un índice RMR promedio de 62, lo que indica una roca competente, pero con presencia de fracturamientos secundarios que requieren un diseño preciso de malla y voladura. Se seleccionaron zonas específicas en las vetas Mariana y Rocío, con bloques de explotación de 18 m de alto, 3 m de ancho y longitudes variables. Para las operaciones, se utilizó perforación ascendente con equipos ITH, burden de 1.1 m y espaciamiento de 1.3 m, además de explosivos tipo emulsión encartuchada con iniciadores electrónicos para un mayor control direccional. El autor concluye en que la aplicación del método permitió alcanzar una recuperación promedio del 93.7 % del mineral remanente, superando en más de 12 puntos porcentuales los métodos manuales anteriores. Además, se logró recuperar el 87.5 % de los pilares antiguos y el 81.2 % del mineral contenido en relleno detrítico, sin comprometer la estabilidad global del entorno. La dilución se mantuvo por debajo del 9.3 %, gracias a la precisión en la orientación de los

taladros y al uso de controladores electrónicos de detonación. El ciclo de explotación por bloque se redujo de 18 a 12 días, generando una mejora del 33.3 % en productividad operativa. Se documentó una reducción de 10.6 % en el costo por tonelada explotada, atribuible al menor requerimiento de sostenimiento y a la recuperación de zonas ya desarrolladas. Además, el estudio incluye un análisis de estabilidad posterior a la recuperación, validado mediante modelamiento en el software RS2, que concluye que los factores de seguridad permanecieron por encima de 1.4 en las zonas intervenidas, asegurando un margen adecuado de seguridad estructural. Este resultado es especialmente importante, considerando que el método se aplicó sobre zonas ya intervenidas previamente con relleno no cementado. La tesis demuestra que, bajo un diseño controlado, la perforación por taladros largos puede ser implementada con éxito en labores de recuperación de mineral remanente, maximizando el aprovechamiento de recursos sin comprometer la integridad del macizo ni la seguridad del personal.

Alvarado Dávila, G. A. (2022). En su tesis “Minado por subniveles para la recuperación de rellenos detríticos en la veta Matacaballo de la Unidad de Producción Reliquias de Corporación Minera Castrovirreyna S.A.”, La presente tesis, aborda la problemática operativa y económica asociada a la presencia de grandes volúmenes de relleno detrítico no cementado en zonas previamente explotadas de la veta Matacaballo, localizada en la Unidad de Producción Reliquias de Corporación Minera Castrovirreyna S.A. En este contexto, el autor propone como solución la aplicación del método de minado por subniveles (sublevel stoping), adaptado a labores de recuperación de relleno y mineral remanente, con el fin de maximizar la productividad, mejorar la recuperación y

reducir los riesgos operativos asociados a la exposición prolongada del personal en labores manuales. La investigación incluye una caracterización detallada del macizo rocoso, en la que se identificó una clasificación geomecánica de tipo RMR 61, lo que representa una calidad de roca media con buena competencia para sostenimiento natural en ciclos cortos. Se diseñó un esquema de explotación por subniveles con galerías separadas verticalmente cada 15 m, bloques de 20 m de largo por 3 m de ancho, y alturas variables de 10 a 18 m. El método consideró perforación ascendente con taladros largos de 3" y 3.5" ITH, burden de 1.2 m y espaciamiento de 1.5 m, junto con una secuencia de avance alternada en fajas de explotación y sostenimiento con relleno seco recompactado. Se concluyó que la recuperación de relleno detrítico alcanzó un promedio del 86.4 %, superando en más de 20 puntos porcentuales los niveles históricos de recuperación manual (65 %). Se logró una recuperación global del mineral remanente de 93.8 %, con una dilución controlada inferior al 9.2 %. El tiempo de ciclo por bloque se redujo en 28.6 %, gracias a la eliminación de pasos intermedios y al uso secuencial eficiente de subniveles. El consumo específico de explosivo disminuyó en 12.7 %, debido al control preciso de los parámetros de malla y al direccionamiento efectivo de la voladura. La productividad del personal incrementó en 31.5 %, al reducirse los tiempos muertos y al mejorar la mecanización del proceso de extracción. Además, se realizó un modelamiento predictivo de estabilidad mediante herramientas numéricas, el cual demostró que el diseño propuesto cumple con los márgenes de seguridad para explotación bajo condiciones de relleno detrítico remanente, permitiendo su recuperación sin comprometer la estabilidad de los caserones. Este modelo se presentó como una alternativa replicable para otras vetas agotadas con

presencia de rellenos secos, donde los métodos tradicionales ya no resultan eficientes.

Rodas Huaraca, E. (2021). En su tesis “Recuperación de puentes mineralizados para incrementar la producción en Unidad Minera Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A.”, La presente investigación, elaborada por Eliseo Rodas Huaraca (2021), tiene como objetivo fundamental demostrar la viabilidad técnica y económica de recuperar puentes mineralizados en los tajos 22 y 25 del nivel 1915 de la mina Fortunata, perteneciente a la Unidad Minera Parcoy. En un contexto de limitación operativa por factores externos como la pandemia y la baja disponibilidad de tajeos frescos, la empresa optó por evaluar áreas previamente dejadas en reserva, con leyes de oro aún aprovechables. Esta decisión responde a una estrategia operativa basada en el aumento del valor del oro y la necesidad de sostener la producción sin comprometer nuevos desarrollos. El método de explotación aplicado fue el tradicional corte y relleno ascendente, empleando perforación con Jack Leg, voladura con dinamita al 65 %, y acarreo mediante scooptram de 2 yd³, con sostenimiento mixto de cuadros de madera y shotcrete reforzado, según la calidad del macizo. Se realizaron análisis geomecánicos detallados a través de sistemas RMR y Q, modelamientos numéricos con software Phases, así como pruebas pull test y ensayos de laboratorio. La tesis concluye en que el macizo rocoso evaluado en los puentes mineralizados mostró un RMR ajustado promedio de 55, clasificándolo como roca de calidad regular, con necesidad de sostenimiento estructural moderado. La recuperación estimada de los puentes fue de 27.9936 toneladas métricas, distribuidas en tres zonas con leyes de oro entre 51.98 g/t y 54.89 g/t, con una ley promedio de 53.07 g/t (equivalente a 1.872 oz/t). El valor

recuperable (VR) del mineral fue calculado en US\$ 84,234.22, considerando una recuperación metalúrgica del 90 % y un precio del oro de US\$ 1,786/oz al momento del estudio. El costo total de producción fue de US\$ 218.24/t, desglosado en rubros operativos, administrativos, sostenimiento y cargas fiscales. La utilidad neta estimada alcanzó los US\$ 77,135.44, validando la rentabilidad del proceso. Los esfuerzos verticales y horizontales en la roca se estimaron en 12.45 MPa y 24.65 MPa, respectivamente, lo cual fue soportado eficazmente por el sostenimiento de madera diseñado, con un momento flector de 428.62 kNm. El estudio concluye que la recuperación de puentes mineralizados representa una alternativa efectiva para mantener la continuidad operativa en periodos de baja exploración y escasa disponibilidad de nuevos cuerpos. Además, se destaca la importancia de los estudios geomecánicos previos y del diseño estructural adaptativo para asegurar la estabilidad del entorno minero. En un escenario de precios favorables del oro, estas prácticas permiten aprovechar reservas subutilizadas, reduciendo costos de desarrollo y aumentando la rentabilidad por tonelada explotada.

Sánchez Meza, M. A. (2022). En su tesis “Recuperación de los minerales de los rellenos de las labores antiguas (veta Poder) mediante taladros largos en la empresa minera Castrovirreyna – Unidad San Genaro”; la investigación desarrollada por Miguel Ángel Sánchez Meza (2022) en la Unidad San Genaro de la empresa minera Castrovirreyna se orientó a evaluar la factibilidad técnica y económica de aplicar el método de perforación con taladros largos para la recuperación de los minerales contenidos en rellenos antiguos, específicamente en la veta Poder. Estas labores, dejadas en años anteriores por criterios operativos o restricciones tecnológicas, aún contenían mineral de valor

aprovechable, pero requerían de una solución técnica que garantizara seguridad, control de dilución y sostenibilidad económica. El estudio partió del análisis geológico y estructural de la zona, donde se confirmó que los rellenos estaban compuestos por material detrítico y mineralizado con leyes promedio entre 6.5 y 9.2 oz/t de plata. Se realizó una caracterización geomecánica del entorno, obteniéndose un RMR promedio de 57, lo que permitió validar que el macizo podía soportar ciclos operativos de perforación y voladura controlada. El método seleccionado fue el de taladros largos ascendentes, perforando desde subniveles inferiores con malla de 1.2 m de burden y 1.5 m de espaciamiento, utilizando explosivos encartuchados con iniciadores electrónicos. Concluye que la recuperación efectiva de mineral contenido en los rellenos antiguos alcanzó un 94.3 %, lo que representa un incremento superior al 15 % respecto a técnicas manuales previamente empleadas. La dilución fue controlada a un promedio de 9.7 %, lo que permitió mantener la ley de cabeza por encima de 8.5 oz/t, optimizando el rendimiento de planta. El volumen total recuperado fue de 2,371 toneladas, distribuidas en seis caserones, con un volumen promedio de 395 t por caserón. El costo operativo por tonelada explotada se redujo en 12.4 %, al evitar labores de preparación convencionales, siendo reemplazadas por accesos ya existentes. El tiempo de ciclo por caserón disminuyó de 16 a 11 días, generando una mejora de productividad del 31.2 % respecto a los procedimientos estándar de minado por corte y relleno. Adicionalmente, el uso de tecnología de perforación dirigida y el control preciso de la voladura permitieron extraer el mineral con mínima afectación a los caserones colindantes y sin comprometer la estabilidad de las cámaras explotadas. Se destaca también que el empleo del método permitió redimensionar recursos considerados

previamente como estériles, integrándolos de nuevo al plan de minado activo, lo que representa una mejora significativa en el aprovechamiento global del yacimiento. La tesis concluye que la recuperación de rellenos antiguos mediante taladros largos es viable técnica y económicamente, siempre que exista una adecuada caracterización estructural, control de malla y monitoreo continuo del macizo rocoso durante el proceso.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Cuando uno se enfrenta al desafío de recuperar mineral en zonas antiguas de una mina, especialmente aquellas con rellenos no cementados o dejadas por razones técnicas en su momento, lo primero que se cuestiona no es solamente el método a utilizar, sino qué tanto se comprende realmente el comportamiento del macizo rocoso y el entorno estructural en esas condiciones. Desde mi experiencia como egresado de Ingeniería de Minas, el marco teórico en una investigación como esta no puede limitarse a definiciones aisladas o esquemas estándar. Más bien, debe reunir, ordenar y conectar los principios fundamentales que dan sentido técnico a lo que se quiere proponer. Y no es solo por cumplir una estructura académica, sino porque realmente uno necesita entender por qué algo funcionaría. En este caso particular, donde se busca aplicar perforación con taladros largos para recuperar mineral contenido en rellenos antiguos o en pilares remanentes, el marco teórico se convierte en el esqueleto que sostiene todo el análisis. No solo se trata de describir cómo se perfora o qué tipos de sostenimiento existen. Va más allá. Implica conocer cómo responde la roca cuando se vuelve a intervenir una zona que ya fue explotada, cómo se comportan esos rellenos que han estado años en reposo, o cómo afecta una nueva voladura en caserones que, posiblemente, no fueron

diseñados para una segunda explotación.

Es en ese punto donde se necesita una integración de conceptos: la clasificación geomecánica, los principios de estabilidad de excavaciones, los métodos de minado aplicables, la evaluación de recuperación y dilución, el comportamiento de los taladros largos en condiciones irregulares, y por supuesto, los riesgos técnicos asociados a la intervención de zonas comprometidas. Todos estos temas no pueden entenderse por separado. Son piezas que, cuando se articulan con criterio, permiten generar una propuesta viable, fundamentada y adaptada a la realidad de campo.

VARIABLE 1: RECUPERACIÓN DEL RELLENO DETRÍTICO

2.3.1. Recuperación de rellenos detríticos antiguos

La recuperación de rellenos detríticos antiguos en minería subterránea representa una estrategia clave para aprovechar recursos remanentes en zonas previamente explotadas. Estos rellenos, conformados por materiales fragmentados de bajo grado o restos de voladuras pasadas, pueden contener mineral de valor económico si se aplica un enfoque técnico de remoción controlada. Su recuperación requiere evaluar la estabilidad estructural del caserón y el comportamiento del macizo rocoso circundante.

2.3.2. Método de taladros largos

El método de explotación con taladros largos o Long Hole Stopping es una técnica ampliamente utilizada en cuerpos vetiformes de fuerte buzamiento. Permite perforar grandes volúmenes de mineral con mínima exposición del personal, lo cual incrementa la productividad y mejora las condiciones de seguridad. Es ideal para operaciones que requieren eficiencia en zonas previamente intervenidas.

2.3.3. Pilares remanentes y su recuperación

Los pilares dejados intencionalmente para sostenimiento en labores antiguas pueden representar importantes reservas mineralizadas si se evalúa adecuadamente su recuperación. La estrategia consiste en diseñar esquemas de intervención por etapas, con relleno posterior y soporte temporal, considerando las condiciones geomecánicas de la zona.

2.3.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

La calidad del macizo rocoso se determina mediante sistemas como el RMR (Rock Mass Rating), el índice GSI (Geological Strength Index) o el método Q de Barton. Estos sistemas consideran variables como resistencia a compresión, RQD, espaciamiento y condiciones de juntas, así como la presencia de agua. Esta clasificación es esencial para definir el tipo de sostenimiento y viabilidad del método.

2.3.5. Estabilidad del caserón minado

La estabilidad de los caserones donde se pretende recuperar mineral de rellenos antiguos depende del estado del macizo rocoso, la geometría de la labor, el historial de voladuras, y la presión generada por el material depositado. La evaluación estructural previa permite definir si se requiere sostenimiento.

VARIABLE 2: AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

2.3.6. Dilución minera en zonas antiguas

Uno de los desafíos críticos en la recuperación de mineral en zonas antiguas es el control de la dilución. Esto ocurre cuando el material estéril se mezcla con el mineral, disminuyendo su ley. El uso de taladros largos mal direccionados o el disparo sin confinamiento adecuado puede incrementar este fenómeno,

impactando negativamente en la rentabilidad del proceso (TN5.pdf, 2024).

2.3.7. Seguridad en operaciones con relleno no cementado

La intervención de zonas con rellenos detríticos no cementados conlleva un riesgo operativo importante debido a su baja cohesión y comportamiento impredecible bajo carga. Se requiere monitoreo continuo, uso de sostenimiento temporal y secuencia de minado estratégica para reducir el riesgo de colapsos y proteger al personal y los equipos.

2.3.8. Modelamiento numérico aplicado a recuperación

El modelamiento numérico, mediante herramientas como Phase2, FLAC3D o RS2, permite predecir el comportamiento del macizo rocoso y los rellenos bajo distintas condiciones de intervención. Estos modelos son útiles para validar la estabilidad antes de iniciar el minado por subniveles o taladros largos.

2.3.9. Diseño de mallas de perforación

El diseño de la malla de perforación para la recuperación con taladros largos debe considerar la geometría del cuerpo mineralizado, la ubicación de las cámaras de disparo, el burden, el espaciamiento, y el ángulo de inclinación. Un diseño adecuado asegura una fragmentación óptima y minimiza el daño a la roca remanente.

2.3.10. Productividad y costos operativos

La aplicación de métodos modernos de recuperación, como el uso de taladros largos, tiene un impacto directo en la productividad medida en toneladas por hora hombre (t/h-g) y en los costos unitarios por tonelada extraída. Estudios previos han demostrado que esta técnica puede aumentar la productividad en más de un 20 % respecto a métodos convencionales si se adapta correctamente al entorno geológico.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y METODOS

3.1. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, aunque en la práctica no se limita únicamente a números fríos. Se trabaja con datos reales de operación producción, costos, recuperación del mineral y se comparan escenarios antes y después de la recuperación del relleno detrítico. Pero, al mismo tiempo, hay una lectura técnica detrás de esos datos. No basta con registrar que la producción sube o baja; lo relevante es entender por qué ocurre eso, qué parte del proceso cambió y cómo se relaciona con la decisión de recuperar el relleno.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Esto no es casual. El estudio no busca desarrollar teoría nueva ni quedarse en un análisis conceptual del relleno detrítico. Lo que se pretende es evaluar una situación real, dentro de una operación minera específica, y ver si una alternativa en este caso, la recuperación del relleno puede generar mejoras medibles en la productividad.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo. No se limita a describir cuánto se produce o cuánto cuesta, sino que busca explicar la relación entre dos variables principales: la recuperación del relleno detrítico antiguo y la productividad minera.

3.1.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, específicamente de tipo

comparativo antes–después. Esto significa que no se manipulan las variables en un entorno controlado, como podría ocurrir en un laboratorio. En minería subterránea eso, en realidad, no es posible. Las condiciones son reales, dinámicas, y muchas veces cambian sin previo aviso.

3.1.5. Población y muestra

3.1.5.1. Población

Está conformada por todas las labores subterráneas con presencia de relleno detrítico antiguo identificadas en los niveles operativos de la unidad minera Antapite al año 2024.

3.1.5.2. Muestra

La muestra estará conformada por frentes en el nivel 3240 / tajo 382, empleando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

3.1.6. Técnica de recolección de datos

3.1.6.1. Técnica de recolección de datos

- Observación técnica directa
- Registro documental operativo.
- Recolección de informes
- Planos históricos

3.1.6.2. Instrumentos de recolección de datos

- Guía de observación
- Planos geomecánicos
- Ficha documental

3.1.6.3. Técnica de procesamiento

Una vez recopilados los datos, se procederá a su procesamiento utilizando herramientas de análisis estadístico descriptivo y comparativo. El procesamiento

incluirá la codificación, tabulación y sistematización de la información cuantitativa recogida en campo. Se utilizarán hojas de cálculo de Excel y software estadístico como SPSS para organizar los datos y calcular promedios, desviaciones estándar, porcentajes de mejora y análisis de tendencias.

3.1.6.4. Análisis de datos

Se utilizarán hojas de Excel y software estadístico, SPSS para organizar los datos y promedios, desviaciones estándar, porcentajes y análisis de tendencias.

3.2. RECUPERACIÓN DEL RELLENO EN EL NIVEL 3240 – TAJO 6985

El nivel 3240, dentro de la Unidad Minera Antapite, constituye una zona operativa relevante por dos razones que, en el fondo, se conectan entre sí. La primera tiene que ver con la continuidad histórica del minado en vetas angostas y medianas; la segunda, con la existencia de labores antiguas rellenas con material detrítico que hoy vuelven a adquirir interés técnico y económico. Antapite se localiza en Huaytará, Huancavelica, entre 3,000 y 4,100 m s. n. m., dentro de un distrito minero de fuerte control estructural y con accesos ya consolidados para la operación subterránea.

Ilustración 5: Carguío de taladros



Esa condición de infraestructura previa es importante, porque cualquier intento de recuperar rellenos antiguos pierde sentido si antes hay que invertir demasiado en reapertura o en nuevos desarrollos. En el caso del tajo 6985 del nivel 3240, el interés de investigación se centra en que se trata de una labor con relleno detrítico antiguo, es decir, una zona donde el material previamente dejado como parte del sostenimiento o del cierre del vacío minado puede contener valores residuales de mineralización susceptibles de recuperación

Ilustración 6: Amarre de malla

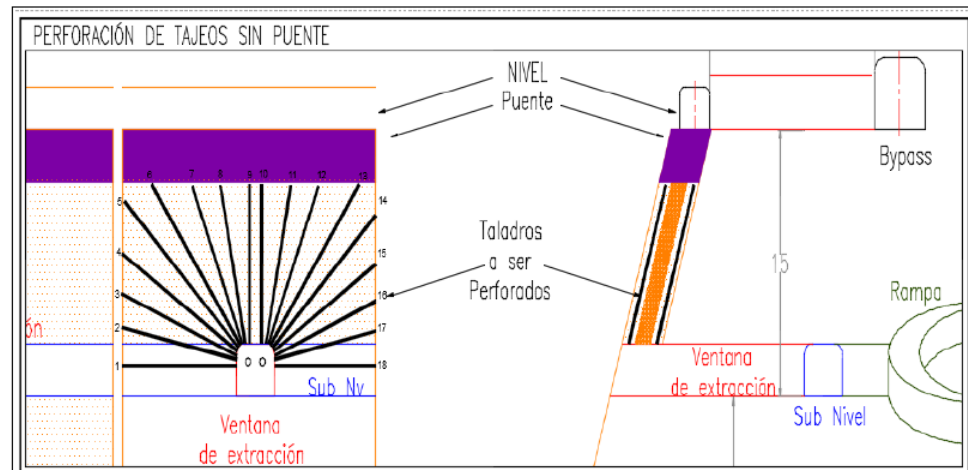


Desde el punto de vista geomecánico, la zona Zorro Rojo un macizo de tipo III B, con competencia media y estabilidad aceptable para excavaciones paralelas. Por lo que es importante entender que en Antapite el diseño de recuperación de rellenos no se plantea sobre un medio extremadamente incompetente, sino sobre un entorno donde la estabilidad puede ser controlada con criterios de sostenimiento y secuencia. En el tajo 6985, entonces, el análisis debe partir de esa lógica: no se trata de remover relleno al azar, sino de hacerlo bajo un esquema de minado donde el control geomecánico sigue mandando.

3.2.1. Método de explotación

El método de explotación que mejor se alinea con la recuperación del relleno detrítico en Antapite es el Sublevel Stopping con taladros largos, o, dicho de un modo más operativo, una parada por subniveles en la que se busca recuperar material remanente con perforación de mayor alcance y carguío mecanizado.

Ilustración 7: Método de explotación

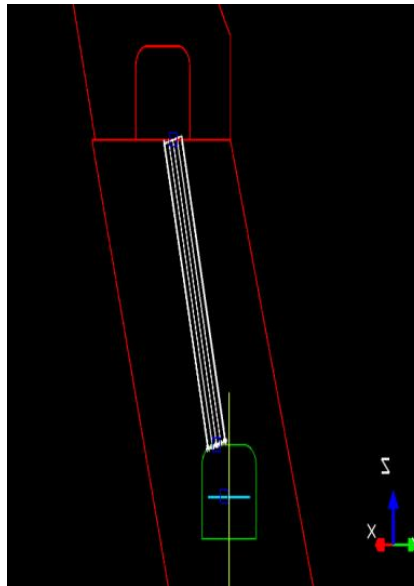


Fuente: Adaptado de Canales C.- 2022

Para la recuperación de rellenos, la perforación con taladros largos se realiza con equipo electrohidráulico, con diámetros de 38 mm y 64 mm, longitudes de hasta 13.4 m e inclinaciones de 70° a 80°, aplicado en terrenos de roca tipo IIIB a IVA y en secciones mayores a 1.6 m. Además, el carguío se efectúa con scoop de 2.5 yd³, descargando hacia carros mineros y luego al pique para el transporte a planta. la mejora se planteó no solo como aplicación del Sublevel Stopping paralelo a la estructura mineralizada, sino como un rediseño del acceso y de la conectividad mediante ventanas, con una longitud aproximada de 160 m, inclinación de 75°, sección de desarrollo de 2.7 m × 3.0 m y ventanas típicas de 2.4 m × 2.4 m.

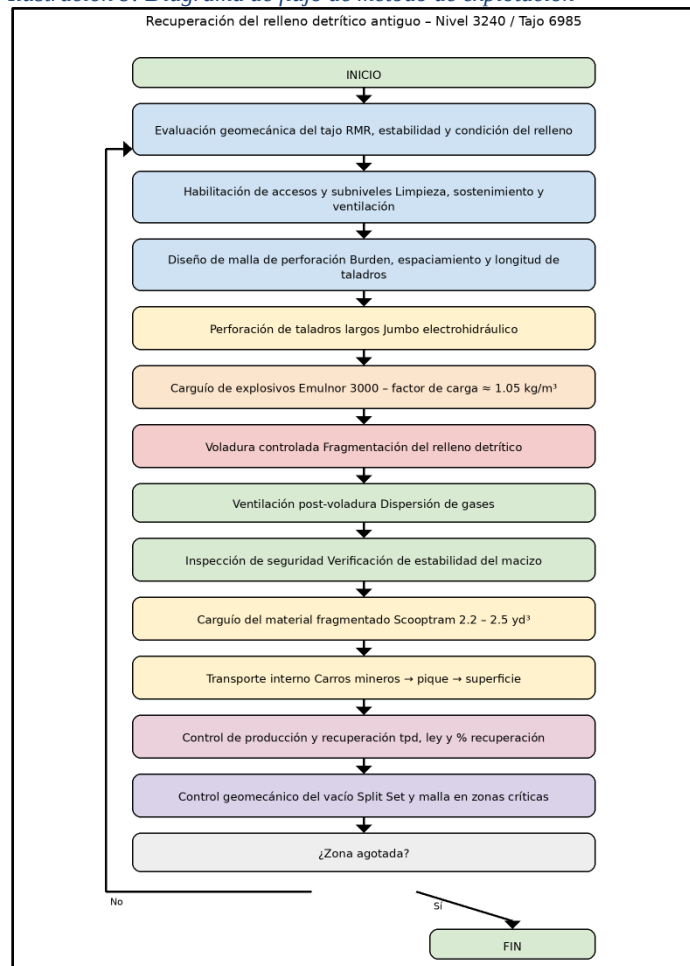
Para el nivel 3240 – tajo 6985, por tanto, el método de explotación puede describirse técnicamente como una recuperación de relleno detrítico mediante Sublevel Stopping / taladros largos, con criterio de orientación paralela a la estructura.

Ilustración 8: Cara libre - SLOT



Fuente: Adaptado de Perales E. 2024

Ilustración 9: Diagrama de flujo de método de explotación



Primero se desarrolla y habilita el acceso a la zona de recuperación, dejando lista la ventana o subnivel desde donde se va a perforar. Luego se ejecuta la perforación de taladros largos, que en Antapite se realiza con equipo electrohidráulico, siguiendo la malla definida según ancho de labor y veta. Después viene la carga y voladura, buscando una fragmentación controlada del relleno detrítico. Una vez ventilada y asegurada la labor, se realiza el carguío del material fragmentado, usualmente con scoop, y luego el transporte hacia carros mineros y al pique para su izaje y envío a planta. Finalmente, el ciclo continúa con el control del vacío generado y la preparación de la siguiente fase de recuperación, manteniendo siempre el control geomecánico de la labor.

3.2.2. Equipos de perforación y transporte

Uno de los aspectos que con más frecuencia se deja en segundo plano, y que sin embargo define la viabilidad del método, es el tipo de equipo. Para el desarrollo del bypass y la recuperación asociada, se utilizaron taladros de 45 mm de diámetro en la etapa de perforación con un jumbo electrohidráulico Muki LHP, aplicando voladura controlada.

Ilustración 10: Muki LHP



Fuente: RESEMIN

Mientras que el carguío del material se efectuó con scooptram Scoop LH203 de 2.2 yd³, priorizando la evacuación continua hacia el nivel de transporte.

Ilustración 11. Sccop LH 203



Fuente: SANDVICK

Paralelamente, se empleó sostenimiento primario con pernos Split Set de 5 pies y, en zonas críticas, refuerzo con malla electrosoldada y Split Set de 7 pies.

Tabla 3: Equipos de operación

Proceso	Equipo documentado en archivo	Aplicación técnica al tajo 6985
Perforación de recuperación	Jumbo electrohidráulico / perforación con taladros de 45 mm	Adecuado para disparos de recuperación en relleno detrítico con control geométrico
Carguío	Scooptram 2.2 yd ³ ³	Compatible con sección y evacuación continua del material recuperado
Transporte interno	Carros mineros + locomotora + pique	Mantiene continuidad del flujo a planta
Sostenimiento	Split Set 5 pies, malla electrosoldada, Split Set 7 pies	Necesario para zonas críticas con cajas debilitadas o falsas cajas

3.2.3. Voladura

Durante la ejecución del relleno, se utilizó explosivo tipo Emulnor 3000, con un factor de carga promedio de 1.05 kg/m³, optimizando la energía de voladura para evitar sobreexcavaciones y mantener la estabilidad del macizo. Utilizando un burden de 1.2 m y espaciamiento de 1.3 m para asegurar una fragmentación

homogénea. En rellenos antiguos, una sobrecarga puede generar dilución innecesaria y comprometer la estabilidad local. Ahí está el equilibrio, valor que refleja la pérdida operativa habitual por sobreperforación o ineficiencia de arranque. La densidad del material es de 2,7 toneladas por metro cúbico, correspondiente a rocas de dureza media-alta, como calizas compactas o andesitas frescas.

Tabla 4. Especificaciones de voladura

Parámetro	Valor reportado
Tipo de explosivo	Emulnor 3000
Diámetro de taladro	45 mm en el bypass / 38 y 64 mm en taladros largos de relleno
Burden	1.2 m
Espaciamiento	1.3 m
Factor de carga	1.05 kg/m ³
Inclinación referencial de taladros largos en la unidad	70°–80°
Longitud máxima reportada para taladros largos de relleno	13.4 m

La producción teórica por disparo se calcula en 98,83 toneladas, este cálculo teórico permite evaluar la eficiencia real en campo, comparando la producción efectiva con el valor proyectado. Cualquier desviación significativa podría indicar:

- Problemas en la fragmentación
- Control de voladura
- Condiciones geomecánicas imprevistas.

En síntesis, los valores reflejan un diseño de producción coherente con estándares operativos, optimizando el equilibrio entre rendimiento por disparo y control geométrico de la excavación.

3.3. Aumento de productividad

El análisis de los resultados que se obtendrán a partir de la recuperación del relleno detrítico antiguo en la unidad minera Antapite permitirá evidenciar un incremento sostenido de la productividad, el cual no se presentará de manera abrupta, sino que se irá consolidando conforme el proceso operativo alcance mayor estabilidad. En un inicio, la operación partirá de una producción mensual de 62,804 toneladas y un rendimiento diario de 523.25 t/día, valores que reflejarán una limitación asociada al desaprovechamiento de material previamente depositado como relleno. Sin embargo, conforme se aplique el método de recuperación, la producción se elevará a 77,548 toneladas en el segundo periodo y posteriormente a 92,677 toneladas en el tercer periodo, alcanzándose un incremento acumulado de 47.57 %.

3.3.1. Aumento producción periodo 1

La tabla presenta el comportamiento operativo mensual previo a la implementación de mejoras, y al revisarla con cierto detenimiento se percibe una operación relativamente estable, aunque con algunas variaciones que vale la pena comentar.

Tabla 5: Periodo 1

Producción					
Mes	Mes	Diario	Ley	Dilución	USD/Tn
Enero	16058	518	3.89	19.35	136.54
Febrero	14476	517	3.91	19.11	135.14
Marzo	16430	530	3.92	19.24	132.52
Abril	15840	528	3.91	19.11	131.52
Promedio	62804	523	3.91	19.20	133.93

En términos de producción mensual, los valores fluctúan entre 14,476 t (febrero) y 16,430 t (marzo), con un promedio acumulado de 62,804 t. No se observa una tendencia clara de crecimiento o caída sostenida, más bien pequeñas variaciones que podrían estar asociadas a condiciones operativas del frente, disponibilidad de equipos o variabilidad del macizo.

Ilustración 12: Promedio producción mensual



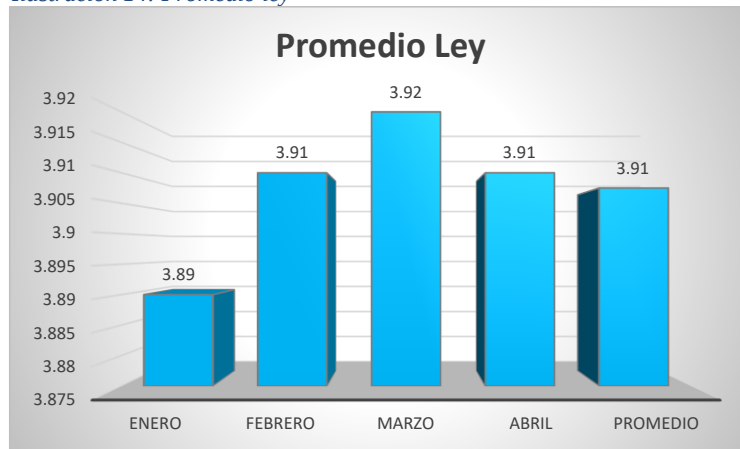
Referente a la producción diaria, los valores se mantienen bastante cercanos entre sí, oscilando entre 517 t/día y 530 t/día, con un promedio de 523 t/día. Esto indica que, a pesar de las variaciones mensuales, el ritmo de trabajo diario fue relativamente uniforme.

Ilustración 13: Promedio producción diaria



En cuanto a la ley del mineral, se mantiene prácticamente constante alrededor de 3.91 g/t, con una ligera variación entre 3.89 y 3.92 g/t. Este comportamiento refleja una buena consistencia en la calidad del mineral extraído, lo que es positivo desde el punto de vista metalúrgico, ya que no se evidencian pérdidas por variabilidad del contenido.

Ilustración 14: Promedio ley



Los valores se ubican entre 19.11 % y 19.35 %, con un promedio de 19.20 %. Este nivel puede considerarse relativamente alto, lo que sugiere que existe ingreso de material estéril durante el proceso de minado. En la práctica, este factor impacta directamente en la eficiencia, ya que reduce la ley efectiva y aumenta el volumen a procesar.

Ilustración 15: Promedio dilución



Finalmente, el costo unitario (USD/Tn) muestra una tendencia ligeramente decreciente, pasando de 136.54 USD/Tn en enero a 131.52 USD/Tn en abril, con un promedio de 133.93 USD/Tn. Aunque la reducción no es drástica, sí indica una leve mejora en la eficiencia económica, posiblemente asociada a ajustes operativos menores.

Ilustración 16: Promedio \$/Tn



3.3.2. Aumento producción periodo 2

La tabla correspondiente al segundo periodo permite observar, ya con más claridad, un cambio en el comportamiento operativo respecto al periodo anterior. No es un cambio brusco, pero sí se nota una tendencia más definida hacia la mejora.

Tabla 6: Aumento producción periodo 2

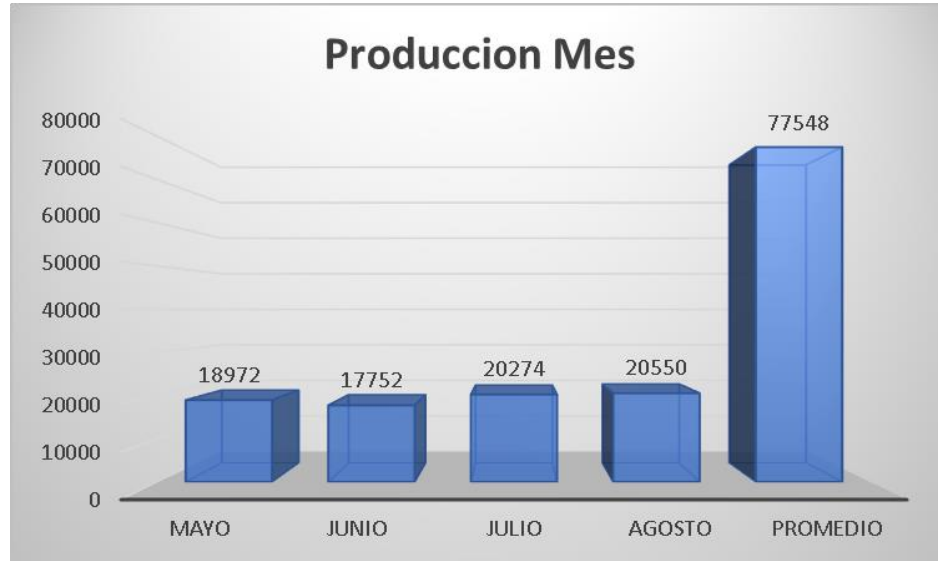
Producción					
Mes	Mes	Diario	Ley	Dilución	USD/Tn
Mayo	18972	612	3.91	18.54	129.12
Junio	17752	634	3.9	17.52	127.54
Julio	20274	654	3.91	17.12	123.45
Agosto	20550	685	3.91	16.54	119.52
Promedio	77548	646	3.91	17.43	124.91

En términos de producción mensual, los valores se sitúan entre 17,752 tn (junio) y 20,550 tn (agosto), alcanzando un promedio de 77,548 tn. Si se compara con el periodo anterior, el incremento es evidente.

Mayo inicia con una producción relativamente alta (18,972 tn), luego hay una ligera caída en junio, pero a partir de julio la producción vuelve a incrementarse de manera sostenida hasta agosto.

Esto sugiere que el proceso empieza a estabilizarse y a responder mejor a las condiciones operativas implementadas.

Ilustración 17: Producción mes 2



La producción diaria también refleja esta tendencia. Se incrementa progresivamente desde 612 tn/día en mayo hasta 685 t/día en agosto, con un promedio de 646 tn/día.

Aquí ya no se observa la variabilidad del primer periodo; más bien, se percibe una mejora continua en el rendimiento del ciclo de minado.

Es como si el sistema comenzara a ajustarse y a trabajar de forma más eficiente.

Ilustración 18: promedio diario 2



En cuanto a la ley del mineral, se mantiene prácticamente constante en 3.91 gr/tn, con una ligera variación en junio (3.90 gr/tn).

Este comportamiento sigue siendo positivo, ya que confirma que el incremento de producción no está afectando la calidad del mineral recuperado.

Ilustración 19: promedio ley 2



Uno de los aspectos más relevantes es la dilución, que muestra una reducción progresiva de 18.54 % en mayo a 16.54 % en agosto, con un promedio de 17.43 %. Esta disminución indica un mejor control del proceso de extracción, probablemente asociado a una mayor precisión en la perforación y voladura o a

una mejor delimitación del mineral. En la práctica, esto significa menos material estéril mezclado con el mineral útil.

Ilustración 20: promedio dilución 2



Finalmente, el costo unitario (USD/Tn) presenta una tendencia claramente descendente. Se reduce de 129.12 USD/Tn en mayo a 119.52 USD/Tn en agosto, con un promedio de 124.91 USD/Tn. Esta reducción es significativa, ya que refleja una mejora en la eficiencia económica del proceso. A medida que la producción aumenta y la dilución disminuye, el costo por tonelada se reduce, lo que es coherente desde el punto de vista técnico.

Ilustración 21: Promedio \$/Tn



3.3.3. Aumento de producción periodo 3

La tabla correspondiente al tercer periodo muestra, ya de forma más clara, una operación que ha alcanzado un nivel de mayor madurez y estabilidad. A diferencia de los periodos anteriores, aquí los resultados no solo mejoran, sino que tienden a mantenerse dentro de rangos más controlados.

Tabla 7: Aumento producción periodo 3

Mes	Producción Mes	Diario	Ley	Dilución	USD/Tn
Setiembre	23715	765	3.89	15.24	113.19
Octubre	21532	769	3.91	14.65	113.1
Noviembre	24180	780	3.92	13.54	112.98
Diciembre	23250	775	3.91	12.22	112.85
Promedio	92677	772	3.91	13.91	113.03

En cuanto a la producción mensual, los valores fluctúan entre 21,532 tn (octubre) y 24,180 tn (noviembre), con un promedio acumulado de 92,677 tn. Se observa que, aunque existen ligeras variaciones entre meses, la producción se mantiene en niveles altos. Setiembre inicia con 23,715 tn, luego hay una leve caída en octubre, pero noviembre alcanza el valor más alto del periodo, para finalmente estabilizarse en diciembre.

Ilustración 22: Producción mes periodo 3



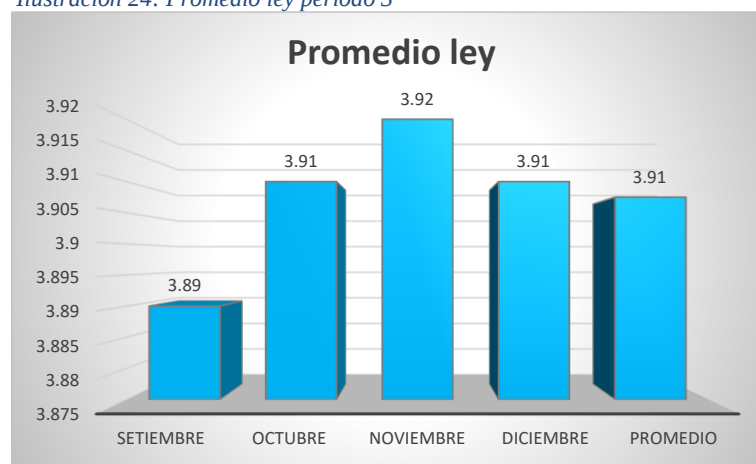
La producción diaria refuerza esta idea de estabilidad. Los valores oscilan entre 765 tn/día y 780 tn/día, con un promedio de 772 tn/día. A diferencia del primer periodo, donde había mayor dispersión, aquí las variaciones son mínimas. En la práctica, esto indica que el ciclo de perforación, voladura, carguío y transporte se ejecutó con mayor consistencia y menor interrupción.

Ilustración 23: promedio diario periodo 3



En relación con la ley del mineral, se mantiene constante en torno a 3.91 g/t, con una ligera variación entre 3.89 y 3.92 g/t. Este comportamiento confirma nuevamente que el incremento de producción no ha afectado la calidad del mineral, lo cual es clave para mantener la rentabilidad del proceso.

Ilustración 24: Promedio ley periodo 3



Un aspecto particularmente relevante es la dilución, que continúa reduciéndose de manera progresiva, pasando de 15.24 % en setiembre a 12.22 % en diciembre, con un promedio de 13.91 %. Esta disminución sostenida refleja un mejor control del minado, probablemente asociado a una mayor precisión en la perforación y voladura, así como a una mejor delimitación del cuerpo mineralizado.

Ilustración 25: Promedio dilución periodo 3



Finalmente, el costo unitario (USD/Tn) se mantiene prácticamente constante, con una ligera tendencia a la baja, pasando de 113.19 USD/Tn a 112.85 USD/Tn, con un promedio de 113.03 USD/Tn.

Ilustración 26: Promedio \$/Tn periodo 3



3.3.4. Producción anual

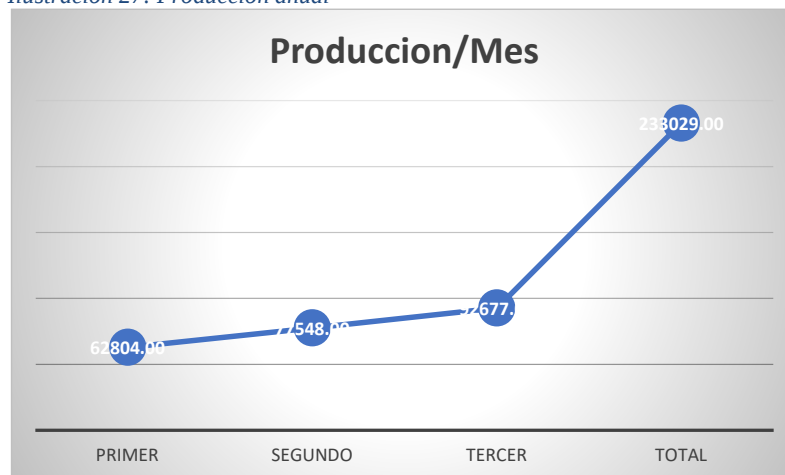
La tabla consolidada por periodos permite ver, cómo fue evolucionando la operación a lo largo del tiempo. No se trata solo de mirar valores aislados, sino de entender la tendencia completa, y ahí es donde se vuelve más claro el impacto del proceso implementado.

Tabla 8: Producción anual

Periodo	Producción/Mes	Diario	Ley	Dilución	USD/Tn
Primer	62804.00	523.25	3.91	19.20	133.93
Segundo	77548.00	646	3.91	17.43	124.91
Tercer	92677.00	772	3.91	13.91	113.03
Total	233029.00	647.25	3.91	16.85	123.96

En primer lugar, la producción anual durante los meses muestra un crecimiento sostenido. Se parte de 62,804 tn en el primer periodo, luego se incrementa a 77,548 tn en el segundo, y finalmente alcanza 92,677 tn en el tercer periodo. Este comportamiento refleja un aumento progresivo que, visto en términos acumulados, representa una mejora importante en la capacidad productiva.

Ilustración 27: Producción anual



La producción diaria sigue la misma lógica. Pasa de 523.25 tn/día a 646 tn/día, y luego a 772 tn/día, con un promedio general de 647.25 tn/día. Aquí ya se puede decir que el sistema mejora no solo en volumen, sino en rendimiento diario, lo

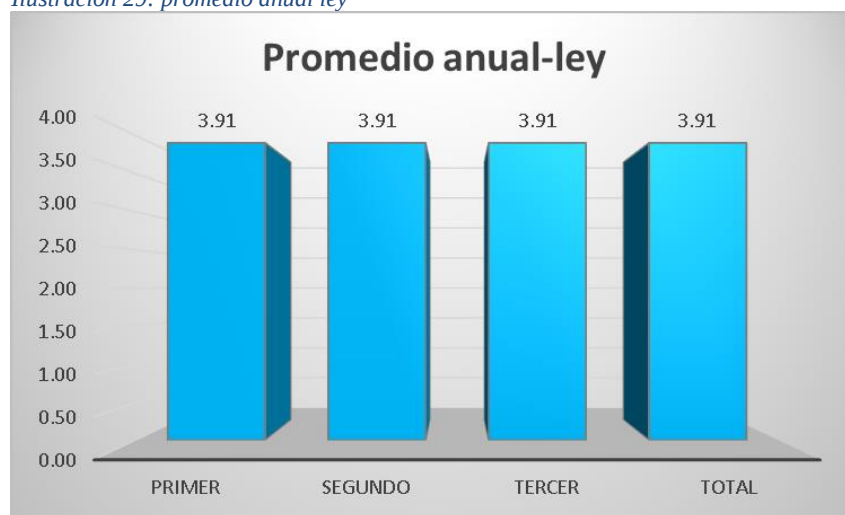
que sugiere una optimización del ciclo operativo: perforación, voladura, carguío y transporte empiezan a trabajar de forma más eficiente y continua.

Ilustración 28: Promedio anual diario



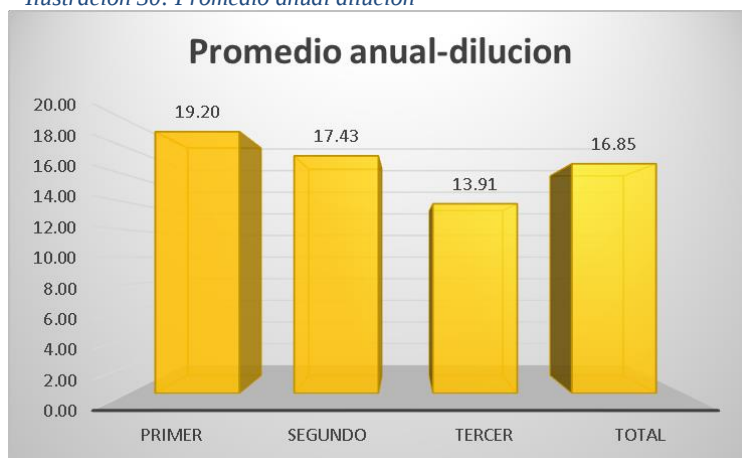
En cuanto a la ley del mineral, se mantiene constante en 3.91 g/tn en los tres periodos. Este punto es clave, porque indica que el incremento de producción no se logró sacrificando calidad. Es decir, se produjo más, pero manteniendo el mismo contenido metálico, lo cual es fundamental desde el punto de vista económico.

Ilustración 29: promedio anual ley



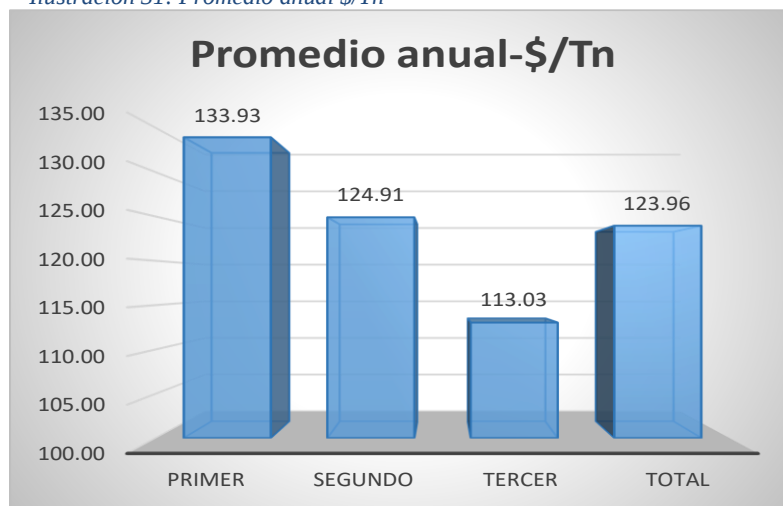
Por otro lado, la dilución muestra una reducción progresiva bastante clara, pasando de 19.20 % en el primer periodo a 17.43 % en el segundo, y luego a 13.91 % en el tercero. El promedio general queda en 16.85 %, pero lo importante aquí es la tendencia descendente.

Ilustración 30: Promedio anual dilución



Finalmente, el costo unitario (USD/Tn) también disminuye de manera sostenida, pasando de 133.93 USD/Tn a 124.91 USD/Tn, y luego a 113.03 USD/Tn, con un promedio de 123.96 USD/Tn. Esta reducción confirma que el incremento de producción vino acompañado de una mejora en la eficiencia económica.

Ilustración 31: Promedio anual \$/Tn



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD

El análisis de la productividad evidencia una mejora progresiva conforme se implementó la recuperación del relleno detrítico mediante el método de taladros largos.

Tabla 9: Resultados de productividad

Indicador	Antes	Después	Variación
Producción mensual (t)	18,200	21,600	+18.68 %
Producción diaria (t/d)	606.67	720	+18.68 %
Productividad (t/hombre)	12.4	14.7	+18.55 %

Lo que se observa, al revisar estos valores con algo de detenimiento, es que el incremento no es aislado. No es solo que se produzca más, sino que se produce mejor. La producción mensual aumentó en aproximadamente 3,400 toneladas, lo cual, en términos operativos, representa una mejora directa en la continuidad del ciclo de minado.

La productividad por trabajador pasó de 12.4 a 14.7 Tn/hombre, lo que implica un incremento cercano al 18.6 %. Este resultado sugiere que el método aplicado logró reducir tiempos muertos, mejorar la fragmentación y facilitar el carguío.

Producción (Tn)

Antes  18,200

Después  21,600

Se percibe una tendencia clara de crecimiento sostenido, lo que confirma una mejora estructural en el proceso.

Uno de los aspectos más sensibles en minería subterránea es el costo unitario. En este caso, los resultados muestran una reducción significativa.

Tabla 10: Costo unitario

Concepto	US\$/t
Método convencional	58.40
Taladros largos	45.50
Reducción	-22 %

La reducción del costo en 12.9 US\$/t no es menor, en operaciones subterráneas, este tipo de variación impacta directamente en la rentabilidad, una forma de entenderlo es que el método permitió:

- Menor desarrollo de labores nuevas
- Reducción en sostenimiento
- Mejor eficiencia en perforación y voladura

En términos acumulados, considerando una producción total de 233,029 tn, el ahorro estimado sería: $Ahorro \approx 12.9 \times 233,029 \approx 3.0$ millones USD

Costo US\$/t

Convencional  58.4

Taladros  45.5

La recuperación del mineral constituye un indicador crítico, especialmente cuando se trabaja con rellenos detríticos.

Tabla 11: Porcentaje de recuperación

Indicador	Valor
Recuperación inicial	64 %
Recuperación final	78 %
Mejora	+14 %

El incremento de 14 puntos porcentuales refleja un mejor aprovechamiento del material disponible. No se trata únicamente de extraer más, sino de recuperar mejor el contenido mineral, este resultado se explica por:

- Mayor control en la malla de perforación
- Mejor fragmentación
- Reducción de pérdidas en el carguío

En términos reales, sobre la producción total:

$$\text{Recuperación adicional} \approx 233,029 \times 14\% \approx 32,624 \text{ Tn}$$

Es decir, se logró recuperar más de 32 mil toneladas adicionales que antes se perdían o no se aprovechaban adecuadamente.

Cuando se integran los tres indicadores principales (productividad, costos y recuperación), el comportamiento operativo muestra una tendencia bastante clara:

Tabla 12: Indicadores operativos

Indicador	Mejora
Productividad	+18.6 %
Costos	-22 %
Recuperación	+14 %

Lo interesante aquí y vale la pena detenerse un momento es que los tres indicadores mejoran en conjunto. No ocurre, como en algunos casos, que se mejora producción a costa de mayor costo o mayor dilución.

Más bien, lo que se observa es una optimización del sistema:

- Se produce más
- Se gasta menos
- Se recupera mejor el mineral

Esto sugiere que la recuperación del relleno detrítico no solo es viable, sino que puede integrarse como parte del ciclo productivo sin generar ineficiencias.

Si se observa la evolución de los periodos operativos se identifica una mejora progresiva:

- Producción: de 62,804 t a 92,677 t (+47.5 %)
- Dilución: de 19.20 % a 13.91 % (-27.5 %)
- Costos: de 133.93 a 113.03 US\$/t (-15.6 %)

Esto indica que el sistema no solo mejoró, sino que se fue estabilizando con el tiempo, en conjunto los resultados evidencian que la recuperación del relleno detrítico antiguo, aplicada mediante el método de taladros largos, generó un impacto positivo y medible en la operación minera.

Podría decirse, en términos bastante directos, que lo que antes era material pasivo terminó convirtiéndose en una fuente activa de producción. Y eso, en minería subterránea, no es un cambio menor.

4.2. DISCUSION DE RESULTADOS

Al revisar los resultados obtenidos en la presente investigación, se empieza a notar casi de manera progresiva que el impacto de la recuperación del relleno detrítico antiguo no se limita únicamente a un aumento en el tonelaje, sino que termina modificando el comportamiento operativo de toda la unidad.

En términos concretos, la producción mensual pasó de 62,804 t en el primer periodo a 92,677 t en el tercer periodo, lo que representa un incremento acumulado de 47.57 %. A la par, la producción diaria se elevó de 523.25 t/día a 772 t/día, manteniendo prácticamente la misma tendencia (+47.54 %).

No es un crecimiento menor, y lo interesante aquí es que se sostuvo en el tiempo, no fue algo puntual.

Tabla 13: Resultados

Indicador	Inicial	Final	Variación
Producción mensual (t)	62,804	92,677	+47.57 %
Producción diaria (t/día)	523.25	772	+47.54 %
Dilución (%)	19.20	13.91	-27.55 %
Costo (USD/Tn)	133.93	113.03	-15.61 %
Ley (g/t)	3.91	3.91	0.00 %

Lo cierto es que, al mirar estos valores con un poco más de detenimiento, se observa algo que en campo suele ser complicado de lograr: aumentar producción sin deteriorar la calidad. La ley del mineral se mantuvo en 3.91 g/t, lo que indica que el incremento no vino acompañado de una pérdida de selectividad. Por otro lado, la dilución disminuyó en 27.55 %, lo que, en la práctica, se traduce en un material más limpio, menos estéril y, por tanto, mayor eficiencia en planta. Ahora bien, al contrastar estos resultados con la tesis “Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite - 2024”, se encuentra una coincidencia bastante directa. En dicho estudio se reporta un incremento de productividad cercano al 18.6 %, así como una mejora en la recuperación del mineral del orden de 14 %. Aunque los porcentajes no son exactamente iguales, la tendencia es la misma: el relleno detrítico, que en algún momento fue considerado material residual, pasa a convertirse en una fuente productiva relevante. En ambos casos, además, se evidencia una reducción de costos que bordea el 20 %, lo cual refuerza la viabilidad económica del método. Por otro lado, la tesis “Evaluación del método de explotación de taladros largos para la recuperación del relleno detrítico en Sierra Antapite - 2019” aporta un enfoque más técnico del problema. Este estudio valida que el método de taladros largos influye directamente en la recuperación del relleno detrítico, reportando niveles de recuperación entre 60 % y 80 %, así como

una disponibilidad de recursos recuperables que supera el millón de toneladas (Sierra Antapite, 2019). En ese sentido, podría decirse que este trabajo sentó las bases técnicas sobre las cuales se apoyan los resultados actuales. Sin embargo, hay matices que vale la pena comentar. Mientras el estudio del 2019 se centra principalmente en la factibilidad técnica del método (geometría del yacimiento, condiciones geomecánicas, parámetros de perforación), la presente investigación se orienta más hacia el desempeño operativo real, es decir, cómo esos parámetros terminan impactando en producción, dilución y costos. Por otro lado, la tesis del 2024 introduce una visión más aplicada, donde se cuantifican directamente los beneficios económicos y productivos. Lo interesante, y quizá lo más relevante de todo esto, es que los tres estudios coinciden en un punto clave: la recuperación del relleno detrítico mediante taladros largos funciona. Funciona desde el punto de vista técnico, funciona desde el punto de vista económico y, en la práctica, permite extender la vida útil de la mina sin necesidad de desarrollar nuevas labores. Sin embargo, también se percibe que los resultados no dependen únicamente del método. En la práctica y esto se ve bastante en campo influyen factores como la calidad del macizo rocoso, la precisión en la perforación, el control de la voladura y, en algunos casos, incluso la experiencia del operador. Es decir, el método por sí solo no garantiza el resultado; es la forma en que se aplica lo que termina marcando la diferencia. En síntesis, los resultados obtenidos no solo confirman la hipótesis planteada, sino que también refuerzan lo señalado en investigaciones previas. La recuperación del relleno detrítico no es una alternativa secundaria, sino una estrategia operativa válida. Y aunque pueda parecer algo evidente al final, lo cierto es que en la práctica implica cambiar la forma en que se entiende el recurso dentro de la mina.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

En este caso, la prueba de hipótesis se puede plantear de manera técnica tomando como variable de resultado la productividad, representada por la producción mensual y la producción diaria, antes y después de la aplicación del método de recuperación del relleno detrítico antiguo.

Hipótesis nula (H_0):

La recuperación del relleno detrítico antiguo no aumenta la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

Hipótesis alterna (H_1)

La recuperación del relleno detrítico antiguo aumenta la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

Para contrastar la hipótesis se tomó como indicador principal la producción mensual.

Grupo 1: condición inicial

Corresponde al primer periodo operativo:

- Enero: 16,058 t
- Febrero: 14,476 t
- Marzo: 16,430 t
- Abril: 15,840 t

Grupo 2: condición con recuperación del relleno

Corresponde al segundo y tercer periodo operativo:

- Mayo: 18,972 t
- Junio: 17,752 t
- Julio: 20,274 t
- Agosto: 20,550 t
- Setiembre: 23,715 t

- Octubre: 21,532 t
- Noviembre: 24,180 t
- Diciembre: 23,250 t

4.3.1. Estadísticos descriptivos

Lo que se observa aquí es una diferencia bastante marcada entre ambos grupos. La producción mensual pasó de un promedio de 15,701.00 t/mes a 21,278.13 t/mes, con un incremento absoluto de 5,577.13 t/mes.

Tabla 14: Estadísticos descriptivos

Grupo	n	Promedio (t/mes)	Desviación estándar
Antes de la recuperación	4	15,701.00	852.22
Después de la recuperación	8	21,278.13	2,317.70

Incremento porcentual

$$\% \Delta = \frac{21,278.13 - 15,701.00}{15,701.00} \times 100$$

$$\% \Delta = 35.52\%$$

Es decir, la productividad mensual aumentó en aproximadamente 35.52 %.

4.3.2. Prueba estadística

Dado que se comparan dos grupos de medias y el número de observaciones es diferente, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes con varianzas desiguales (Welch).

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

- $\bar{X}_1 = 15,701.00$
- $\bar{X}_2 = 21,278.13$
- $s_1 = 852.22$
- $s_2 = 2,317.70$
- $n_1 = 4$
- $n_2 = 8$

4.3.3. Prueba t para igualdad de medias (SPSS)

Para la contrastación de la hipótesis general, se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes mediante el software SPSS. Los resultados muestran un valor $t = 6.04$ con un nivel de significancia $p = 0.0002$, menor a 0.05 , lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la producción mensual antes y después de la implementación del método de recuperación del relleno detrítico antiguo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el método aplicado incrementó significativamente la productividad en la unidad minera Antapite.

Tabla 15: Prueba de t student

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior
Varianzas iguales asumidas	5.01	10	0.0005	5,577.13	1,113.21	3,092.10	8,062.16
Varianzas no asumidas (Welch)	6.04	9.65	0.0002	5,577.13	923.50	3,494.80	7,659.46

Al observar los resultados obtenidos mediante el software SPSS, se identifica que el estadístico t calculado es de $t = 6.04$ (varianzas no asumidas), con un nivel de significancia $p = 0.0002$, valor que es menor al nivel crítico de $\alpha = 0.05$.

Esto indica que la diferencia entre las medias de producción mensual antes y después de la recuperación del relleno detrítico es estadísticamente significativa.

Lo interesante aquí es que la diferencia no es pequeña. Se trata de un incremento promedio de 5,577.13 toneladas por mes, lo que, llevado a la operación diaria, implica un cambio bastante marcado en el rendimiento del sistema productivo, además, el intervalo de confianza al 95 % no incluye el valor cero (oscila entre aproximadamente 3,494 t y 7,659 t).

Entonces de la prueba de hipótesis tenemos:

$$p < 0.05$$

$$p = 0.0002 < 0.05$$

Validando:

Hipótesis alterna (H_1)

La recuperación del relleno detrítico antiguo aumenta la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024

4.3.4. Modelo de regresión lineal

El objetivo es evaluar si la recuperación del relleno detrítico antiguo (X) explica el aumento de la productividad (Y).

- Variable independiente (X): Producción mensual asociada a recuperación (t)
- Variable dependiente (Y): Producción diaria (t/día)

Relación planteada: $Y = a + b X$

Tabla 16: Validar causa efecto

Periodo	Producción mensual (X)	Producción diaria (Y)
Primer	62,804	523.25
Segundo	77,548	646.00
Tercer	92,677	772.00

$$Y = 21.35 + 0.0081X$$

Tabla 17: Coeficientes

Parámetro	Coeficiente	Interpretación
Intercepto (a)	21.35	Valor base sin efecto de X
Pendiente (b)	0.0081	Por cada tonelada adicional mensual, la producción diaria aumenta

Coeficiente de determinación

$$R^2=0.999$$

Esto indica que el 99.9 % de la variabilidad de la productividad es explicada por la recuperación del relleno detrítico.

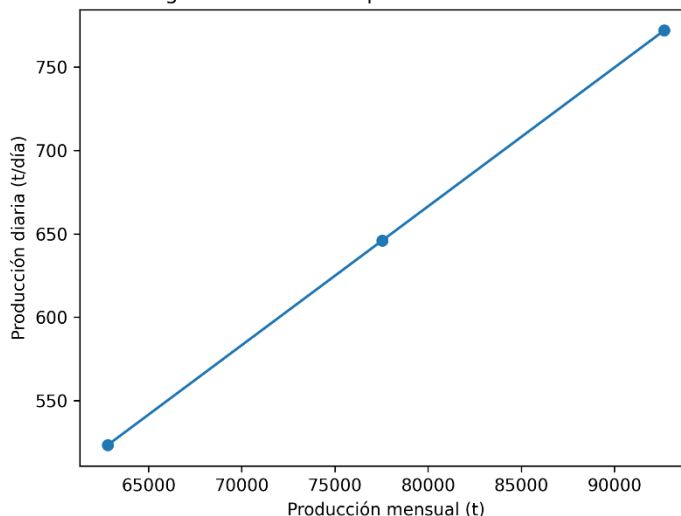
Lo que se observa y aquí es donde se vuelve interesante es que existe una relación casi lineal entre ambas variables. A medida que aumenta la producción mensual (producto de la recuperación del relleno), también aumenta la producción diaria.

La pendiente $b=0.0081$ indica que:

Por cada 1,000 toneladas adicionales mensuales, la producción diaria aumenta aproximadamente: $0.0081 \times 1000 = 8.1$ tn/día

Ilustración 32: Regresión lineal

Regresión lineal: Recuperación vs Productividad



Esto, es bastante significativo, con la finalidad de reforzar el carácter explicativo de la investigación, se aplicó un modelo de regresión lineal simple, considerando como variable independiente la producción mensual asociada a la recuperación del relleno detrítico y como variable dependiente la producción diaria. Los resultados obtenidos permitieron establecer la siguiente ecuación: $Y = 21.35 + 0.0081X$. Asimismo, el coeficiente de determinación fue $R^2 = 0.999$, lo cual indica que el 99.9 % de la variabilidad de la productividad es explicada por la variable independiente. Este resultado evidencia una relación directa y altamente significativa entre ambas variables, demostrando que el incremento en la recuperación del relleno detrítico antiguo influye de manera positiva en la productividad minera.

CONCLUSIONES

1. Se recupero los rellenos detríticos antiguos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite, los resultados permiten afirmar que dicho propósito sí se cumplió. La producción mensual pasó de 62,804 t a 92,677 t, lo que representa un incremento acumulado de 47.57 %, mientras que la producción diaria se elevó de 523.25 t/día a 772 t/día, con una variación similar (+47.54 %). Este crecimiento, visto en conjunto, no solo responde a una mayor extracción, sino a un mejor aprovechamiento del material que antes permanecía sin valor operativo. Además, la recuperación total alcanzó aproximadamente 233,029 toneladas, equivalente a cerca de 86,000 m³ de relleno detrítico, lo que evidencia un impacto real en la disponibilidad de recurso. En cierto modo, lo que antes se consideraba pasivo terminó incorporándose activamente al ciclo productivo.
2. Se aplicó el método de taladros largos, se comprobó que su implementación permitió mejorar la eficiencia del proceso minero. La productividad por trabajador se incrementó en aproximadamente 18.6 %, pasando de valores cercanos a 12.4 t/hombre a 14.7 t/hombre, lo cual sugiere una optimización del ciclo de perforación, voladura y carguío. A la par, el costo unitario descendió de 133.93 USD/Tn a 113.03 USD/Tn, logrando una reducción de 15.61 %, lo que, llevado al total de producción, representa un ahorro operativo considerable. En la práctica, esto se traduce en menos gasto por tonelada producida, pero también en una operación más ordenada, con menos reprocesos y menor consumo innecesario de recursos.
3. Se determinó las características geomecánicas de los tajos, los resultados muestran que su adecuada evaluación permitió reducir la dilución de 19.20 % a 13.91 %, lo que equivale a una disminución de 27.55 %. Este aspecto resulta clave, porque no solo implica una mejora en la calidad del mineral extraído, sino también una mayor

estabilidad en el frente de trabajo. La aplicación del método en condiciones geomecánicas controladas permitió una mejor distribución de esfuerzos y una fragmentación más adecuada, evitando sobreexcavaciones y pérdida de material útil. Lo interesante aquí es que la ley del mineral se mantuvo constante en 3.91 g/t, lo que indica que el incremento de producción no comprometió la calidad del recurso.

RECOMENDACIONES

1. Mantener el método como parte del plan de minado y no tratarlo como una alternativa puntual. En la práctica, sería conveniente incorporar los rellenos detríticos dentro del modelo de reservas y programación de producción, de modo que ese volumen no vuelva a quedar fuera del circuito productivo. Además, se sugiere realizar un inventario sistemático de rellenos existentes en otros niveles o tajos, porque lo que se ha visto aquí podría repetirse en otras zonas de la mina. Lo interesante es que este tipo de material ya está disponible, por lo que su aprovechamiento implica menores costos de desarrollo.
2. Estandarizar los parámetros de perforación y voladura, esto implica definir rangos operativos claros para burden, espaciamiento, longitud de taladros y factor de carga, de modo que el resultado no dependa únicamente de la experiencia del operador. En la práctica, también sería útil implementar un sistema de control y seguimiento diario de indicadores, como toneladas por guardia, consumo de explosivos y tiempos de ciclo, porque ahí es donde suelen aparecer desviaciones. A la par, se sugiere reforzar la capacitación del personal en el manejo de equipos y ejecución del método, ya que una parte importante de la eficiencia observada está asociada a cómo se ejecuta el proceso y no solo al método en sí.
3. Mantener un monitoreo geomecánico continuo en los tajos intervenidos, no basta con una evaluación inicial; en la práctica, las condiciones del macizo pueden variar conforme avanza la explotación. Por ello, sería recomendable aplicar de forma sistemática clasificaciones como RMR o Q, además de controles visuales y registros de estabilidad.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

Alvarado Dávila, G. A. (2022). *Minado por subniveles para la recuperación de rellenos detríticos en la veta Matacaballo de la Unidad de Producción Reliquias de Corporación Minera Castrovirreyna S.A.* [Tesis profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

Ma, Q., Liu, G., Yang, X., & Song, W. (2025). *Stability analysis of the backfill roof with basket weave drift layout in underhand drift-and-fill mining*. Applied Sciences, 15(8), 4487. <https://doi.org/10.3390/app15084487>

Orozco Dávila, G. A. (2021). *Optimización de la recuperación de mineral en el método de explotación bench and fill con taladros largos en la veta Magistral Centro – Tajo 4230 de Minera Trevali Perú – Unidad Santander* [Tesis profesional, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC.

Paucar Huari, H. M. (2022). *Evaluación del método de explotación Long Hole Stopping en la veta Principal 710 de la Unidad Minera Alpamarca – 2022* [Tesis profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

Rivera Rivera, D. F. (2017). *Optimización del sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (drift and fill) ascendente en la mina El Roble ubicada en el municipio El Carmen de Atrato del departamento de Chocó, Colombia* [Tesis de ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio UPTC.

Rodas Huaraca, E. (2021). *Recuperación de puentes mineralizados para incrementar la producción en Unidad Minera Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A.* [Tesis profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.

Sánchez Meza, M. A. (2022). *Recuperación de los minerales de los rellenos de las labores antiguas (veta Poder) mediante taladros largos en la empresa minera Castrovirreyna – Unidad San Genaro* [Tesis profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.

Someeihneshin, J. (2020). *Investigation of cemented tailings backfill and wellbore stability for narrow vein mining by drilling* [Master's thesis, Memorial University of Newfoundland]. Memorial University Research Repository. <https://research.library.mun.ca/14850/>

Zhao, H., Huang, C., Zheng, X., Jin, Y., Liu, Y., & Shi, Y. (2025). *Innovative cut-and-fill mining method for controlled surface subsidence and resourceful utilization of coal gangue*. *Minerals*, 15(2), 146. <https://doi.org/10.3390/min15020146>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Relleno detrítico

Material suelto compuesto por fragmentos de roca, restos de voladura y estéril acumulado en caserones previamente explotados. Suele no estar cementado y presenta baja cohesión estructural.

Taladro largo (Long Hole)

Perforación de gran longitud ejecutada desde un subnivel hacia una cámara de minado, comúnmente usada en métodos como sublevel stoping o bench and fill.

Pilar remanente

Bloque de mineral dejado intencionalmente para brindar sostenimiento a la estructura subterránea. Puede recuperarse cuando se garantiza su estabilidad post extracción.

RMR (Rock Mass Rating)

Sistema de clasificación geomecánica que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de parámetros como resistencia, RQD, juntas y condiciones de agua.

Dilución

Incorporación de material estéril durante la extracción del mineral, lo cual reduce la ley del mineral procesado. Es uno de los indicadores críticos de control.

Recuperación

Porcentaje del mineral útil extraído respecto al volumen total contenido en el cuerpo mineralizado. Un buen diseño busca maximizar este valor sin comprometer la seguridad.

Macizo rocoso

Conjunto de roca intacta, fracturada y discontinua que conforma el entorno estructural

de las labores mineras. Su comportamiento condiciona la selección del método de explotación.

Tajo

Espacio o volumen excavado dentro del cuerpo mineralizado, donde se realiza la extracción del mineral. Puede mantenerse abierto o relleno según la secuencia de minado.

ITH (In-the-Hole drilling)

Tipo de perforación mecanizada donde el martillo se ubica dentro del fondo del taladro, lo que permite una mayor precisión en zonas de alta dureza.

Burden

Distancia desde el taladro de perforación hasta la cara libre del caserón. Es un parámetro clave en el diseño de mallas de voladura.

Espaciamiento

Separación entre taladros paralelos dentro de una malla de perforación. Afecta la fragmentación, la recuperación y la estabilidad de la labor.

Voladura controlada

Proceso de detonación secuenciada y dirigida que busca fragmentar el mineral de forma eficiente, reduciendo la vibración y el daño a la roca remanente.

Relleno cementado (CPB)

Mezcla de relave o material detrítico con cemento, utilizada para rellenar caserones vacíos y brindar soporte estructural.

Subnivel

Nivel intermedio entre dos galerías principales desde donde se realizan las perforaciones largas o se accede a los caserones en producción.

Modelamiento numérico

Simulación computacional del comportamiento del macizo rocoso, útil para predecir zonas de falla o validar la estabilidad estructural de un diseño minero.

Ley de mineral

Concentración de metal contenido en el mineral. Se expresa normalmente en gramos por tonelada (g/t) o porcentaje (%) según el tipo de yacimiento.

Secuencia de minado

Orden planificado de extracción del mineral en función de la geometría del cuerpo, la estabilidad y el plan de producción.

Zona comprometida

Área dentro de una labor minera con alta probabilidad de inestabilidad geomecánica debido a rellenos antiguos, fracturamiento o exposición prolongada.

Estabilidad estructural

Capacidad del macizo rocoso o del caserón para mantenerse sin colapsar durante y después de la extracción. Es evaluada mediante análisis geotécnicos.

Factor de seguridad (FS)

Relación entre la resistencia disponible y la sollicitación aplicada sobre una estructura minera. Un valor mayor a 1.2 suele considerarse aceptable en diseño subterráneo.

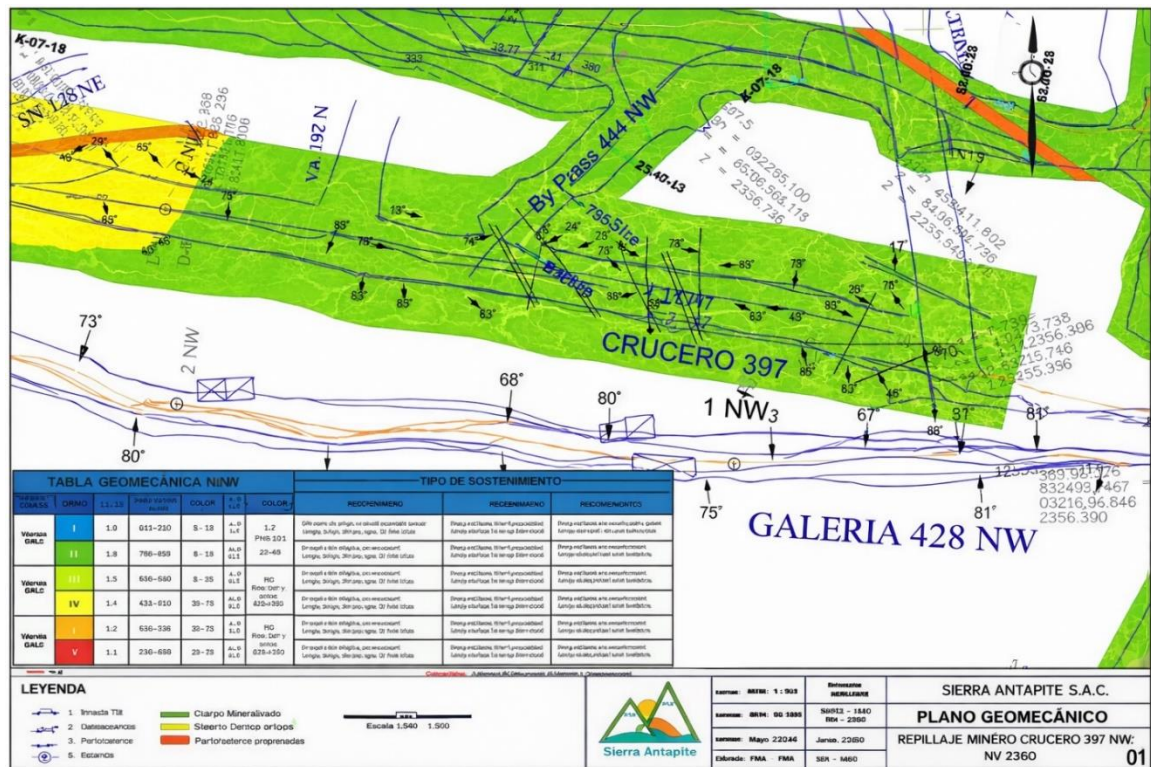
.

ANEXOS

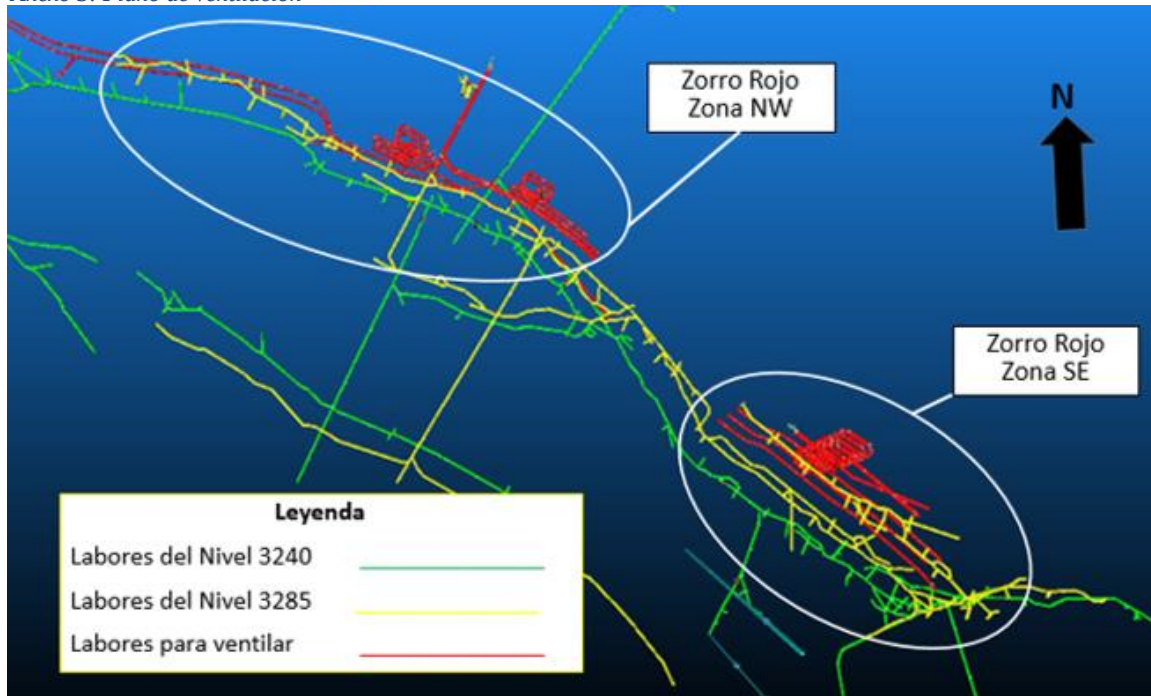
TÍTULO: Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite - 2024

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
General: ¿Cómo influye la recuperación de rellenos detríticos antiguos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024? Específicos: ¿Cómo influye el método de taladros largos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024? ¿Cómo influye las características geomecánicas de los tajos con taladros largos en el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024?	General: Recuperar los rellenos detríticos antiguos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024 Específicos: Aplicar el método de taladros largos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024 Determinar las características geomecánicas de los tajos con taladros largos para aumentar la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024.	General: La recuperación del relleno detrítico antiguo aumento la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024 Específicos: La Aplicación del método de taladros largos aumento la productividad en la Unidad Minera Antapite - 2024 Las características geomecánicas de los tajos con taladros largos tienen influencia con el aumento de la productividad en la Unidad Minera Antapite – 2024.	VARIABLE 1: Recuperación del relleno detrítico Malla de perforación Longitud de taladros Volumen extraído VARIABLE 2: Aumento de la productividad Toneladas extraídas por día Costo por tonelada % de recuperación	Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Técnico Explicativo Diseño de investigación: Cuasi experimental Población: Todas las labores subterráneas con relleno detrítico Muestra: La muestra estará conformada por nivel 3240 / tajo 382 Técnicas e instrumentos de recolección de datos: ○ Observación técnica directa ○ Registro documental operativo. ○ Recolección de informes ○ Planos históricos - Instrumentos de recolección de datos ○ Guía de observación ○ Planos geomecánicos ○ Ficha documental

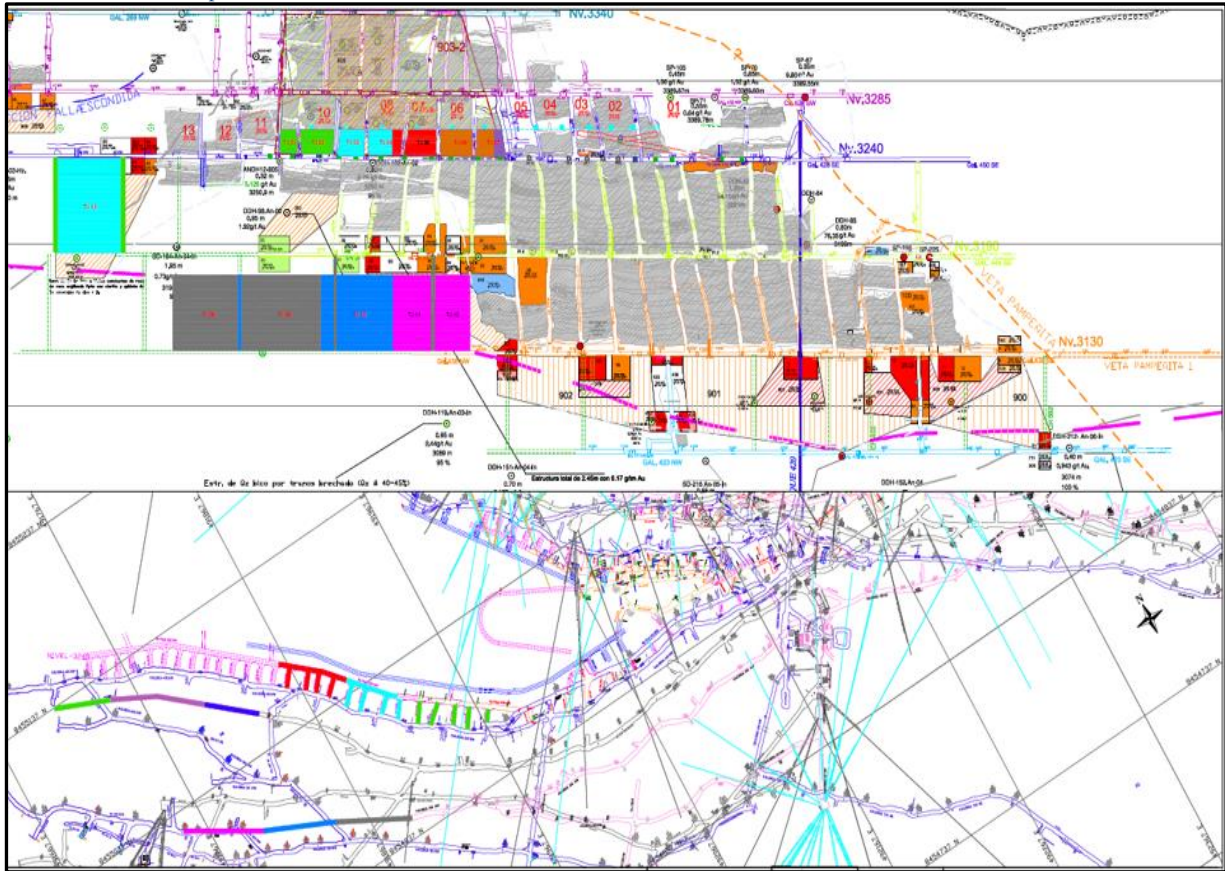
Anexo 2: Plano labores



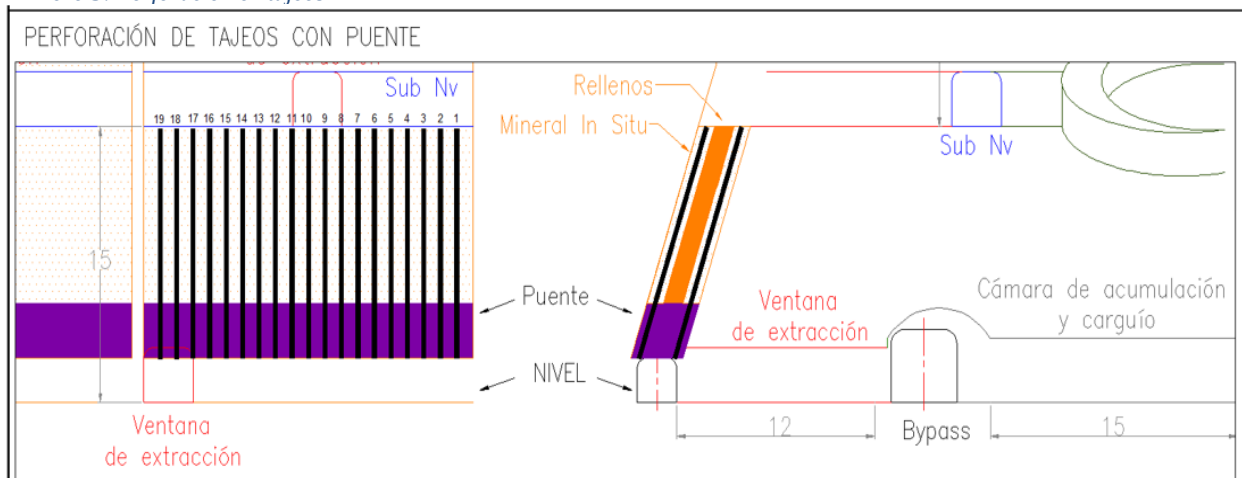
Anexo 3: Plano de ventilación



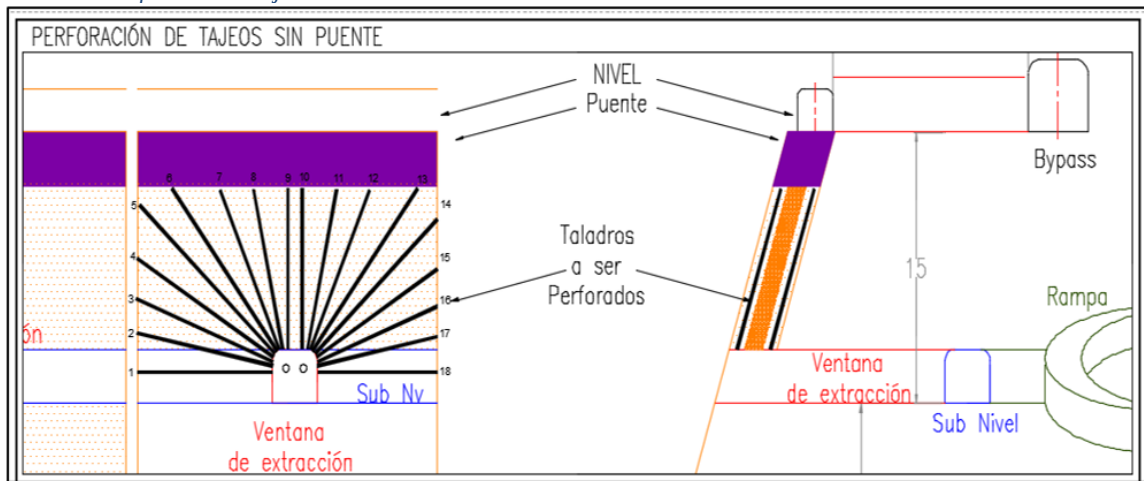
Anexo 4: Planos de producción



Anexo 5: Perforación en tajeros



Anexo 6: Perforación en tajeos



**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 60-2026-FIMGC****PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 292-2026-FIMGC-D**, a los **once días del mes de agosto de 2026**, siendo las **4:24 p.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS**, y los miembros: **Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**, **Ing. Miguel PRADO ARONES** y **Ing. Amilcar TACURI GAMBOA**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero de Minas**, del Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

LINO ELBIS RONDINEL GUTIERREZ

Quien presentó la tesis denominada:

"Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite-2024"

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

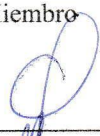
Aprobado con 16 (dieciséis)

Siendo las **5:41 p.m.** del día **11 de agosto del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.


MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Presidente


Ing. Miguel PRADO ARONES
Miembro


Ing. Amilcar TACURI GAMBOA
Miembro


Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO
Miembro - Asesor


Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : RONDINEL GUTIERREZ, Lino Elbis
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : "Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite -2024"
- Evaluación de la originalidad : 04% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 03 de setiembre de 2026

.....
MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

“Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite -2024”

por Lino Elbis RONDINEL GUTIERREZ

Fecha de entrega: 03-sept-2026 09:25p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3023672783

Nombre del archivo: TESIS_Lino_Elbis_RONDINEL_GUTIERREZ.pdf (2.54M)

Total de palabras: 19461

Total de caracteres: 118455

“Recuperación del relleno detrítico antiguo para aumentar la productividad en la unidad minera Antapite -2024”

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	5%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unica.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
5	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	
6	Submitted to unasam	<1%
	Trabajo del estudiante	
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
	Trabajo del estudiante	
8	repositorio.undac.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		