

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Aplicación del método de circado en tajeos para reducir la dilución de mineral en la  
Compañía Minera Sol de los Andes Arequipa 2024

Presentado por:

Diomedes Calla Condori  
Adán Condori Cuipa

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2025



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



TESIS

**Aplicación del método de circado en tajeos para reducir la dilución de mineral en la  
Compañía Minera Sol de los Andes Arequipa 2024**

Presentado por **Diomedes Calla Condori** y **Adán Condori Cuipa**, para optar el  
título de Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 26 de agosto del 2025 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Dr. Leoncio Tefilo Carnero Carnero*

**Primer miembro:**

*Mtro. Darío Dante Sánchez Castillo*

**Segundo miembro:**

*Mtro. Edgar Crispin Huacac Farfán*

**Asesor:**

*Dr. Walquer Huacani Calsin*



*"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"*

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**  
**N° 180-2025**

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Aplicación del método del Circado en Tajeos para reducir la dilución de mineral en la Compañía Minera Sol de los Andes - Arequipa 2024**, Presentado por los bachilleres: **Diomedes Calla Condori y Adán Condori Cuipa**; para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(16%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

*Abancay, 14 de agosto del 2025*

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
  
Dra. Heximeralda Rojas Enriquez  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.  
Archivo  
REG. N° 607



### **Agradecimiento**

*Quiero expresar mi sincera gratitud a mi asesor Ing. Walquer Huacani Calsin, por su valiosa orientación, dedicación y tiempo, que fueron esenciales para completar este trabajo. A mis docentes, por su guía y paciencia durante este proceso. Finalmente, a mi familia que siempre creyó en mí y me ofreció el apoyo emocional necesario para alcanzar esta meta.*



## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo a todas las personas que han sido parte de mi vida durante este proceso: mi familia, amigos y profesores, quienes con su apoyo, orientación y cariño hicieron posible la culminación de esta etapa.*



Aplicación del método de circado en tajeos para reducir la dilución de mineral en la  
Compañía Minera Sol de los Andes Arequipa 2024  
Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>RESUMEN</b>	3
<b>ABSTRACT</b>	4
<b>CAPÍTULO I</b>	5
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos	8
1.2.3 Justificación de la investigación	8
1.2.3.1 Justificación teórica	9
1.2.3.2 Justificación practica	10
1.2.3.3 Justificación metodológica	10
1.2.4 Ubicación y accesibilidad	11
1.2.5 Accesibilidad	13
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	14
2.1 Objetivos de la investigación	14
2.2.1 Objetivo general	14
2.2.2 Objetivos específicos	14
2.2 Hipótesis de la investigación	14
2.2.3 Hipótesis general	14
2.2.4 Hipótesis específicas	14
2.3 Operacionalización de variables	15
<b>CAPÍTULO III</b>	16
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	16
3.1 Antecedentes	16
3.2 Aspectos generales	22
3.2.1 Compañía Minera Sol de los Andes	22
3.2.2 Características fisiográficas y ambientales	23
3.2.3 Flora y fauna en la zona de influencia directa	26
3.2.4 Topografía	27
3.2.5 Características geológicas	28



3.2.5.1	Geología regional	28
3.2.5.2	Geología local	29
3.2.5.3	Estratigrafía	30
3.2.5.4	Rocas intrusivas	35
3.2.5.5	Geología económica	36
3.2.5.6	Mineralogía del yacimiento	37
3.2.6	Aspectos generales de la unidad minera	38
3.2.6.1	Generalidades	38
3.2.6.2	Exploración minera	38
3.2.6.3	Minado convencional (circado)	39
3.2.6.4	Método de corte y relleno ascendente para zonas de vetas	40
3.2.6.5	Descripción de las etapas de operación minera	41
3.2.7	Perforación y voladura	45
3.2.7.1	Perforación	45
3.2.7.2	Voladura	45
3.2.8	Ventilación	46
3.2.9	Limpieza	48
3.2.10	Sostenimiento	48
3.3	Marco teórico	50
3.3.1	Dilución del mineral	50
3.3.2	Dilución en tajos	50
3.3.3	Variables en la dilución del mineral	51
3.3.4	Factores de dilución del mineral	52
3.3.4.1	Factores técnicos	52
3.3.4.2	Factores humanos	52
3.3.5	Procesos de control de dilución	52
3.3.6	Consecuencias de la dilución	53
3.3.6.1	Fórmulas para calcular la dilución	53
3.3.6.2	Cálculo de la dilución en función de la altura de explotación planeada vs. la altura de la explotación real	55
3.3.6.3	Tipos de dilución de mineral	56
3.3.6.4	Factores y mecanismos condicionantes de la dilución	61
3.3.7	Vetas angostas	61
3.3.8	Elección del método de explotación para vetas angostas	62
3.3.8.1	Clasificación de métodos de explotación para vetas angostas	63
3.3.8.2	Condiciones a tener en cuenta para el método de explotación adecuado	64
3.3.8.3	Criterios para la selección del método de explotación en vetas angostas	64
3.3.9	Métodos de explotación por circado	65

3.3.9.1	Explotación por circado	65
3.3.9.2	Explotación de vetas por circado	66
3.3.9.3	Explotación “Open Cut and Fill”/ corte y relleno – circado	67
3.3.9.4	Impacto del método del circado en la dilución del mineral	67
3.3.9.5	Aplicación del método selectivo de circado en vetas angostas	68
3.3.9.6	Beneficios económicos en la reducción de la dilución	68
3.4	Marco conceptual	68
3.4.1	Dilución de mineral en tajeos	68
3.4.2	Dilución planificada	69
3.4.3	Dilución operacional	69
3.4.4	Malla de perforación y voladura controlada	69
3.4.5	Clasificación geomecánica	70
3.4.6	Circado	70
3.4.7	Tajeos	70
3.4.8	Dilución del mineral	70
3.4.9	Método de circado	71
3.4.10	Perforación controlada	71
3.4.11	Recuperación del mineral	71
<b>CAPÍTULO IV</b>		72
<b>METODOLOGÍA</b>		72
4.1	Tipo y nivel de investigación	72
4.2	Diseño de la investigación	72
4.3	Población y muestra	72
4.3.1	Población	73
4.3.2	Muestra	73
4.4	Procedimiento para el desarrollo del trabajo	73
4.5	Técnica e instrumentos	74
4.5.1	Técnicas	74
4.5.1.1	Revisión a investigaciones bibliográficas	75
4.5.1.2	Observación directa	75
4.5.2	Instrumentos	75
4.5.3	Software	75
4.6	Análisis estadístico	75
<b>CAPÍTULO V</b>		76
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>		76
5.1	Análisis de resultados	76
5.1.1	Situación actual de la Compañía Minera Sol de los Andes	76
5.1.1.1	Evaluación de la dilución de la veta María	77

5.2	Análisis de los resultados después de la aplicación del método de circado	88
5.2.1.3	Cálculos operativos de la veta María aplicando el método de circado	89
5.2.1.4	Cálculos para determinar la dilución para las vetas	93
5.3	Discusión	95
<b>CAPÍTULO VI</b>		98
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		98
6.1	Conclusiones	98
6.2	Recomendaciones	99
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		100
<b>ANEXOS</b>		103



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> — Cuadro de coordenadas de la concesión barreno	11
<b>Tabla 2</b> — Accesibilidad a la Compañía Minera Sol de los Andes S. A. C.	13
<b>Tabla 3</b> — Operacionalización de variables	15
<b>Tabla 4</b> — Cálculos de dilución vs “WASTE” para distintos valores de ancho de veta	59
<b>Tabla 5</b> — Potencia de la veta María sector TJ 600W	78
<b>Tabla 6</b> — Potencia de la veta María y ley diluida sector TJ 600W antes de la aplicación del método	78
<b>Tabla 7</b> — Potencia de la veta María sector TJ 600 E	80
<b>Tabla 8</b> — Potencia de la veta María Sector TJ 600E	80
<b>Tabla 9</b> — Datos de campo de la veta María	84
<b>Tabla 10</b> — Procedimiento tradicional, costo de explosivos y accesorios de voladura explosivos y accesorios de voladura método tradicional	86
<b>Tabla 11</b> — Potencia de la veta María y Ley Diluida sector TJ 600W después de la aplicación del método de circado	89
<b>Tabla 12</b> — Procedimiento de cálculo de costo de explosivos y accesorios de voladura explosivos y accesorios de voladura aplicando el método de circado	91
<b>Tabla 13</b> — Matriz de consistencia	104
<b>Tabla 14</b> — Tabla para determinar el WASTE y el % de dilución	106



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Ubicación de la Compañía Minera Sol de los Andes	11
<b>Figura 2</b> — Ubicación de la concesión barreno	12
<b>Figura 3</b> — Ubicación de las unidades de operación en Arirahua	23
<b>Figura 4</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine temperatura periodo 2023	24
<b>Figura 5</b> — Series de tiempo de la temperatura periodo 2023	24
<b>Figura 6</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la precipitación	25
<b>Figura 7</b> — Series de tiempo de la precipitación periodo 2023	26
<b>Figura 8</b> — Retama presencia en la zona de influencia directa	27
<b>Figura 9</b> — Imagen de altitud de la Compañía Minera Sol de los Andes	28
<b>Figura 10</b> — Geológica estructural a nivel distrital, imagen satelital sensor Landsat B: 7, 4, 2.	29
<b>Figura 11</b> — Geológica local de las zonas del yacimiento	30
<b>Figura 12</b> — Columna estratigráfica regional	34
<b>Figura 13</b> — Plano geológico regional de la Compañía Minera Sol de los Andes	34
<b>Figura 14</b> — Programa de exploraciones	39
<b>Figura 15</b> — Esquema de corte y relleno ascendente	40
<b>Figura 16</b> — Zonas de perforación de diamantinas	42
<b>Figura 17</b> — Exploración de zonas del Nv 2970	43
<b>Figura 18</b> — Exploración en las zonas veta Ana y María	44
<b>Figura 19</b> — Túnel transatlántico desde la bocamina hasta la veta Natividad (2,000 m.) corta las diferentes vetas	44
<b>Figura 20</b> — Sostenimiento con cuadros de madera	49
<b>Figura 21</b> — Sostenimiento con puntales	49
<b>Figura 22</b> — Dilución del mineral	50
<b>Figura 23</b> — Frontón con una veta mineralizada y dilución	54
<b>Figura 24</b> — Altura de explotación planeada y real	55
<b>Figura 25</b> — Altura de explotación planeada y real	55
<b>Figura 26</b> — Conceptos dilución planeada vs. no planeada	56
<b>Figura 27</b> — Conceptos dilución planeada vs. no planeada	57
<b>Figura 28</b> — Dilución en función del block	58
<b>Figura 29</b> — Ancho de veta y waste (contaminación del mineral con desmonte)	59
<b>Figura 30</b> — Comportamiento de la dilución respecto al “WASTE”, para distintos valores de ancho de veta (Av)	60
<b>Figura 31</b> — % dilución vs ancho de veta para distintos valores de WASTES	60
<b>Figura 32</b> — Labores de vetas angostas	62
<b>Figura 33</b> — Método de explotación de corte y relleno ascendente	63
<b>Figura 34</b> — Explotación de vetas angostas	64
<b>Figura 35</b> — Vetillas mineralizadas con geometrías irregulares	65
<b>Figura 36</b> — Método de circado vista frontal	66
<b>Figura 37</b> — Método de circado, vista lateral	67
<b>Figura 38</b> — Dilución de la extracción de la veta María	77
<b>Figura 39</b> — Modelamiento geológico del TJ 600 W de la veta María	81
<b>Figura 40</b> — Modelamiento geológico del TJ 600 E de la veta María	81



<b>Figura 41</b> — Modelamiento geológico del CH 660 de la veta María	82
<b>Figura 42</b> — Modelamiento geológico del CH 660 de la veta María	82
<b>Figura 43</b> — Datos de campo antes de mejora (circado) de la veta María	83
<b>Figura 44</b> — Ancho y buzamiento de la veta María	84
<b>Figura 45</b> — Diseño del tajo en la veta María: $L= 30m, H=20m, W= 0.90m,$ $Av= 0.15m, At= 0.60m, w= 0.30m$	85
<b>Figura 46</b> — Mineral fragmentado sobre el piso del tajeo	88
<b>Figura 47</b> — Diseño del proceso después de la aplicación del método de circado	90
<b>Figura 48</b> — Cargado de taladros en el tajeo	107
<b>Figura 49</b> — Verificación de la veta María	107
<b>Figura 50</b> — Señalando el ancho de la veta	108
<b>Figura 51</b> — Vista de la galería NV 600 E	108
<b>Figura 52</b> — Material extraído de la unidad con mineralización	109
<b>Figura 53</b> — Vista del nivel de ingreso NV 3250 Unidad Minera Sol de los Andes	109
<b>Figura 54</b> — Datos del derecho minero	110
<b>Figura 55</b> — El mapa presenta la localización geográfica de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C., donde se desarrolla la investigación en el tajo 600W y tajo 600E de la veta María.	111
<b>Figura 56</b> — Mapa topográfico del área de estudio – Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.	112
<b>Figura 57</b> — Mapa hidrológico del Área de Estudio de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.	113
<b>Figura 58</b> — Mapa geológico regional del área de estudio de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.	114
<b>Figura 59</b> — Mapa de uso de suelo actual del área de estudio de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.	115
<b>Figura 60</b> — Plano de ubicación de los tajos 600W y 600E en el nivel 3250 – Veta María, Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.	116

## INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades económicas más importantes del Perú, siendo Arequipa una de las regiones con mayor producción de minerales a nivel del Sur. Dentro de esta industria, uno de los desafíos más significativos es la gestión eficiente de los recursos minerales para maximizar la rentabilidad y minimizar las pérdidas por dilución del mineral. En este contexto, la dilución del mineral representa un problema crítico, ya que la mezcla de materiales estériles con mineral valioso puede afectar negativamente la calidad del producto final y aumentar los costos de procesamiento.

Actualmente, la Compañía Minera Sol de los Andes se dedica a la extracción de oro y plata mediante el método de corte y relleno ascendente tipo convencional. No obstante, está experimentando una baja en la producción diaria de mineral, lo cual se debe a las limitaciones de este sistema tradicional. Como alternativa, se ha sugerido implementar un método de corte y relleno ascendente utilizando la técnica del circado con relleno detrítico para mejorar la extracción del mineral valioso.

El yacimiento aurífero de las minas Arirahua de la Compañía Minera de los Andes, se encuentra en rocas andesíticas con texturas lávicas y porfíricas, que datan desde el Precámbrico hasta épocas más recientes. En la zona se identifican varias formaciones geológicas, entre las más destacadas están Bella Unión, Sencca y Barroso.

Los sulfuros constituyen la principal fuente de almacenamiento de la mineralización que rellenan las cavidades mediante soluciones hidrotermales. Esta mineralización es clasificada como epigenética, hipógena y epitermal. La estructura mineralizada puede variar desde unos pocos centímetros hasta alcanzar entre 30 y 40 cm en algunos puntos. Los principales minerales presentes son oro (Au), plata (Ag) y calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). La principal veta donde se realizan los trabajos, es conocida como María, el centro de este estudio es el TJ 600W y solo de referencia el TJ 600E, donde se ha estimado una reserva de 875,435 toneladas métricas, donde presenta una ley promedio de 5 gramos de oro por tonelada métrica, lo que se tiene proyectado una vida útil de aproximadamente 7 años y medio.



El objetivo principal de la tesis es evaluar la aplicación del método del circado en los tajeos de la veta María, específicamente en el tajo 600W de la Compañía Minera Sol de los Andes, con el propósito de optimizar la extracción y reducir la dilución del mineral. La investigación se centrará en analizar el método de explotación mediante el circado, analizar el diseño de las mallas de perforación, los costos que influyen en la implementación del sistema, así como en desarrollar recomendaciones prácticas para su adopción efectiva en las operaciones mineras.

En resumen, la tesis se presenta como una investigación académica para referencias posteriores, como una contribución tangible al sector minero, ofreciendo soluciones innovadoras para uno de los problemas más apremiantes de la industria. Con una adecuada implementación y un compromiso con la mejora continua, el método del circado es un proceso que facilita la recuperación del mineral de manera directa, sin que se mezcle con material no deseado, lo que mejora tanto la selectividad como la eficiencia de la extracción. Para ello, se emplea un patrón de voladura especializado, diseñado para volar la roca estéril de forma controlada, creando así un espacio o "caja" que permite acceder al mineral sin que se mezcle con el material no valioso circundante.

La presente tesis, está conformado por 5 capítulos donde, en el primer capítulo se tocará temas concernientes al planteamiento del problema, donde se abordara las dificultades que se presentan en la compañía, una breve descripción de los trabajos, la justificación, en el segundo capítulo estableceremos los objetivos e hipótesis de la investigación, en el tercer capítulo se indica el marco teórico referencial, a partir de referencias bibliográficas relacionados al tema, el cuarto capítulo se enfocará la metodología utilizada que se diseña para desarrollar los objetivos y obtener un resultado acorde al planteamiento del problema, el quinto capítulo presenta los resultados y discusión, según los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación presentado por los tesisistas.



## RESUMEN

La presente investigación aborda la implementación del método selectivo de circado para reducir la dilución de mineral en la Compañía Minera Sol de los Andes. El objetivo principal fue evaluar la eficacia de este método en comparación con los procedimientos tradicionales, buscando optimizar la calidad del mineral extraído y mejorar la eficiencia operativa. La metodología incluyó el análisis de la dilución del mineral, el diseño de mallas de perforación y la evaluación comparativa de costos, tiempos operativos y tonelaje fragmentado en escenarios con y sin circado. Se analizaron datos relacionados con el número de taladros, volumen fragmentado, tiempo operativo y costos por tonelada procesada. Los resultados indicaron que, con el método tradicional, la dilución alcanzaba el 17%, mientras que con el método de circado se redujo significativamente a 6%. En términos de diseño de mallas, el número de taladros por corte disminuyó de 149 a 49, logrando un volumen fragmentado más selectivo de 20.74 TC a 31.11 TC en el procedimiento convencional. Además, el método de circado permitió mejorar de una ley diluida inicial de 10.94 gr/tm a una ley diluida de 12.09 gr/tm, reduciendo los costos operativos de 13.80 \$/TC a 6.11 \$/TC. En conclusión, la aplicación del método de circado demostró ser una estrategia eficiente y rentable, mejorando significativamente el control de la dilución, optimizando tiempos operativos y reduciendo costos, lo que lo posiciona como una práctica innovadora para la extracción selectiva de mineral.

**Palabras clave:** *Circado, costos, dilución, ley y selectiva.*



## ABSTRACT

This research addresses the implementation of the selective circado method to reduce ore dilution at Compañía Minera Sol de los Andes. The main objective was to evaluate the effectiveness of this method compared to traditional procedures, seeking to optimize the quality of the ore extracted and improve operational efficiency. The methodology included the analysis of ore dilution, the design of drill mesh and the comparative evaluation of costs, operating times and fragmented tonnage in scenarios with and without circado. Data related to the number of drill holes, fragmented volume, operating time and costs per ton processed were analyzed. The results indicated that, with the traditional method, dilution reached 17%, while with the zircon method it was significantly reduced to 6%. In terms of mesh design, the number of holes per cut decreased from 149 to 49, achieving a more selective fragmented volume of 20.74 TC to 31.11 TC in the conventional procedure. In addition, the zircon method allowed improving from an initial diluted grade of 10.94 gr/tm to a diluted grade of 12.09 gr/tm, reducing operating costs from 13.80 \$/TC to 6.11 \$/TC. In conclusion, the application of the circado method proved to be an efficient and cost-effective strategy, significantly improving dilution control, optimizing operating times and reducing costs, which positions it as an innovative practice for the exportation of the ore.

**Keywords:** *Circado, costs, dilution, law and selective*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

La Compañía Minera Sol de los Andes, ubicada en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyo y región de Arequipa, actualmente viene explotando vetas con una producción diaria de 350 TM, con leyes que oscilan entre 2g/t a 5g/t de oro, actualmente, debido al agotamiento de las reservas de mineral del yacimiento de la Unidad Barreno de la Compañía Minera Minas Arirahua S.A., se espera ampliar las reservas de mineral y recuperar el mineral en gran parte, para reducir la dilución se reducirá el ancho de minado y las leyes mejoraran, lo que rentabiliza su explotación de Vetangostas que existen en la compañía. Para optimizar la explotación se plantea el método de explotación del Circado que demostrara la viabilidad del proyecto para la extracción de las Vetangostas y cumplir con los objetivos trazados por la empresa.

La Compañía Minera Sol de los Andes, ubicada en Arequipa, enfrenta esta problemática en sus operaciones diarias la pérdida del mineral por la dilución, a fin de abordar este desafío, se propone la implementación del método del circado en Tajeos. Este método consiste en la utilización de voladura selectiva, que consiste en perforar y realizar la voladura selectivamente primero el desmonte (roca estéril), luego trabajar el mineral valioso, optimizando así el proceso de extracción y mejorando la pureza del producto final.

La Compañía Minas Arirahua S.A., de Minera Sol de los Andes, se dedica a la extracción de minerales de oro y plata, esta mina está asociada a vetangostas de Cu-Au muy angostas, pero con buen contenido de Au en las minas Arirahua, Soledad, San Cristóbal, Cerro Rico, San Juan de Chorunga, Posco y otras.

También se encuentran pórfidos de Cu con bajos valores de oro, como Zafranal y Pecoy, que tienen recursos mineros calculados en más de 400 Mt, con 0.5% Cu, actualmente en exploración avanzada estudio de factibilidad en los tajeos Carlota, Camila, Carmen, Amparo, María, Ana y San José utilizando el método de corte y relleno. Sin embargo,



están enfrentando dificultades en la producción diaria de mineral debido a las limitaciones inherentes a este sistema de explotación. Como solución, se ha propuesto implementar un nuevo método de explotación de corte y relleno ascendente convencional (Circado), adecuado a las características del yacimiento.

En la fase inicial de este proceso, se realizaron evaluaciones de las operaciones de producción utilizando el método de corte y relleno. Estas evaluaciones consideraron el ciclo completo de minado, que incluye perforación, voladura, limpieza, acarreo y relleno. Sin embargo, se identificaron varios problemas en los resultados de producción, principalmente debido a retrasos en la limpieza del mineral en el tajo. Además, se presentaron inconvenientes relacionados con el tipo de explosivos utilizados y el control de los tiempos de limpieza y acarreo.

En la operación de minería subterránea, es crucial que la producción de mineral esté alineada con una selección adecuada del método de explotación y de los equipos a utilizar, según las características del yacimiento. Del mismo modo, el control de tiempos es esencial para alcanzar las metas de producción en un tajeo de explotación.

La aplicación del método de circado juega un papel crucial en la explotación de vetas angostas, permitiendo que áreas mineralizadas, previamente consideradas marginales, se conviertan en económicas y rentables para su extracción. Esto resulta en un aumento de las reservas de mineral y, consecuentemente, en una mayor vida útil de la mina.

Actualmente la Compañía Minera Sol de los Andes, enfrenta un desafío significativo en sus operaciones de extracción de mineral en los tajeos debido a la dilución del mineral, debido a que se pierde el valor económico. La dilución del mineral, es decir, la mezcla no deseada de material estéril con el mineral valioso durante el proceso de explotación, ha sido un problema persistente. Esta dilución afecta negativamente la pureza del mineral extraído, lo que resulta en costos adicionales para su procesamiento y una reducción en la eficiencia general de la operación minera.

En particular, la técnica actual utilizada para la extracción en los tajeos no ha sido efectiva en minimizar la dilución, lo que ha llevado a pérdidas económicas y a un uso ineficiente



de los recursos. La empresa ha identificado la necesidad de implementar métodos más efectivos que puedan reducir esta dilución y mejorar la recuperación del mineral.

El método del circado ha surgido como una posible solución para este problema. Este método, que involucra la delimitación precisa de las zonas de extracción y la implementación de técnicas de control específicas, promete reducir la cantidad de material estéril que se mezcla con el mineral valioso.

Por lo tanto, la presente tesis se centra también en investigar y evaluar la aplicación de una nueva malla de perforación, con la finalidad de extraer el mineral con un porcentaje mínimo de dilución, para esto se debe de reducir el ancho del circado de mineral para tener menor desprendimiento de finos de mineral en las cajas y crear mayor estabilidad en las cajas del macizo rocoso.

Asimismo, la nueva malla propuesta contempla trazar taladros a lo largo de la veta para que el efecto del explosivo sea amortiguado y tolere un impacto menor a la detonación, por lo tanto, minimice la dilución del método del circado en los tajeos de la Compañía Minera Sol de los Andes, con el objetivo de disminuir la dilución del mineral. Se buscará determinar la eficiencia de este método en comparación con las técnicas actualmente utilizadas, identificando las mejores prácticas y adaptaciones necesarias para su implementación exitosa en la mina.

La investigación no solo tendrá implicaciones prácticas inmediatas para la Compañía Minera Sol de los Andes, sino que también contribuirá al conocimiento general sobre métodos de reducción de dilución en la minería, ofreciendo un potencial beneficio para otras operaciones mineras que enfrentan desafíos similares.

## **1.2 Enunciado del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿De qué manera se realizará la aplicación del método de explotación de circado en el Tajo 600, para reducir la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes, Arequipa -2024?



### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo evaluar la dilución de mineral con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?
- ¿De qué manera se realizará el diseño de malla de perforación y voladura con circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?
- ¿Cómo influye los costos con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?

### 1.2.3 Justificación de la investigación

La investigación titulada "Aplicación del método de Circado en Tajeos para reducir la dilución de mineral en la Compañía Minera Sol de los Andes - Arequipa 2024" se justifica por diversas razones que involucran tanto la necesidad de mejorar la eficiencia operativa de la empresa minera como el optimizar el aprovechamiento de los recursos minerales, en un contexto de alta competitividad dentro de la industria extractiva.

En primer lugar, la dilución de mineral es uno de los principales problemas que enfrentan las operaciones mineras subterráneas. Este fenómeno se refiere a la mezcla indeseada del mineral valioso con el estéril, lo que resulta en una pérdida de calidad en el producto final y un aumento de costos operativos. La Compañía Minera Sol de los Andes, al estar situada en una región con geología compleja, enfrenta altos niveles de dilución en los tajeos, lo que compromete la rentabilidad de la operación. De este modo, la implementación de métodos para reducir este fenómeno resulta esencial para optimizar el rendimiento de la empresa y mejorar su competitividad.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de este método en las condiciones específicas de los tajeos de la compañía, con la intención de mejorar la precisión en la extracción del mineral y, por ende, reducir la dilución. Al implementar y adaptar este método, se espera no solo mejorar la calidad del mineral extraído, sino también optimizar los recursos y disminuir los costos operativos, lo que tendrá un impacto directo en la competitividad de la empresa en el mercado minero.



Además, la investigación tiene un componente significativo en términos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Al reducir la dilución del mineral, se disminuirá también la cantidad de residuos generados durante el proceso de extracción y procesamiento. Esto contribuirá a una operación minera más limpia y eficiente, alineándose con las mejores prácticas de sostenibilidad ambiental que son cada vez más demandadas por la sociedad y las normativas internacionales. De esta manera, la Compañía Minera Sol de los Andes no solo podrá mejorar su rendimiento económico, sino también fortalecer su compromiso con el cuidado del medio ambiente y la comunidad local.

Por último, este estudio es relevante para la academia y la industria minera en general. Aporta un análisis detallado y contextualizado sobre la aplicación de un método específico, lo que permitirá que otros profesionales del sector minero puedan evaluar la aplicabilidad del método del Circado en operaciones similares, en diferentes condiciones geológicas y operativas. Además, la investigación servirá como base para futuras investigaciones sobre optimización de procesos mineros y mejores prácticas para la minería subterránea.

En conclusión, la investigación propuesta se justifica no solo por su relevancia para la Compañía Minera Sol de los Andes, sino también por su potencial para contribuir al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y operativas que mejoren la eficiencia y sostenibilidad de la industria minera en general.

### **1.2.3.1 Justificación teórica**

La aplicación del método del circado en tajeos, se fundamenta en principios de la minería subterránea y en la necesidad de optimizar los procesos de extracción para maximizar la recuperación de mineral valioso. La dilución del mineral es uno de los principales desafíos que enfrentan las operaciones mineras, ya que implica la mezcla de materiales no deseados que reducen la calidad del producto final. Teóricamente, el método del circado permite una mayor precisión en el control de las zonas de extracción, minimizando así la entrada de material estéril y maximizando la pureza del mineral.



La investigación busca fortalecer el cuerpo de conocimientos existente sobre técnicas de explotación subterránea, aportando evidencia científica sobre la efectividad del método del circado en la reducción de la dilución, lo que contribuirá a la literatura académica y técnica en el área de ingeniería de minas.

### **1.2.3.2 Justificación practica**

Desde un punto de vista práctico, la implementación del método del circado en la Compañía Minera Sol de los Andes busca reducir la dilución de mineral durante el proceso de extracción, lo que se traduce en menores costos de procesamiento y una mayor rentabilidad para la empresa. La dilución del mineral, resultado de la mezcla de mineral valioso con material estéril, genera pérdidas económicas significativas debido a la disminución de la ley del mineral extraído y el aumento de costos en los procesos de concentración. Por lo tanto, la investigación tiene una aplicación directa en la mejora de la calidad del mineral extraído, contribuyendo a la optimización de la operación minera, al reducir el impacto económico de la dilución.

Además, esta práctica promueve una minería más sustentable, al reducir la necesidad de mover grandes volúmenes de roca, lo que conlleva una menor utilización de insumos en el proceso de extracción y minimizando los costos operativos.

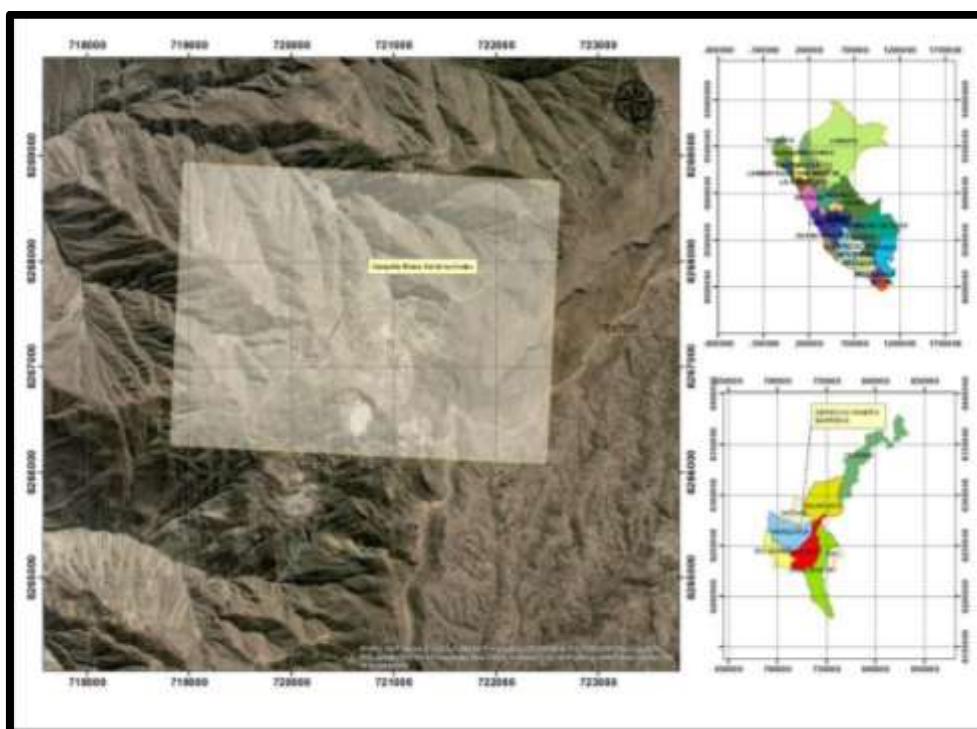
### **1.2.3.3 Justificación metodológica**

Metodológicamente, esta investigación se justifica en la necesidad de validar empíricamente la efectividad del método del circado en tajeos para reducir la dilución de mineral. La aplicación de este método será evaluada mediante un diseño experimental que permita comparar las tasas de dilución antes y después de su implementación. Se recopilarán datos de los procesos de extracción, se analizarán las características de las vetas y se medirá la pureza del mineral extraído.

Se utilizará herramientas de análisis estadístico para determinar la significancia de los resultados, garantizando la validez y confiabilidad de las conclusiones, lo que permitirá demostrar si el método del circado es una estrategia viable y efectiva para mejorar las operaciones mineras.

#### 1.2.4 Ubicación y accesibilidad

Está ubicado en el departamento de Arequipa, provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua en el C.C. de Arirahua. Se localiza entre: las vertientes del Flanco Occidental de la Cordillera Occidental de los Andes entre los 2450 y 3650 m.s.n.m.; geográficamente se localiza entre las coordenadas 15°39'50,6" S; 72°56'40,2" W, en el datum WGS 84 (UTM) está en la zona 18 S cuyas coordenadas son: ESTE: 719256.6200, NORTE: 8266871.6100, con código de registro de INGEMMET 01004095X01.



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 1 — Ubicación de la Compañía Minera Sol de los Andes**

**Tabla 1 — Cuadro de coordenadas de la concesión Barreno**

CUADRO DE COORDENADAS CONCESION BARRENO		
DATUM WGS - 84 ZONA 18 SUR		
VERTICES	ESTE	NORTE
V-1	722629.13	8268768.06
V-2	722499.94	8266072.17
V-3	718805.67	8266249.30



### 1.2.5 Accesibilidad

El acceso para la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C., es por la vía de carretera asfaltada, por la ruta Arequipa - Chuquibamba, tiene una distancia aproximada de 127 Km., utiliza un tiempo de recorrido de tres horas. Por la Carretera Arequipa Camaná – Chuquibamba- Cotahuasi- Salamanca y Arirahua, con una distancia aproximado de 275 Km., en un periodo de tiempo de tres horas.

**Tabla 2 — Accesibilidad a la Compañía Minera Sol de los Andes S. A. C.**

Tramo		Vía	Distancia (km.)	Tiempo (hrs.)
Arequipa	Camaná	Terrestre asfaltado	170	03.00
Camaná	Chuquibamba	Terrestre asfaltado	174	03.50
Chuquibamba	Cotahuasi	Trocha carrozable	70	02.00
Cotahuasi	Salamanca	Trocha carrozable	18	01.50
Salamanca	Arirahua	Trocha carrozable	15	01.00
<b>TOTAL</b>			<b>275</b>	<b>11 h 00 min</b>
FUENTE: Elaboración propia				



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.2.1 Objetivo general

Analizar la aplicación del método de explotación de circado en el tajo 600 para reducir la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes, Arequipa - 2024.

##### 2.2.2 Objetivos específicos

- Disminuir la dilución de mineral con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes.
- Diseñar la malla de perforación y voladura adecuada con circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes.
- Reducir los costos con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.3 Hipótesis general

La aplicación del método de explotación de circado en el Tajo 600, reducirá significativamente la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes- Arequipa 2024.

##### 2.2.4 Hipótesis específicas

- La aplicación del método de circado en tajo 600 disminuye significativamente la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes.
- El diseño optimizado de la malla de perforación y voladura con circado en tajo 600 reduce la dilución y mejora la recuperación de mineral en la compañía minera de los Andes.
- La aplicación del método de circado en tajo 600 reduce los costos operativos relacionados con la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes.



### 2.3 Operacionalización de variables

Tabla 3 — Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índice
<b>Variable independiente</b> Aplicación del método del circado en tajeos	Método del circado	Porcentaje de uso del método del circado en los tajeos.	Índice de implementación (%)
	Eficiencia del método	Tiempo de ejecución de tajeos utilizando el método del circado.	Índice de eficiencia (%)
	Capacitación del personal	Nivel de capacitación del personal en la aplicación del método.	Índice de capacitación (%)
<b>Variable dependiente</b> Reducción de la dilución de mineral	Porcentaje de dilución	Diferencia porcentual de la dilución antes y después de aplicar el método del circado.	Índice de dilución (%)
	Calidad de mineral	Ley del mineral antes y después de aplicar el método.	Índice de calidad mineral (%)
	Costos operativos	Comparación de los costos operativos antes y después de aplicar el método.	Índice de reducción de costos (%)



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Antecedentes internacionales

a) Para Perez (2015), en su tesis presentada en la universidad de Chile "Dilución operacional en mina El Soldado", uno de los mayores desafíos en la minería es la determinación de la dilución operativa, que impacta significativamente los beneficios económicos y suele resultar en retornos más bajos de lo esperado. Las causas de la dilución son diversas, incluyendo las características de la roca a extraer (como la geología y la geomecánica), la selección de los equipos mineros, la altura de los bancos en minería a cielo abierto, y la inclinación del mineral respecto a la horizontal, lo cual afecta su desplazamiento tras la voladura. También influyen las interacciones con otras estructuras de la mina (fallas, cuñas y cavidades), y la experiencia de los operadores de los equipos. El objetivo principal del trabajo es analizar los factores que contribuyen a la dilución en la mina El Soldado, cuantificando su impacto y explorando soluciones para reducirla. Además, busca comprender los desafíos operacionales de una mina a cielo abierto, que enfrenta dificultades como cuñas, escasez de mineral, cuerpos mineralizados aislados, y problemas económicos debido a las pérdidas proyectadas para El Soldado en los próximos años. La metodología incluye la presentación del problema, análisis de los antecedentes operacionales de la mina, revisión bibliográfica, identificación y evaluación de los puntos de dilución, y una evaluación económica. Los factores estudiados son el modelo geológico, la definición de polígonos de extracción, tronadura, métodos de carguío, selectividad de equipos, caserones rellenos, errores de muestreo geológico, caminos, rampas, y prácticas operacionales. La distribución inicial de la dilución en la operación es la siguiente: Dilución Planificada (5%), con los mayores impactos en la definición de polígonos de extracción (40%) y el modelo geológico (60%). En la Dilución Operacional (5%), los principales contribuyentes son la tronadura (29%), método de carguío (31%), selectividad de equipos (10%), caserones rellenos (9%), muestreo



geológico (11%), caminos (3%), y prácticas operacionales (7%). Se concluye que reducir la dilución al 5% podría generar beneficios de \$9,25 millones de dólares.

- b)** En el trabajo de tesis de Torres (2018), presentada en la universidad de Chile “Beneficios de un sistema de control de mineral” , cuyo objetivo es mejorar los sistema de control de mineral implementado en 2016, el cual permitió mejorar la calidad de los minerales enviados a planta en la línea óxidos, controlando la dilución del proceso.

La metodología utilizada incluye un análisis de los antecedentes de la División Radomiro Tomic (DRT) y su Sistema de Gestión C+ (basado en la gestión lean), así como una evaluación del escenario inicial en términos de dilución. Posteriormente, se documenta el sistema de control de mineral (SCM) diseñado, detallando la definición de roles y responsabilidades y la estandarización de cada etapa. Luego se realiza un análisis de los resultados operativos y una evaluación económica correspondiente. Finalmente, se identifican oportunidades de mejora para futuros procesos.

La dilución afecta los resultados al reducir la concentración del mineral procesado. Los materiales no deseados ocupan espacio en las instalaciones sin aportar el cobre necesario para que el proceso sea económicamente viable. Este problema se agrava cuando se trabaja con márgenes reducidos debido a la disminución de la ley de los yacimientos y a la exposición a escenarios de bajos precios. El objetivo del SCM es controlar la dilución para evitar que disminuya el valor del proceso.

La implementación del SCM comenzó en octubre de 2016 y permitió reducir el porcentaje promedio de dilución en el proceso hidrometalúrgico, pasando del 12.8% al 4.3% en los primeros tres meses. Esta reducción representó 2.309 toneladas adicionales de cobre fino, lo que se traduce en un beneficio adicional de 11.2 millones de dólares en comparación con lo que se habría obtenido si se hubiera mantenido el promedio de dilución del periodo anterior a la implementación.



c) Para Abdellaw et al. (2020), en el artículo presentado a Geotechnical and Geological Engineerin “Factors influencing stope hanging wall stability and ore dilution in narrow – vein Deposits” menciona que: En muchas minas canadienses se practica ampliamente el método del rebaje a cielo abierto cuando se extraen yacimientos tabulares finos. Este método se utiliza como alternativa a la excavación de rebajes cuando la dilución del mineral (contaminación del mineral por roca estéril) es un problema y cuando existe roca bastante competente. La dilución y la inestabilidad de la pared colgante del pozo pueden aumentar considerablemente los costes de explotación. La dilución reduce la ley del mineral y aumenta la cantidad de material que hay que extraer y transportar a la fábrica. Entre los muchos factores que afectan en gran medida a la dilución del mineral y a la estabilidad del rebaje, este artículo examina los regímenes de tensión y la profundidad de socavamiento del rebaje de la galería de acceso utilizando el criterio de evaluación de fallos elastoplásticos de Mohr-Coulomb y el software RS2D. La estabilidad del rebaje se evaluó en términos de profundidad de las zonas de relajación en el centro del rebaje, la extensión de las zonas de fluencia o fallo y los contornos de deformación. Los resultados revelan que la estabilidad del HW del rebaje se deteriora significativamente cuando aumentan los regímenes de tensión in situ y la profundidad de la socavación del rebaje. Por el contrario, la profundidad de las zonas de relajación y la extensión de las regiones de fluencia aumentan cuando aumentan la tensión in situ y la profundidad de la socavación del talud. Sin embargo, la profundidad de la socavación del talud no influye en la evolución de las deformaciones (por ejemplo, las deformaciones sólo se ven afectadas por el cambio de la relación de tensiones in situ).

d) Por otro lado, Alipov y Adoko (2020) en su artículo presentado en: 54th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, publicado "Influence of Stope Geometry on Sloughing and Dilution in Open Stope Mining.", este artículo examina cómo la irregularidad en la geometría de los taludes afecta el desprendimiento y la dilución de los mismos. Se creó una base de datos completa sobre la dilución, que incluía datos geotécnicos y de diseño de una mina local en Kazajistán. Los rebajes se agruparon en tres clases según su grado de irregularidad: geometría simple, semicompleja y compleja. Primero, se llevó



a cabo una modelización numérica cuyos resultados indicaron que los rebajes con geometría compleja presentaban un mayor impacto en el desprendimiento y la dilución, en términos de factor de resistencia y tensión. Posteriormente, se empleó el Sistema de Ingeniería de Rocas (RES) para definir el índice de dilución (DI) para cada categoría de geometría de talud. Los resultados mostraron que la categoría de talud influía de manera significativa en el índice de dilución. Además, se calcularon los números de estabilidad para los rebajes de este estudio y se elaboró un gráfico de estabilidad para compararlos. Los gráficos que mostraban el índice de dilución y el número de estabilidad de todas las categorías de taludes presentaron buenas correlaciones. Esto sugiere que el DI no solo puede cuantificar el impacto de la irregularidad geométrica de los taludes, sino que también puede ser utilizado para evaluar la dilución de los mismos.

### 3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) En la tesis presentado por Campos y Dominguez (2023) presentado en la Universidad Privada del Norte, titulado “Método de explotación de circado para incrementar la productividad en vetas angosta en la mina Soledad Retamas, Parcoy 2023”, cuyo propósito del estudio fue evaluar el uso del método de explotación por circado para aumentar la productividad en vetas angostas en la mina. Se adoptó un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, utilizando un diseño no experimental, longitudinal y explicativo. La población del estudio incluyó las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura en vetas angostas en la mina La Soledad. Se llevó a cabo un análisis documental y se siguieron procedimientos que incluyeron etapas de pre-campo, campo y post-campo. Los resultados demostraron que el método de explotación por circado efectivamente aumenta la productividad en vetas angostas. Aunque este método requiere más procedimientos, la dilución en el método de circado es del 0%, comparado con el 71.25% que se observa en el método convencional. Además, la diferencia en el costo por metro lineal entre ambos métodos es de 156.7 soles, lo cual contribuye significativamente a la mejora de la productividad.

b) En la tesis de Valdivia (2021), cuyo título “Estudio del Método de Circado para la Explotación de Vetas Angostas en la Mina Nueva Esperanza Nivel II – Algamarca”, presentado en la Universidad Cesar Vallejo, este informe de investigación tuvo como objetivo estudiar el método de circado para la explotación de vetas angostas en la mina Nueva Esperanza, Nivel II - Algamarca. La investigación surgió a partir de la observación de problemas relacionados con la explotación inadecuada de vetas angostas en la mina Nueva Esperanza.

El estudio se basó en un enfoque de investigación básica, utilizando un diseño no experimental de tipo descriptivo simple. Se emplearon técnicas de observación y análisis documental, apoyadas en instrumentos como guías de observación y fichas de registro de datos. Para el análisis, se utilizaron programas como Excel y AutoCAD, lo que aporta solidez y rigor al informe.

Los resultados mostraron que el método de circado es efectivo para la explotación de vetas angostas. Estos resultados se presentaron mediante tablas e imágenes con sus respectivos análisis, lo que ayudó a validar la hipótesis de que el estudio del método de circado permite determinar la forma adecuada de explotar vetas angostas. El trabajo concluyó que para aplicar el método de circado es esencial evaluar las condiciones geomecánicas y geológicas, ya que estas permiten analizar las características de la veta y, a partir de ahí, determinar la mejor manera de explotarla de manera selectiva.

c) Para Hinostroza y Yabar (2023), en su tesis presentado en la Pontificia Universidad la Católica del Perú, cuyo título “Reducción de dilución mediante la aplicación de voladura diferenciada en labores de Briasting dentro de la mina Pallancata.”, cuyo objetivo de la investigación es La zona de Pablo, ubicada dentro de la unidad minera Pallancata, presenta variaciones significativas en el ancho de las vetas, que oscilan entre 0.8 metros y 10 metros, lo que hace necesario buscar métodos más eficientes para explotar el yacimiento. El objetivo de esta investigación fue reducir la alta dilución observada en los tajeos de breasting, utilizando voladuras diferenciadas. Actualmente, la

dilución alcanza el 250% en secciones de 3.5m x 3.5m cuando las vetas tienen un espesor inferior a 2 metros.

El estudio se llevó a cabo utilizando los recursos y materiales disponibles en la empresa para evitar costos adicionales. Se realizó específicamente en dos tajeos pilotos (GL 2087 y BA 1905) en la veta Pablo, los cuales fueron adecuadamente preparados para la recolección precisa de datos. La veta Pablo cuenta con una zona baja con vetas de entre 2 y 5 metros de espesor y buzamientos de entre 70 y 90 grados, donde se aplica el método de Bench and Fill. En la zona alta, donde las vetas tienen entre 80 centímetros y 2 metros de espesor y buzamientos de entre 50 y 70 grados, se utiliza el método de corte y relleno mecanizado, que fue el foco de esta tesis. En esta última área, se logró reducir la dilución en aproximadamente un 80%.

La maquinaria necesaria para las operaciones unitarias de perforación, voladura y acarreo fue proporcionada por la compañía minera en colaboración con empresas contratistas. Las mallas y resultados obtenidos son aplicables únicamente a operaciones con características geológicas y geomecánicas similares. A partir de los datos obtenidos, se desarrollaron nuevas mallas que se ajustan mejor a las condiciones observadas, estableciendo nuevos estándares operativos.

- d) Según, Medina (2022), en su trabajo de investigación presentado en la Universidad Privada del Norte, “Reducción porcentual de la dilución y costos en Tajeo, implementando voladura controlada en el nivel III de una mina subterránea de la Mina de la Libertad 2021”. La tesis que se presenta tiene como objetivo principal reducir el porcentaje de dilución y los costos en el tajeo mediante la implementación de voladura controlada en el nivel III de la mina subterránea en estudio. Para lograrlo, se evaluó la eficiencia del explosivo Famecorte E20 en comparación con los explosivos Emulnor 3000 y 5000, analizando los datos de dilución teórica y operativa durante los meses de octubre a diciembre para ambos tipos de explosivos, incluyendo los costos asociados a la voladura.



Los resultados mostraron que los valores obtenidos con los explosivos convencionales Emulnor 3000 y 5000 son superiores a los obtenidos con el explosivo Famecorte E20, utilizado en la voladura controlada, con una diferencia promedio de 0.4 metros. Además, al calcular el porcentaje de dilución de mineral tanto con la voladura convencional como con la controlada en el nivel III, se determinó que los valores de dilución teórica y operativa fueron menores con el uso del explosivo Famecorte E20, con una diferencia promedio del 9%.

Finalmente, el análisis comparativo de los costos de los explosivos utilizados en la voladura convencional y la controlada evidenció una reducción de 0.31 \$/t al implementar el explosivo Famecorte E20 como técnica de voladura controlada.

### **3.1.3 Antecedentes regionales**

Como antecedentes locales no se ha encontrado tesis relacionados a la dilución y el método de circado.

## **3.2 Aspectos generales**

### **3.2.1 Compañía Minera Sol de los Andes**

La Compañía Minera Sol de los Andes, es una planta acopiadora y de procesamiento de minerales que está ubicada en el departamento de Arequipa, provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua en el C.C. de Arirahua. Esta unidad ha sido minada incluso desde las épocas de los españoles y posteriormente desde los años 70 han pasado por varias empresas mineras que han realizado exploraciones y explotación de algunas vetas auríferas más ricas. Los tipos de rocas más comunes que se encuentran en la zona son: intrusivas, sedimentarias y volcánicas. La mineralización se encuentra dentro de la franja Nazca – Ocoña cuyos.





FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 3 — Ubicación de las unidades de operación en Arirahua**

### 3.2.2 Características fisiográficas y ambientales

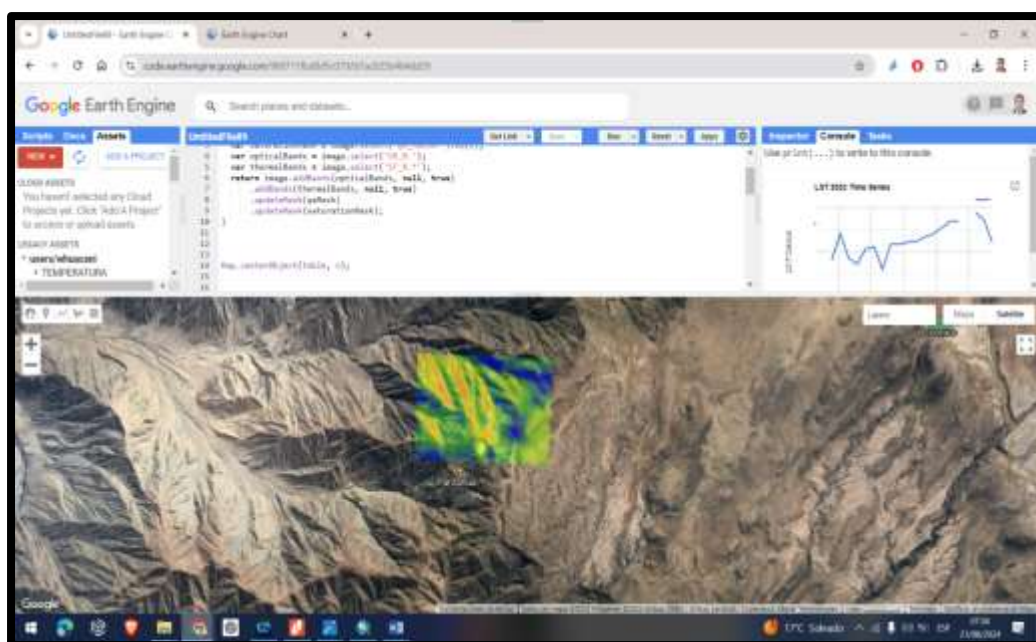
La zona se encuentra en la sierra sur del Perú, a una altitud que varía entre los 2,000 y 3,000 metros sobre el nivel del mar. Esta región presenta características típicas de la cordillera, con elevaciones montañosas y valles profundos, el relieve es accidentado, con pendientes pronunciadas y quebradas que caracterizan el paisaje. La morfología del terreno es resultado de procesos geológicos que incluyen actividad volcánica y erosión. La hidrografía de la región presenta cursos de agua intermitentes y pequeños riachuelos que se alimentan de la escorrentía superficial y la precipitación estacional. Estas fuentes de agua suelen ser fundamentales para las operaciones mineras y el consumo local.

El clima es semiárido, con variaciones significativas entre el día y la noche. Las temperaturas pueden ser bajas en las noches hasta 5°C y más cálidas durante el día que oscilan entre 10 a 15°C, especialmente en las estaciones secas.

Para determinar las características ambientales como la temperatura se utilizaron datos del sensor Landsat 8 OLI/TIRS, Estos datos obtenidos engloban la reflectancia de la superficie corregida atmosféricamente y la temperatura de la superficie terrestre. Los datos han sido validados por varios estudios y comparados

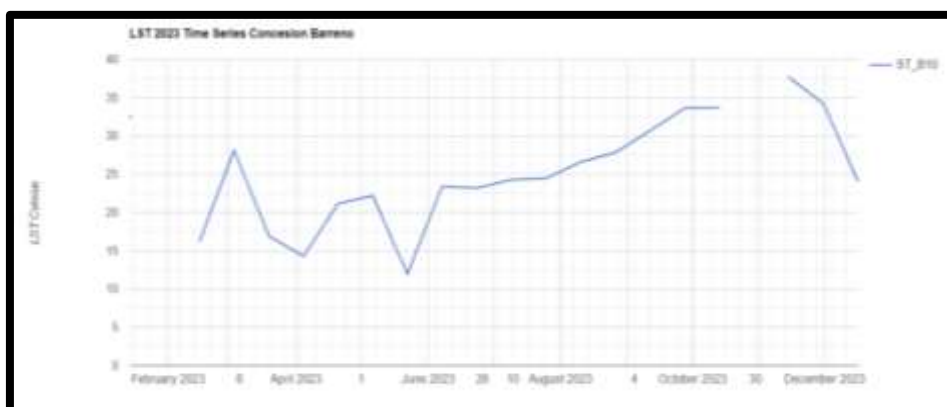


con estaciones meteorológicas, los cuales indican que son fiables para determinar los parámetros ambientales. Estas imágenes poseen 5 bandas visibles e infrarrojas cercanas (VNIR) y 2 bandas infrarrojas de onda corta (SWIR), disponibles en: [https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C02\\_T1\\_L2](https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2). Para su procesamiento de datos se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE) utilizando los algoritmos de JavaScript para determinar la temperatura desde el 01-01-2023 al 31-12-2023, como se muestra en la figura 4 y la serie temporal. Para determinar la temperatura, se tomó en consideración el área de la concesión el Barreno.



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 4 — Procesamiento de datos en Google Earth Engine temperatura periodo 2023**



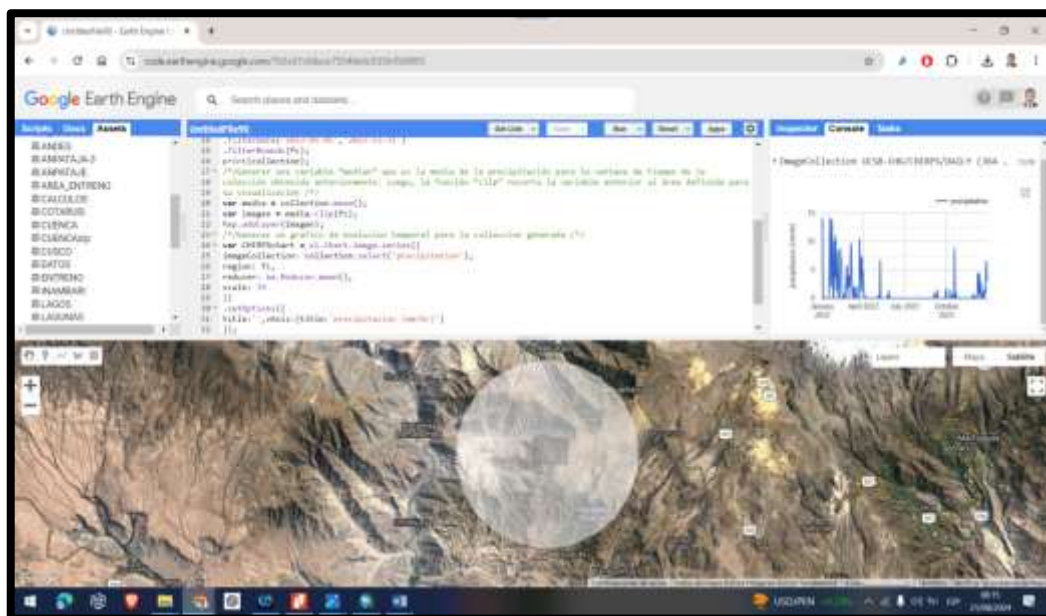
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 5 — Series de tiempo de la temperatura periodo 2023**



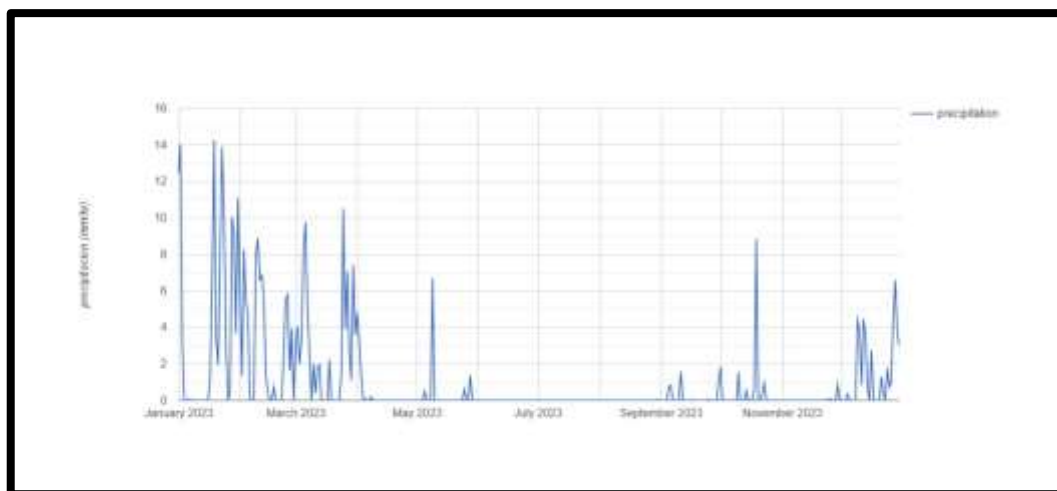
La temperatura circundante en la Compañía Minera Sol de los Andes es variante durante los meses de mayo llega a una temperatura mínima de 11.96°C. Durante los periodos de octubre y noviembre llega a valores máximos que oscilan entre 37.69 °C, en esta temporada podemos observar que los meses son más calurosos del año.

Para la estimación de la precipitación en la Compañía Minera Sol de los Andes, se han utilizado las imágenes de satélite datos Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), estos datos son de archivos pluviométricos a nivel global que poseen datos de más de 30 años, que se obtiene de imágenes satelitales de alta resolución (0.05°), con registros de datos de estaciones meteorológicas, para generar las series temporales de precipitación , los datos están obtenido de la base de datos que disponible en: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG\\_CHIRPS\\_DAILY](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY). Para el procesamiento se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE), el lenguaje de programación JavaScript para procesar los datos. Para el área de cálculo sea ha considerado un punto referencial dentro de la concesión y se ha establecido el área de la poligonal de la concesión para delimitar el área de estudio.



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 6 — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la precipitación**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 7 — Series de tiempo de la precipitación periodo 2023**

En la figura 7, las precipitaciones muestran con frecuencias en los meses de enero a marzo, con lluvias intermitentes que se intensifican como meses más lluviosos alcanzando hasta 14.86 mm/hr, la temporada donde no hay presencia de lluvia es a partir de abril hasta el mes de setiembre tal se muestra en la figura, el periodo de estudio corresponde al 2023.

### 3.2.3 Flora y fauna en la zona de influencia directa

La zona de Yanaquihua y Arirahua se encuentra en una zona de sierra con clima semiárido, lo que limita la diversidad y densidad de la vegetación. Sin embargo, es posible encontrar las siguientes especies:

- **Matorrales y Arbustos:** Predominan plantas resistentes a la sequía, como la tola (*Parastrephia* sp.), ichu (*Stipa ichu*) y champa. Estas plantas están adaptadas a las condiciones áridas y se encuentran en las laderas y terrenos más altos.
- **Cactáceas:** También hay presencia de cactus de diferentes tamaños, que son comunes en áreas de escasa humedad. Estas plantas son capaces de sobrevivir en suelos rocosos y secos.
- **Plantas Herbáceas:** Durante la temporada de lluvias, se pueden ver gramíneas y otras hierbas que crecen temporalmente y que sirven de pasto para el ganado y la fauna local.



- **Árboles Pequeños y Arbustos:** En zonas con mayor disponibilidad de agua, se pueden encontrar molle (*Schinus molle*), quinales (*Polylepis* sp.), y algunas variedades de retama.



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 8 — Retama presencia en la zona de influencia directa**

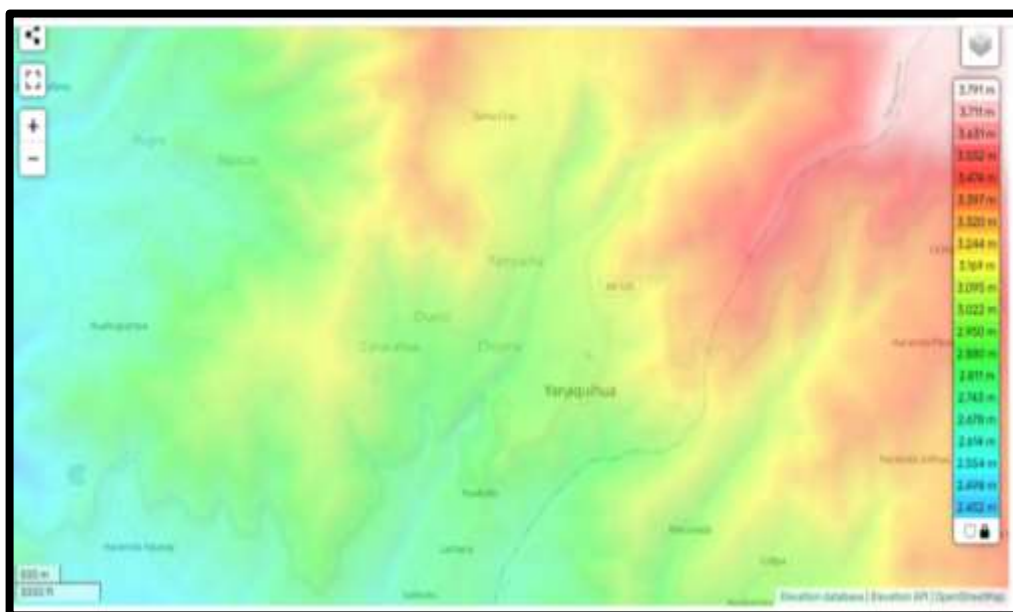
### 3.2.4 Topografía

La topografía de la región es parte de la cordillera de los Andes, lo que significa que el relieve es predominantemente montañoso. Las laderas son empinadas y accidentadas, con pendientes pronunciadas que pueden presentar dificultades para la construcción y la movilidad.

La topografía incluye elevaciones significativas, con cerros y quebradas que se elevan por encima de los 2,000 a 3,000 metros sobre el nivel del mar. Estas elevaciones están intercaladas con valles profundos y quebradas, lo que crea una topografía irregular y diversa.

Se presentan quebradas y cañones numerosos formados por la erosión y la acción de cursos de agua que fluyen principalmente durante la temporada de lluvias. Estas depresiones naturales pueden actuar como vías de drenaje y afectan la disposición del terreno. Hay planicies localizadas, aunque el terreno es mayormente accidentado, hay algunas planicies y mesetas pequeñas que se forman en las áreas más altas. Estas áreas pueden ser usadas para asentamientos humanos, cultivos o infraestructura minera. El suelo es rocoso, pedregosos muy común en la zona. Esta condición geológica está asociada con las formaciones de yacimientos de minerales que hacen de la región un sitio favorable para la actividad minera. La minería se

adapta a estas condiciones mediante la construcción de caminos y plataformas en las pendientes del terreno.



FUENTE: Mapa interactivo, 2025

### Figura 9 — Imagen de altitud de la Compañía Minera Sol de los Andes

En la figura 9, se visualiza la topografía en un modelo de elevación digital, donde cada rampa de color indica una altitud.

## 3.2.5 Características geológicas

### 3.2.5.1 Geología regional

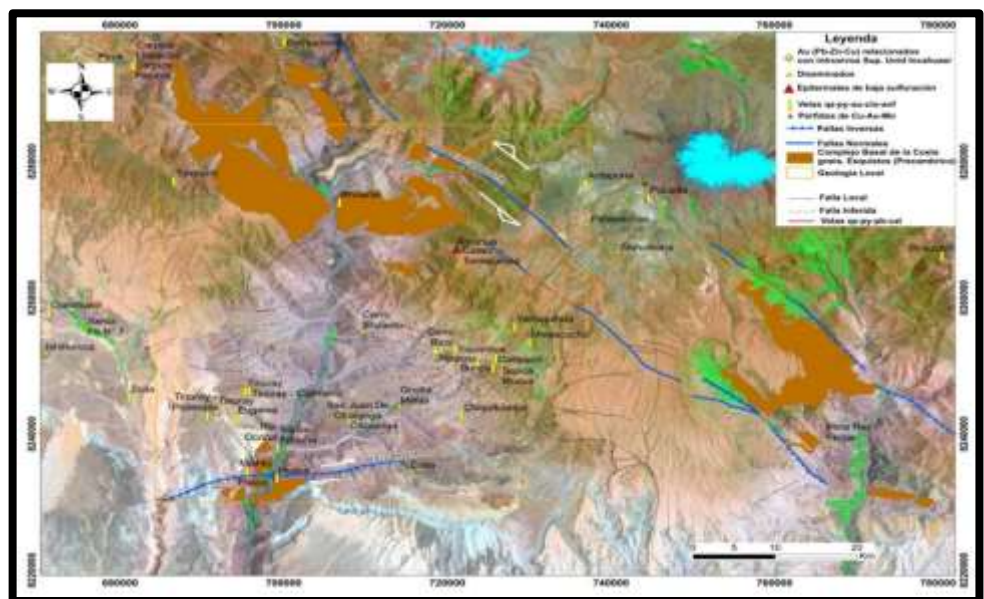
Para considerar la geología regional, se ha tomado como fundamento la información geológica de los cuadrángulos de Caravelí, hoja 32-P y Chuquibamba, hoja 32-Q, publicada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, INGEMMET.

Las rocas más antiguas de la región están formadas por metasedimentos y secuencias de anfibolita gnésica que se remontan al Precámbrico. Sobre estas, en discordancia angular, se deposita una serie de sedimentos de origen continental, que corresponden al miembro superior de la Formación Moquegua (del Terciario Medio-Oligoceno-Mioceno). En algunas zonas, por encima de estos depósitos, se encuentra el volcánico Sencca, que data del Terciario Superior (Plioceno Medio-Superior) y está compuesto por rocas volcánicas de tipo tufáceo, según (Mendivil, 1965).



En los alrededores, también se puede observar el Grupo Barroso, asociado al estrato volcánico del Coropuna, compuesto principalmente por tobas dacíticas a riodacíticas, que descansan en discordancia erosional sobre el volcánico Sencca.

Estas formaciones están intruidas por rocas ígneas del Batolito de la Costa. Finalmente, toda la secuencia estratigráfica está cubierta por depósitos cuaternarios, que incluyen depósitos aluviales y fluviales con materiales sueltos de composición variada y espesores diferentes ver la figura 10.



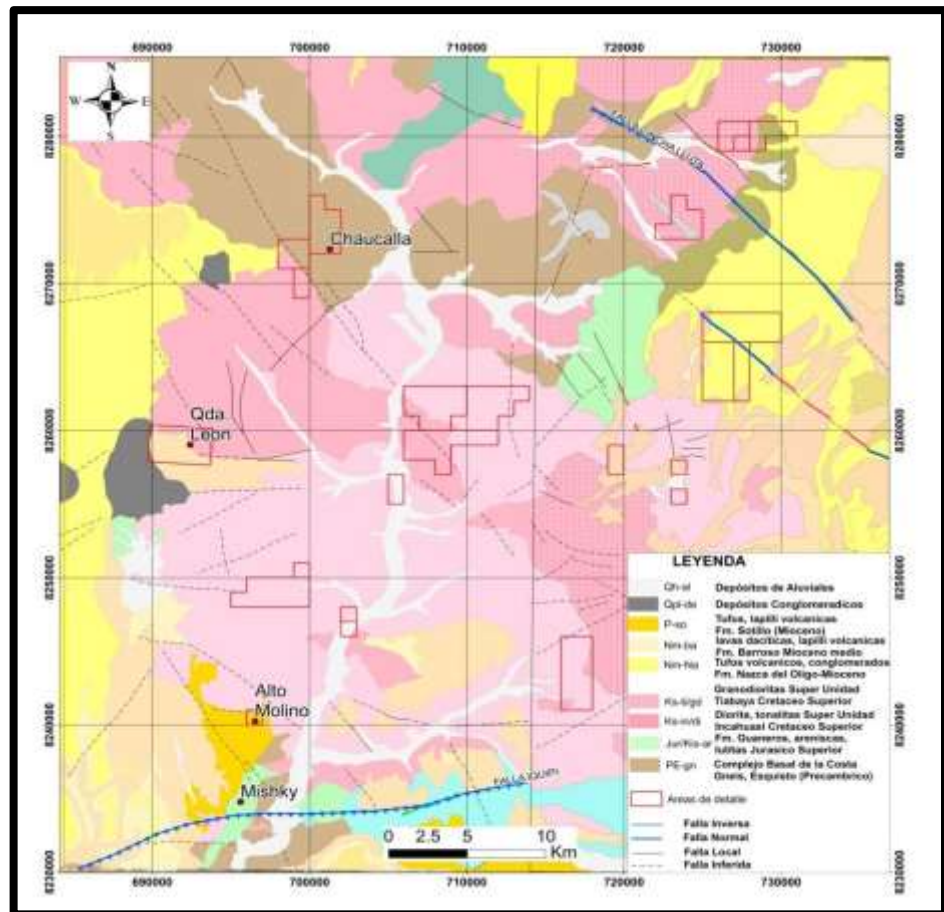
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 10 — Geológica estructural a nivel distrital, imagen satelital sensor Landsat B: 7, 4, 2.**

### 3.2.5.2 Geología local

La mineralización en la zona se caracteriza por un enjambre de más de 50 vetas, que se encuentran dentro de cuerpos de roca del batolito de la costa, con una composición principalmente granodiorítica y similares. Algunas de estas vetas afloran a lo largo de varios cientos de metros, mientras que otras son más cortas. Sus anchos oscilan entre 0.10 y 1.0 metro. Todas las vetas están alineadas a lo largo de una franja con dirección N60°E, que se extiende por 12 km. Entre las principales se destacan la veta María y Esperanza, cuyas estructuras presentan leyes que generalmente varían entre 5 y 30 gramos de oro por tonelada métrica.





FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 11 — Geológica local de las zonas del yacimiento**

### 3.2.5.3 Estratigrafía

Son reconocidas las siguientes secuencias estratigráficas:

- **Formación Moquegua (Nm-mo)**

Esta formación tiene un origen continental y no contiene fósiles. Fue analizada por J. Adams en 1906 y más tarde por Steinman en 1930, quien la dividió en dos secciones: Superior e Inferior. Su litología es bastante variable, especialmente en la parte superior, donde se encuentra un conglomerado arenoso con una matriz de arena y toba, formado por fragmentos de granito, granodiorita, areniscas y lavas. Estos depósitos clásticos se han acumulado en una amplia depresión entre las estribaciones de los Andes y la Cordillera de la Costa.

Los elementos litológicos presentan una composición diversa, tanto vertical como horizontalmente, apareciendo en capas y lentes irregulares. Esto respalda la idea de su origen continental,



caracterizado por períodos de intensas lluvias y erosión marcada, durante los cuales también hubo actividad volcánica con derrames alternos que posteriormente fueron erosionados y transportados por el agua.

Esta formación se encuentra en la Comunidad de Andaray, y también hay afloramientos al norte de Yanaquihua, donde se pueden ver areniscas tufáceas de color gris con estratificación cruzada.

En cuanto a su edad y correlación, se determina a partir de la correlación estratigráfica y litológica, ya que no hay fósiles presentes. Se estima que podría abarcar desde el Mioceno hasta el Plioceno y probablemente hasta el Pleistoceno.

- **Formación Pisco (Nm-pi)**

El nombre fue asignado por J. Adams en 1906 en la hoja de Ocoña. Desde el punto de vista litológico, está compuesto por arenas grises, ricas en feldespato, con pequeños lentes de conglomerados, arenas tobáceas, así como intercalaciones de arcillitas y capas de yeso.

Su exposición es bastante limitada y se localiza en el cerro Purimarca, en el extremo sureste de la región, apareciendo como una pequeña ventana geológica.

En cuanto a su edad y correlación, los fósiles hallados indican que esta formación es del Mioceno, probablemente del Mioceno superior, y se correlaciona con la Formación Pisco del departamento de Ica.

- **Formación Alpbamba (Nm-al)**

En su informe Guevara y Dávila (1983), identificaron una secuencia gruesa de tobas brechoides en el cuadrángulo de Pausa. D. Dávila (en trabajo no publicado) también describió esta misma secuencia en el cuadrángulo de Pacapausa. Esta formación está compuesta por tobas dacíticas, lapillis y tobas brechoides, presentando colores que varían



de marrón blanquecino a marrón grisáceo y tonos violáceos. Estas características de color facilitan su identificación en el campo y se pueden observar en fotografías aéreas, donde se extiende por varios kilómetros.

Un segmento de su afloramiento se localiza al noreste de la zona de estudio, desde el Cerro Calahuaito hasta la quebrada Piñog, continuando hacia el Cerro Gehuaypunco. La Formación Alpbamba se encuentra discordantemente sobre el Grupo Tacaza y debajo de manera discordante a la Formación Sencca y el Grupo Barroso. Su espesor varía, pero se estima en unos 800 metros.

En cuanto a su edad y correlación, se considera que la Formación Alpbamba es del Mioceno superior al Plioceno, ya que se encuentra sobre el Grupo Tacaza, que es del Mioceno inferior a medio, y debajo de los volcánicos Sencca, que son del Plioceno. Según las dataciones realizadas por la Misión Japonesa en 1986, se determinó una edad de  $4.8 \pm 0.1$  millones de años usando el método K-Ar en tobas soldadas al sur de Alca. Además, se podría correlacionar con el Grupo Pisco de la costa peruana, que tiene un rango de edad de entre 11 y 2 millones de años, y posiblemente con la parte superior del Grupo Palca en el cuadrángulo de Ocuvi.

- **Formación Sencca (Np-se)**

Afloran Esta formación fue definida por Mendivil en 1965, quien describió un conjunto de rocas volcánicas piroclásticas que afloran en la quebrada de Sencca, al sureste de la hoja de Maure. Las rocas que componen esta unidad son principalmente piroclásticas, con tobas dacíticas y riodacíticas que presentan un color gris predominante, aunque pueden variar a blanco amarillento y rosado por la meteorización de minerales ferromagnesianos.

La compactación de estas tobas es regular, mostrando una buena coherencia y textura homogénea, aunque algunas son fácilmente disgregables, lo que genera una cobertura de material suelto de grano muy fino. El mayor espesor de esta formación, de aproximadamente

150 metros, se encuentra a ambos lados del río Arma, aguas arriba del pueblo de Salamanca. En la zona de estudio, se presentan como pequeños afloramientos aislados que cubren directamente las rocas del Batolito de la Costa. La Formación Sencca se encuentra de manera limitada al noreste de Yanaquihua, en las quebradas Piñog, La Tranca, Lucmayoc y Tapococha, y suele cubrir o rellenar parcialmente las partes altas de cerros como Charco, Quiroz y también es visible en la mina Cerro Rico y Chiuca.

En cuanto a su edad y correlación, se considera que esta formación volcánica es del Plioceno, según datos obtenidos de los cuadrángulos vecinos de Huambo y Orcopampa. Se han realizado determinaciones K-Ar en muestras de la parte alta de Umachulco, que dieron una edad de  $6.2 \pm 0.2$  millones de años. Además, en esta misma publicación se mencionan otras dataciones, como el sillar de Arequipa, que tiene un promedio de 3 millones de años. Por lo tanto, según sus relaciones en el campo y sus dataciones, se sitúa en el Plioceno medio.

La Formación Sencca ha sido ampliamente estudiada en el sur de Perú y se encuentra en los cuadrángulos vecinos, como Yesera, Orcopampa, Cháparra, Jaqui, Maure y Characato.

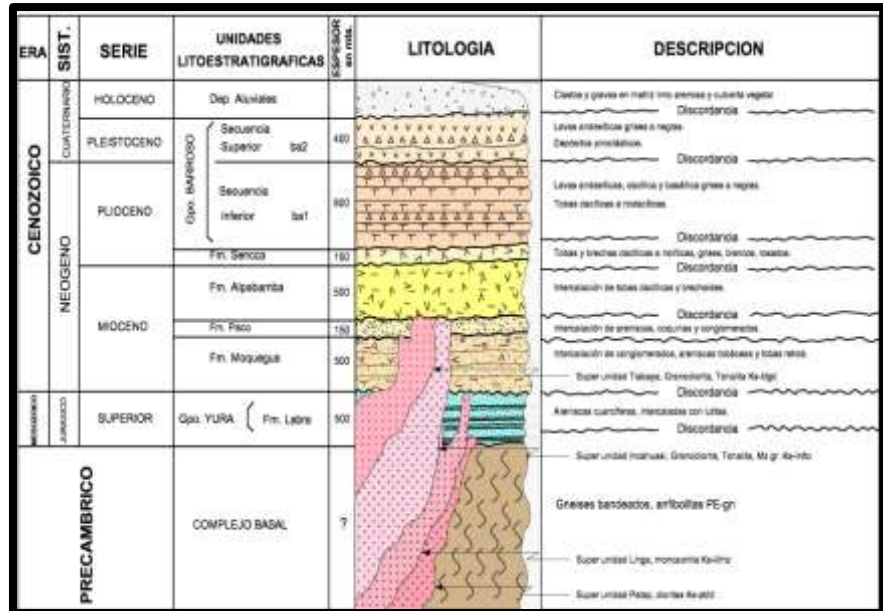
- ***Depósitos aluviales***

Esta formación Los depósitos recientes cubren áreas pequeñas y están compuestos principalmente por suelos de arena, grava, limo y arcilla. Se han formado debido a la intensa erosión y al transporte de materiales, rellenando depresiones y zonas bajas. Estos sedimentos se han acumulado en el fondo de ríos y quebradas, y en algunas áreas han formado pequeñas terrazas.

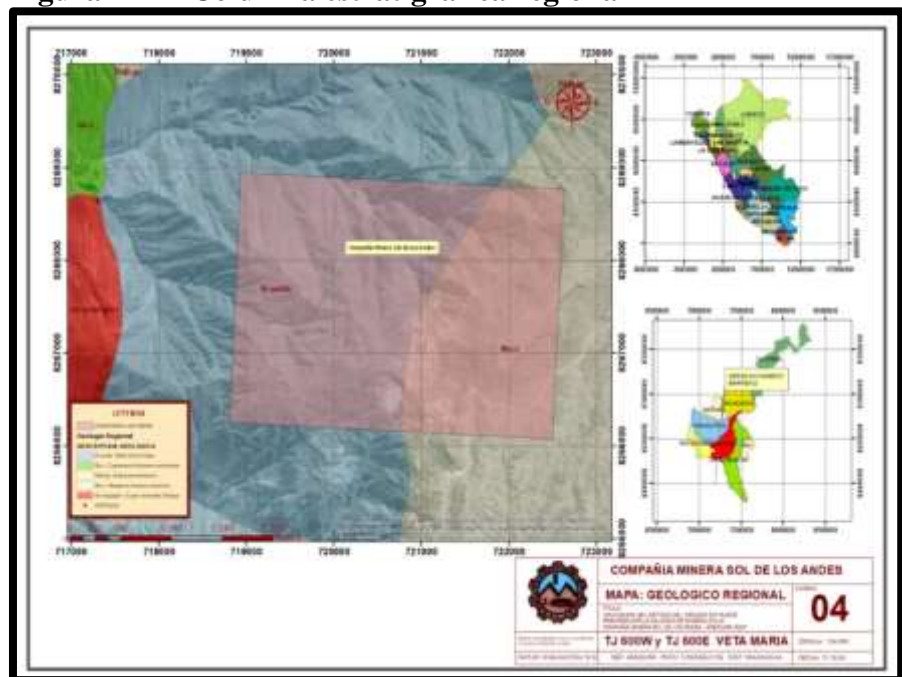
Los valles de Chuquibamba, Cotahuasi y Arma son ejemplos de depósitos aluviales compuestos por arcillas, conglomerados y gravas. Las terrazas aluviales se han formado en las laderas de los ríos, mientras que los depósitos fluviales ocupan sus lechos. En la zona de estudio, estos depósitos se encuentran como cobertura en las



planicies, lechos y laderas de las quebradas, constituyendo los centros agrícolas de Charco, Ispacas, Yanaquihua, Andaray, San Juan de Chorunga y Chiuca ver la columna estratigráfica en la figura 12.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 12 — Columna estratigráfica regional**



FUENTE: Elaboración propia  
**Figura 13 — Plano geológico regional de la Compañía Minera Sol de los Andes**

### 3.2.5.4 Rocas intrusivas

- **Super Unidad Patap (Ks-pt/di)**

Esta unidad se caracteriza por estar compuesta de rocas melanocráticas, principalmente gabros y dioritas, que presentan variaciones en su textura y composición mineral. Es considerada como el primer episodio de intrusiones del plutonismo batolítico, por lo que se trata de una de las unidades más antiguas del Batolito de la Costa. En la región estudiada, su presencia es limitada, con algunos afloramientos visibles en el extremo suroeste, específicamente en la quebrada de Chaluane.

- **Super Unidad Linga (Ks-li/mz)**

Las rocas que forman esta superunidad se identifican como granodioritas y monzonitas, y se encuentran expuestas en la margen izquierda del río Chorunga, en una delgada franja que se extiende de este a oeste. Los afloramientos rodean a la superunidad Incahuasi, aunque sus contactos no son claramente visibles debido a que están cubiertos por depósitos de origen terciario y cuaternario.

Estas rocas presentan un color que varía de gris a gris claro, con una textura de grano medio a grueso y abundantes minerales ferromagnesianos, destacando la biotita y la hornblenda. Por procesos de epidotización, adquieren un tono verdoso, mientras que los cristales anhedrales de plagioclasa y feldespatos alcalinos son dominantes en la composición.

En los afloramientos ubicados en la margen izquierda del río Chorunga, entre Iquipí y la quebrada Chillihuay, la monzonita se muestra alterada por pequeños cuerpos de microdioritas y otras rocas básicas. Esta alteración disminuye significativamente el contenido de sílice, que llega hasta el 3%, mientras que el feldespato alcalino se vuelve más abundante, clasificando la roca resultante como una diorita cuarcífera.

- **Unidad Tiabaya**

Esta unidad es la segunda más extensa dentro del Batolito, y sus litologías predominantes son tonalitas y granodioritas. Además, se han



identificado algunos cuerpos pequeños de gabrodioritas que se encuentran asociados espacialmente a esta superunidad.

**Tonalitas-Granodioritas:** Estas rocas se localizan en una alineación de cerros que va desde el cerro El Privado hasta el cerro La Yesera, con una orientación noroeste-sureste. Estas tonalitas y granodioritas intruyen al complejo de granodiorita-tonalita Incahuasi, al norte del Cerro Rico, y contienen un pequeño remanente del Complejo Bella Unión en forma de techo colgante, el cual muestra signos de metamorfismo con disseminación dispersa de pirita.

La composición de estas rocas incluye tonalita potásica que gradualmente pasa a granodiorita, probablemente debido a la cristalización fraccionada o la migración de iones de potasio. En la superficie, la tonalita presenta un color gris rojizo y, en muchos lugares, se desintegra fácilmente debido a la meteorización. Macroscópicamente, es de grano medio, leucócrata, inequigranular e hipidiomórfica. Los minerales principales que la componen son: plagioclasa (50%), cuarzo (30%), hornblenda (10%), biotita (5%) y otros (5%).

Hacia el sureste de la zona de estudio, en la Quebrada Chila-Chila, afloran cuerpos de granodiorita de grano medio.

#### **3.2.5.5 Geología económica**

La Compañía Minera Sol de los Andes hay varias vetas importantes, que en el pasado fueron trabajadas parcialmente pero que aún contienen significativas reservas en profundidad. La estructura principal de este depósito es la veta troncal, la cual presenta hasta zonas mineralizados de entre 200 y 300 metros de longitud a lo largo de un recorrido de 2 kilómetros. Su grosor varía de 0.5 a 2 metros y ha sido identificada hasta la cota de 1,800 metros.



La actividad minera en la actualidad se concentra mayoritariamente en la veta María, la mineralización es irregular, presentándose en columnas de riqueza discontinuas que varían desde pocos metros hasta más de 100 metros de longitud. El relleno de estas columnas está compuesto principalmente por cuarzo, hematita, limonita y pirita, con oro nativo acompañado de pequeñas cantidades de calcopirita, galena y esfalerita. A mayor profundidad, estos minerales tienden a transformarse en combinaciones de cuarzo, pirita y calcopirita.

Estas vetas son de gran importancia económica por sus contenidos de oro, y, en menor medida, por valores recuperables de plata. Muchas de ellas han sido explotadas a pequeña escala. Estas vetas son importantes porque presentan valores económicos de oro, secundariamente valores recuperables de plata; muchas de ellas han sido trabajadas en pequeña escala.

### 3.2.5.6 Mineralogía del yacimiento

La mineralogía del yacimiento de la Compañía Minera Sol de los Andes, como principal mineral económico es el oro, el que se halla como oro libre, diseminado en el cuarzo y como exolución dentro la pirita (pirita aurífera).

- **Oro libre (Au):** El oro libre se presenta en forma de hilos enmarañados dentro de pequeños espacios, especialmente en las partes superiores de la veta. Se encuentra impregnado en criaderos de cuarzo y óxidos de hierro, como hematita y limonita. Su apariencia es de color amarillo, con una raya de tono amarillo metálico.
- **Pirita aurífera (FeS<sub>2</sub>):** La pirita aurífera, también conocida como pirita fina, es un mineral que contiene oro y se distingue por su coloración oscura. El oro en este mineral aparece en forma de inclusiones microscópicas de oro natural, aunque algunos expertos sugieren que podría estar presente en una solución sólida dentro de los sulfuros. El oro se manifiesta en forma de inclusiones anhedrales



dentro de la pirita y también puede encontrarse rellenando pequeñas fracturas.

### **3.2.6 Aspectos generales de la unidad minera**

#### **3.2.6.1 Generalidades**

El método de explotación utilizado en las zonas de la unidad, es el de corte y relleno ascendente convencional, con perforación vertical. La mina tiene una capacidad de producción de 50 toneladas diarias. Además, se adquieren otras 50 toneladas de mineral de mineros artesanales e informales, y se reciben 50 toneladas adicionales haciendo un total de 100 toneladas, para procesar en la planta Alpacay que tiene una capacidad de procesar diariamente 150 toneladas.

#### **3.2.6.2 Exploración minera**

Las características de las vetas de Yanaquihua exigen que los métodos de explotación, deben ser selectivos y flexibles, pues a veces solo es conveniente explotar sólo una parte de la veta, así como es preciso un control estricto de todas las etapas de producción.

Las variaciones de calidad y potencias mineralizadas, junto con la mala calidad de las cajas, repercutían directamente en una fuerte dilución, por ello y como parte del plan de Acción Control de Dilución, a partir del año 2014 se estandarizó el método de “Corte y Relleno Selectivo Ascendente”, lo que implica un menor tonelaje por tajo y el incremento de la cantidad de tajos de menor longitud (16 m por ala), que sin embargo con el Ore control en la explotación, continuo muestreo de los cortes, significaron un aumento en la ley de cabeza de forma considerable.

El departamento de Geología y Exploraciones 2024, en su programa de exploración ha programado exploración superficial en las zonas norte y sur, las zonas de relaves y proyectos de perforación de diamantinos.



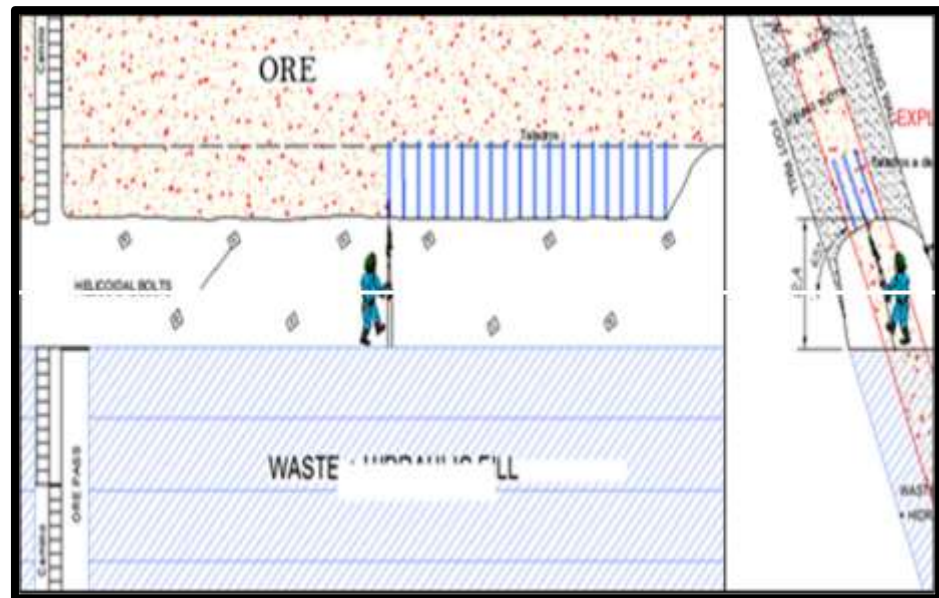


FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 14 — Programa de exploraciones**

### 3.2.6.3 Minado convencional (circado)

En el minado convencional, se utilizan equipos convencionales como palas neumáticas, locomotoras, perforadoras Yackleg, rastrillos y winches, para el minado se emplea el material estéril proveniente de la roca encajonante o también del material clasificado como desmonte dentro de la misma estructura mineralizada y que se deja como relleno después de volar y limpiar el mineral, esta metodología se denomina “circado de veta”. El sostenimiento de la roca encajonante es con puntales de madera y de manera puntual.

La figura 15 muestra la secuencia y metodología aplicada para el minado de un tajeo regular de la mina. En ella se puede observar que la perforación es vertical sobre una camada o piso de relleno con desmonte.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 15 — Esquema de corte y relleno ascendente**

#### **3.2.6.4 Método de corte y relleno ascendente para zonas de vetas**

En la Compañía Minera Sol de los Andes, en la zona de vetas, se utiliza el método de explotación de corte y relleno ascendente, aplicando tanto variantes semimecanizadas como convencionales. Este método es altamente selectivo y facilita el cumplimiento de las metas de producción, además de mejorar la seguridad del personal al ser mecanizable.

Para la variante convencional, se preparan galerías base en los niveles principales, así como un bypass en el nivel inferior, del cual se originan chimeneas que actúan como vías de izaje y orepass. El bypass es una labor auxiliar que sirve para el tránsito de equipos, como locomotoras y máquinas de carga y acarreo, así como para el desplazamiento del personal. La explotación se realiza con perforadoras jackleg aplicando corte en breasting, y la limpieza se lleva a cabo con scoop eléctrico que permanece en el tajo. Posteriormente, se construye una rampa que conecta el orepass y el camino, asegurando ventilación y accesos.

En la variante semimecanizada, se preparan accesos como bypass, galerías, cruceros y rampas con secciones típicas de 4.00x3.50 m, para facilitar el paso de equipos de transporte y acarreo. El acceso a los niveles



principales se realiza mediante bancadas de 60 m, con el fin de maximizar el número de cortes con rampas basculantes. La rampa principal que da acceso a los niveles se sitúa a una distancia de al menos 50 m de la estructura mineralizada, orientándose hacia la caja piso de la veta.

Se construyen echaderos principales que sirven como ore pass y fill pass, con una sección mínima de 1.5x1.5 m hacia el nivel inferior. Además, se consideran niveles intermedios con bancadas de 20 m y la preparación de bypass y rampas.

Para la explotación de la estructura mineralizada, se utilizan rampas con pendiente negativa de -15%, permitiendo realizar la mayor cantidad de cortes posibles. Estas rampas tienen una longitud de 50 m, con un tramo horizontal de 3 m para cortar la estructura, optimizando así la bancada establecida y los cortes proyectados.

La limpieza del mineral roto se realiza con scooptrams diésel de capacidades de 2.0 yd<sup>3</sup>, 2.5 yd<sup>3</sup> y 4.1 yd<sup>3</sup>, lo que reduce la dilución en las cajas durante la extracción. Una vez finalizada la explotación mediante corte en realce, se procede a rellenar el tajo con relleno dietritico y luego se marca la razante de batido para continuar con los siguientes cortes.

Culminada la explotación del corte en realce, se procede a rellenar el tajo mediante el uso de relleno hidráulico para luego proceder a marcar la razante de batido y continuar con los siguientes cortes.

### **3.2.6.5 Descripción de las etapas de operación minera**

#### **a) Exploración**

En esta fase se llevarán a cabo trabajos mineros tanto horizontales como verticales, incluyendo cortes, estocadas y chimeneas. El propósito de estas labores es alcanzar las proyecciones de las vetas para su desarrollo futuro y crear cámaras diamantinas desde las cuales se realizarán perforaciones diamantinas que ayudarán a confirmar o

descartar la presencia de vetas en las zonas proyectadas durante la fase de exploración.

Una vez que los cortes alcanzan las vetas objetivo, se procede con labores adicionales, ya sean horizontales o verticales (como galerías y chimeneas), que siguen la estructura de la veta. Estas labores permiten estudiar la estructura, confirmar el contenido y la potencia de las vetas a lo largo de su recorrido, y sirven para la estimación de reservas minerales.

En el año 2015, se realizaron 4,186 metros de labores de exploración minera, logrando estimar 17,996 toneladas de reservas, con una ratio de cubicación de 4.30 t/m. Este avance ha permitido reemplazar las zonas previamente explotadas y aumentar las reservas.

Además, se llevaron a cabo 13 perforaciones diamantinas con una longitud total de 2,461 metros. De estos, 3 correspondieron a piezómetros, 3 a perforaciones de superficie y 7 a perforaciones dentro de la mina. Estos resultados permitieron confirmar la continuidad de la mineralización en profundidad y descartar posibles zonas de explotación antigua.



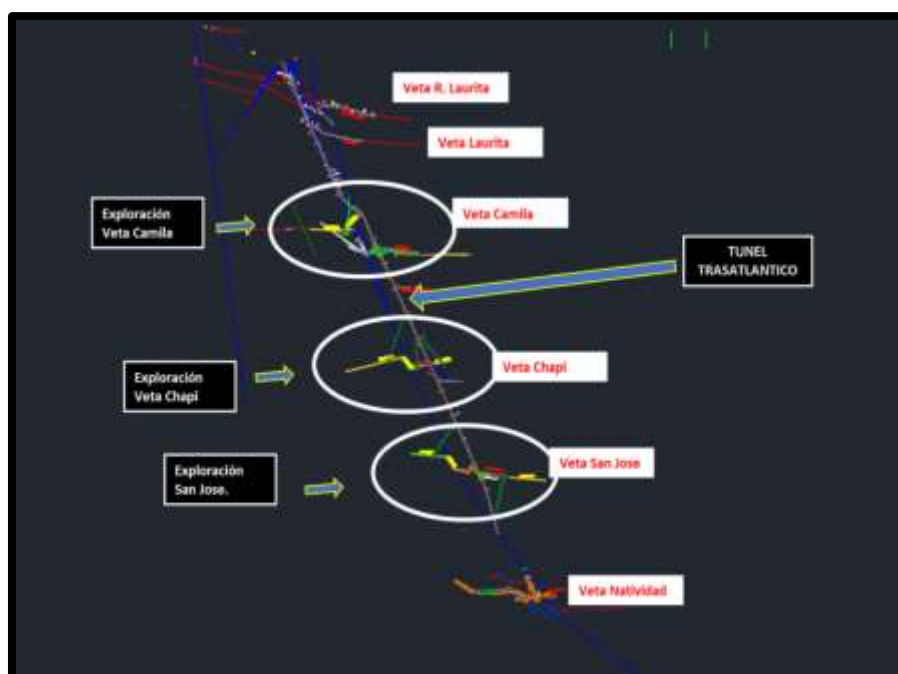
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 16 — Zonas de perforación de diamantinas**

## b) Exploraciones con labores mineras

Las exploraciones planificadas para el año 2024 están alineadas con el plan estratégico, cuyo objetivo principal es convertir los recursos minerales en reservas. El programa de trabajo minero se basa en el análisis y comprensión del comportamiento mineralógico y estructural de las vetas, con el fin de identificar nuevos puntos de concentración mineral (Ore Shoots), especialmente en las vetas María, Esperanza, Camila, Chapi, Ana y San José.

El plan de exploración incluye un avance total de 5,040 metros, distribuidos entre labores de galerías, cruceros, chimeneas y piques.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 17 — Exploración de zonas del Nv 2970**

## c) Preparación

En esta etapa es realizada después o en forma análoga a la exploración, se realizan labores horizontales o verticales (chimeneas, subniveles) que permiten la preparación de blocks de mineral que conformarán las zonas de explotación.

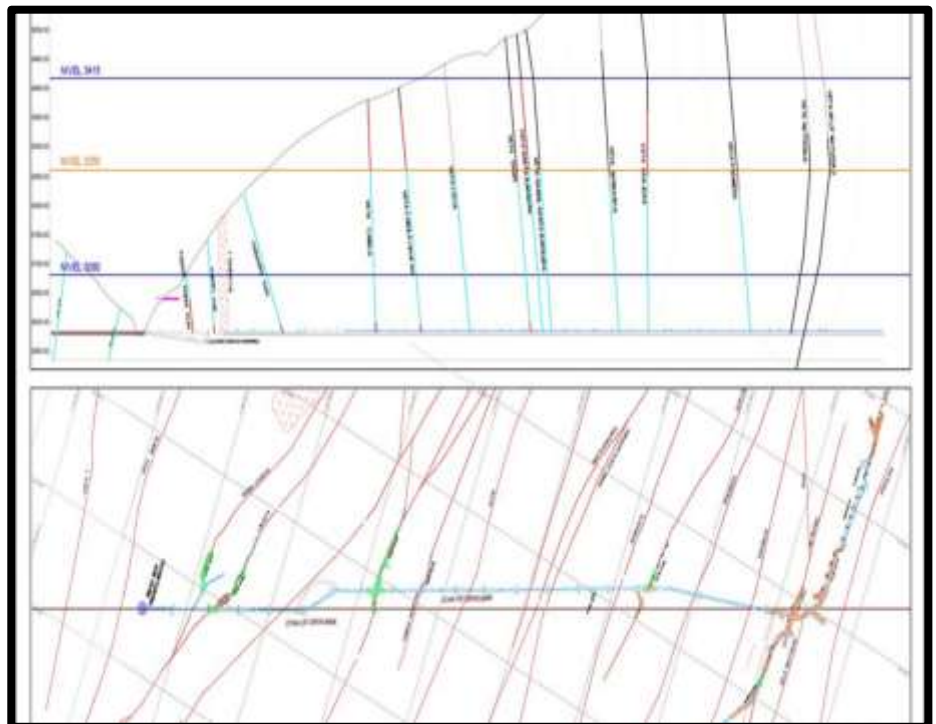


FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 18 — Exploración en las zonas veta Ana y María**

**d) Explotación**

Es la etapa final en que se extrae el mineral en forma sistemática donde el recurso mineral es preparado y cubicado en las zonas de trabajo llamadas “Tajos”.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 19 — Túnel transatlántico desde la bocamina hasta la veta Natividad (2,000 m.) corta las diferentes vetas**

### 3.2.7 Perforación y voladura

#### 3.2.7.1 Perforación

La perforación que se realiza en los frentes o en tajos es con maquina neumática (roto-percusión), estos equipos de perforación cuentan con barrido de agua y administrado con aire comprimido.

- Equipo: Jack Leg.
- Barrenos de perforación: 3, 4 y 6 pies.
- Brocas (Ø): 38, 40 mm

Vida útil promedio de los barrenos

- Mínimo: 780 pies (40mm) en barreno de 6'
- Máximo: 1536 pies (40 mm) en barreno de 4'

#### 3.2.7.2 Voladura

En la Compañía Minera Sol de los Andes, Tajo María, los explosivos usados son:

Dinamita EXADIT 65% (7/8" x 7"): Es un explosivo pulverulento que se emplea generalmente en roca blanda e intermedia en minería subterránea, túneles y carreteras. Es muy limitada a la resistencia del agua, de preferencia se utiliza en terreno seco.

ANFO (Grado fertilizante): Esta clase de explosivo tiene como contenido el nitrato de amonio (AN) grado fertilizante varía entre un 80% y un 90%, dependiendo de la formulación específica y un combustible que en este caso es el petróleo cuya proporción oscila entre el 10% y el 20% del total de la mezcla.

Mecha de seguridad (FAMESA): En promedio el tiempo de combustión por pie dentro de la mina "Sol de los Andes" es de 55 s/pie. Para la voladura se realiza la preparación (encapsulado) de guías generalmente de 5 y 7 pies.

Fulminante común N° 8: Este accesorio de voladura se utiliza para el iniciado de la chispa de la mecha de seguridad y es usada para iniciar a la dinamita.



### 3.2.8 Ventilación

La Compañía Minera Sol de los Andes, Unidad Minera Yanaquihua en Condesuyos, Arequipa, cuenta con un sistema de ventilación natural y mecánica, el sistema está diseñado para manejar los flujos de aire necesarios para mantener condiciones seguras y óptimas en sus operaciones subterráneas. Este sistema asegura una adecuada circulación de aire en todas las galerías y frentes de trabajo, proporcionando aire fresco y eliminando gases y contaminantes.

#### a) Flujo de aire y caudales:

El sistema maneja un flujo de aire promedio de 150,000 a 200,000 m<sup>3</sup>/min, dependiendo de las necesidades operativas y los niveles de actividad en las diferentes galerías.

Los caudales varían en función del tamaño y extensión de las galerías, así como de las condiciones geológicas, la profundidad y las actividades que se realicen (perforación, voladura, carga y transporte). En zonas críticas donde se realizan operaciones intensivas, los caudales se incrementan para garantizar una adecuada renovación del aire.

Los caudales específicos se controlan mediante reguladores de flujo y compuertas instalados a lo largo del sistema de ductos para asegurar que el aire se dirija eficientemente a las áreas que más lo requieren.

#### b) Ventiladores principales:

Se utilizan ventiladores centrífugos de gran capacidad, ubicados en la entrada principal de aire fresco. Estos ventiladores tienen la función de introducir aire limpio desde la superficie hacia las galerías subterráneas.

La capacidad de estos ventiladores principales oscila entre 75,000 y 100,000 m<sup>3</sup>/min, y se configuran en sistemas redundantes para garantizar la operación continua incluso si uno de ellos falla.



Los ventiladores están instalados en estructuras reforzadas en la superficie, cerca de las bocas de acceso principales, lo que permite inyectar aire fresco hacia las zonas más profundas de la mina a través de ductos verticales.

**c) Ventiladores secundarios y auxiliares:**

Se utilizan ventiladores secundarios de menor capacidad para distribuir el aire en los diferentes niveles de las galerías. Estos ventiladores son móviles y pueden ser reubicados según las necesidades operativas, permitiendo una mayor flexibilidad en la distribución del flujo de aire.

La capacidad de los ventiladores secundarios varía entre 5,000 y 15,000 m<sup>3</sup>/min, se instalan en puntos estratégicos, cerca de los frentes de trabajo y túneles de desarrollo.

También se utilizan ventiladores auxiliares portátiles en zonas específicas para reforzar la ventilación en áreas de difícil acceso o donde se acumulan gases.

**d) Ubicación de los ventiladores:**

Los ventiladores principales están situados en la superficie, cerca de las bocas de entrada de la mina. Desde allí, el aire se canaliza hacia el interior mediante ductos verticales de gran diámetro que se conectan a las galerías subterráneas.

Los ventiladores secundarios se ubican en diferentes niveles subterráneos, normalmente a lo largo de las galerías principales y en las intersecciones que llevan a los frentes de trabajo. Esto asegura que el aire fresco se distribuya uniformemente y llegue a todos los rincones de la mina.

Para la extracción de aire viciado, se instalan ventiladores de retorno que recogen el aire contaminado y lo expulsan a la superficie a través de chimeneas de ventilación.

**e) Monitoreo y control del sistema de ventilación**

El sistema de ventilación de la Unidad Minera Yanauquihua está controlado mediante un sistema de monitoreo en tiempo real que permite ajustar los caudales y flujos según las necesidades operativas. Se utilizan sensores de calidad del aire que detectan niveles de gases peligrosos como monóxido de



carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros contaminantes, así como variaciones en la temperatura y humedad. Esta tecnología garantiza una rápida respuesta a cualquier anomalía, manteniendo un entorno seguro para los trabajadores.

El diseño y la eficiencia del sistema de ventilación son clave para asegurar la operación continua y segura de la mina, minimizando riesgos relacionados con la acumulación de gases tóxicos o la falta de oxígeno en las zonas de trabajo.

### **3.2.9 Limpieza**

En las galerías y Tajeos la limpieza se realiza llevando la carga desde el frente de trabajo hacia el echadero de desmonte hacia la superficie, la limpieza de los subniveles y tajos se realiza por medio de winches eléctricos, donde el desmonte o mineral es arrojado hacia un echadero (tolvas americanas) o cámara de carguío para posteriormente ser extraído mediante locomotoras.

El traslado de mineral hacia la cancha se realiza con equipo locomotora CLAYTON de 5.5 ton.

### **3.2.10 Sostenimiento**

Los sostenimientos en las labores donde requiere, se realizan con madera, el armado de cuadros (completo o cojo) o simplemente colocando puntales de seguridad en algunas labores.

El armado de cuadros generalmente tiene una distancia entre postes de 1.0 a 1.5 m depende del tipo de terreno. Para el realce en los tajos se utilizan barreras de madera (enrejados) y se rellenan con material estéril.





FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 20 — Sostenimiento con cuadros de madera**



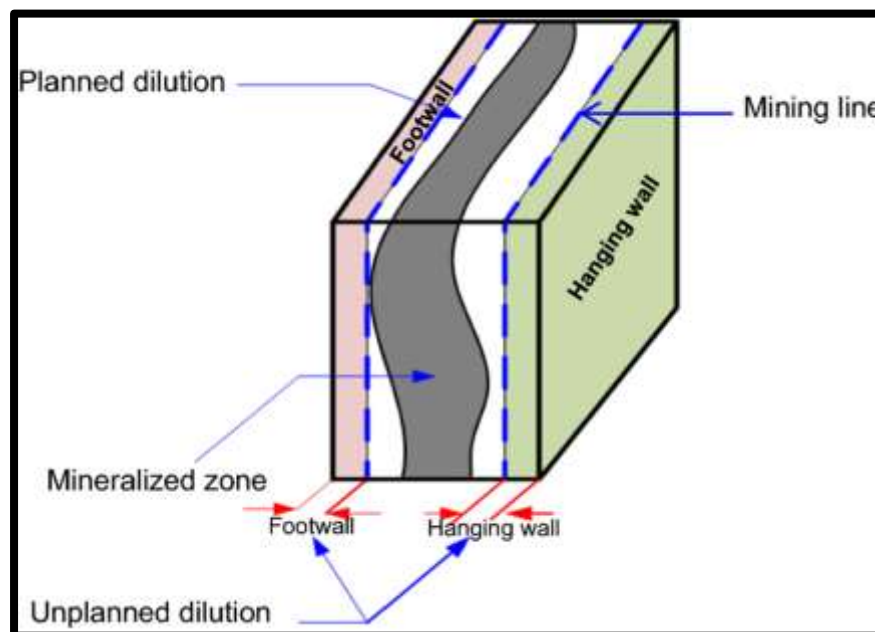
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 21 — Sostenimiento con puntales**

### 3.3 Marco teórico

#### 3.3.1 Dilución del mineral

La dilución ocurre cuando el mineral se mezcla con material estéril, lo que puede llevar a procesar material que no tiene el valor económico esperado o a desecharlo como desperdicio, causando pérdidas en la explotación de las reservas. Este fenómeno reduce la calidad del mineral extraído, afectando tanto la cantidad recuperada como su pureza.

La dilución de mineral en minería subterránea es un fenómeno indeseado que ocurre durante la extracción del mineral en los tajos, donde el material estéril o de baja ley se mezcla con el mineral valioso. Esta dilución puede afectar significativamente tanto la calidad del producto final como la rentabilidad de la operación minera. Además, no solo disminuye la pureza del mineral, sino que también aumenta los costos, ya que procesar una tonelada de material estéril resulta más caro que procesar una tonelada de mineral (Soldado, 2009).



FUENTE: (Abdellaw et al., 2020)

**Figura 22 — Dilución del mineral**

#### 3.3.2 Dilución en tajos

Para, Abdellaw et al. (2020), la dilución del mineral en tajos se refiere a la reducción en las leyes, debido a la cantidad de material que se encuentra por debajo de la ley mínima de corte o de estéril que se combina con el mineral de



valor económico, esta dilución ha sido una preocupación para los profesionales en minería, para optimizar estos efectos, para poder aumentar sus utilidades y reducir los costos.

### 3.3.3 Variables en la dilución del mineral

Para James y Peter (2017), en la dilución del mineral existen variables que intervienen durante la explotación de vetas angostas estos incluyen:

- **Geometría de la veta:** La anchura, inclinación y continuidad de la veta influyen en la cantidad de material estéril que se extrae junto con el mineral.
- **Precisión en la perforación y voladura:** La exactitud con la que se realizan estas operaciones afecta directamente la cantidad de roca no mineralizada que se mezcla con el mineral.
- **Método de explotación:** La elección del método de minería, como el corte y relleno, corte con retroexcavadora, u otros, puede influir en la cantidad de dilución.
- **Competencia de la roca envolvente:** La estabilidad de las rocas que rodean la veta puede afectar la cantidad de material que cae y se mezcla con el mineral.
- **Tamaño de la cámara de extracción:** Un tamaño de cámara inadecuado puede resultar en una mayor incorporación de roca estéril.
- **Control operacional:** La supervisión y control durante las operaciones de minería, incluida la extracción y manejo de materiales, pueden minimizar o aumentar la dilución.
- **Selección del equipo:** La capacidad y precisión del equipo utilizado para la extracción pueden influir en la proporción de material estéril.
- **Tolerancia de sobrecorte:** Los márgenes de seguridad aplicados durante la voladura pueden resultar en la extracción de material fuera de los límites deseados.
- **Condiciones geotécnicas:** La estabilidad del terreno y la presencia de fracturas o fallas pueden impactar la cantidad de material no deseado que se mezcla con el mineral.



- **Diseño del tajo o cámara:** Un diseño inadecuado del tajo o cámara de extracción puede aumentar la cantidad de material estéril que se mezcla con el mineral.

### 3.3.4 Factores de dilución del mineral

Según Hinostroza y Yabar (2023), se tienen dos factores causantes de la dilución:

#### 3.3.4.1 Factores técnicos

- La Ancho mínimo de minado
- Falla de paralelismo de la perforación
- Contaminación con relleno
- Perdida de finos en tajeos
- Perdida de finos por manipuleo
- Tipo de técnica utilizada: Métodos como el corte y relleno o el minado por cámaras y pilares pueden tener diferentes niveles de dilución dependiendo de cómo se implementen.
- Control en la voladura: La precisión en la perforación y voladura es crucial. Explosiones mal controladas pueden introducir grandes cantidades de roca estéril al mineral.
- Tamaño de la malla de perforación: Una malla inadecuada puede provocar voladuras que generen más dilución.

#### 3.3.4.2 Factores humanos

- El Falta de comunicación
- Capacitación y retroalimentación
- Capacitación del personal: Los errores operativos, como el manejo inadecuado de la maquinaria de carga, pueden llevar a la extracción de material no deseado.
- Uso y estado del equipo: El equipo en mal estado o mal ajustado puede contribuir a una mayor dilución debido a una menor precisión en la extracción.

### 3.3.5 Procesos de control de dilución

Cuando se lleva a cabo una explotación en un tajo, primeramente, se debe tener presente un proceso de control para la dilución, cuando se trate de minas de oro se deberá cumplir los procedimientos indicados en los (PETS), con la finalidad

de reducir en lo mínimo este problema (Hinostraza y Yabar, 2023).

### 3.3.6 Consecuencias de la dilución

Las consecuencias de la dilución, se manifiesta en los costos debido a varios factores y consecuencias:

- En la perforación
- En la voladura
- En el acarreo y extracción del mineral
- En el chancado y molienda
- En los reactivos
- En el transporte del material a las plantas y botaderos

#### 3.3.6.1 Fórmulas para calcular la dilución

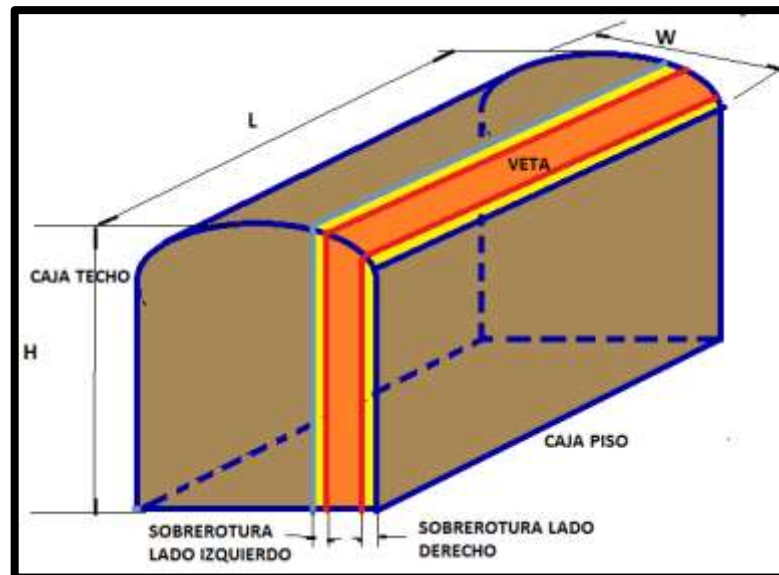
Los cálculos prácticos para determinar la dilución son el ancho promedio del mineral o también podemos mencionar en ancho promedio de la veta (c), el ancho promedio del tajo u labor (a), y la ley promedio de mineral (g) dato obtenido del canal de muestreo (Villena, 2021).

- **Porcentaje de dilución**

$$\% \text{ Dilución} = \frac{(a - c)}{g} \times 100$$

- **Ley diluida**

$$\text{Ley Diluida} = \frac{(g \times c)}{a}$$



FUENTE: (Villena, 2021)

**Figura 23 — Frontón con una veta mineralizada y dilución**

Para Villena (2021), la dilución se calcula en base a los siguientes parámetros:

$$Dilucion = \frac{k}{\frac{w}{2} \times \text{sen } \alpha}$$

Donde:

- k: Constante
- w: Potencia de la veta
- $\alpha$ : Buzamiento de la veta

Por otro lado, para (Villena, 2021), el porcentaje de mineral o dilución se pueden calcular mediante las siguientes fórmulas matemáticas.

- **Porcentaje de dilución del mineral**

$$Dilucion = D(\%) \frac{\text{Estéril (toneladas)}}{\text{Mineral (toneladas)}}$$

- **Porcentaje de dilución del mineral**

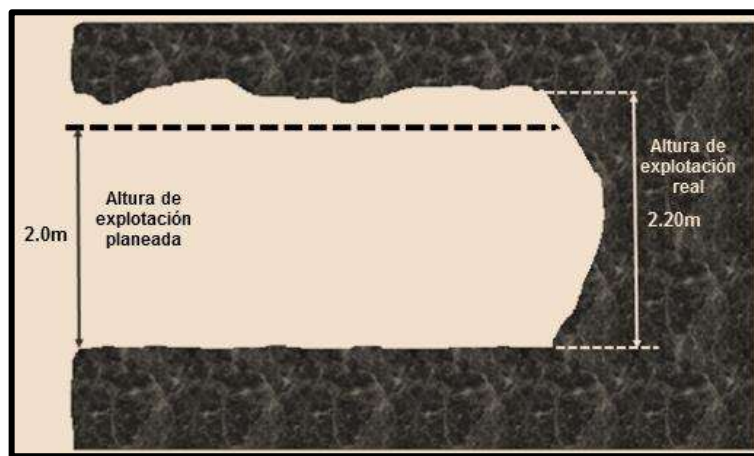
$$Dilucion = Dm(\%) \frac{\text{Estéril (toneladas)}}{\text{Mineral (toneladas) + Estéril (toneladas)}}$$



Asimismo, existen varios postulados de modelos matemáticos para calcular la dilución que se produce en la explotación minera, a continuación, se mencionan los más usados en la explotación de vetas angostas (Villena, 2021).

### 3.3.6.2 Cálculo de la dilución en función de la altura de explotación planeada vs. la altura de la explotación real

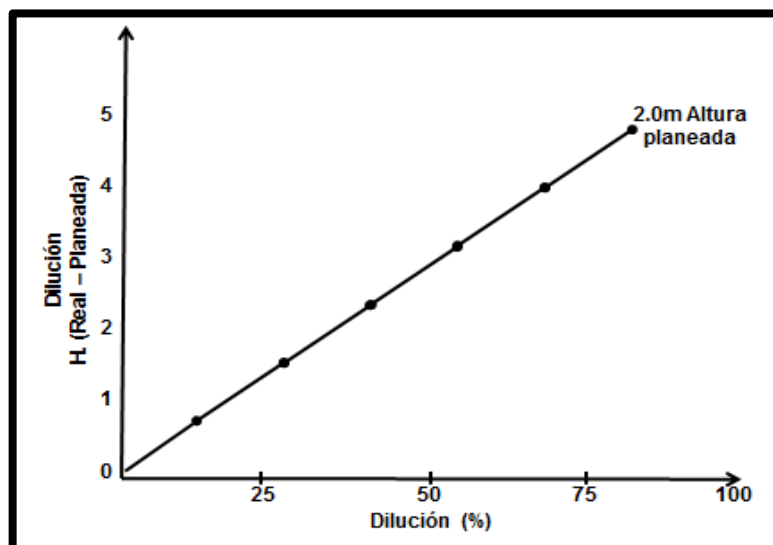
Con las variables que se muestran en la figura 24 se puede calcular la dilución, mediante la relación a seguir.



FUENTE: (Villena, 2021)

**Figura 24** — Altura de explotación planeada y real

$$\text{Dilucion de mineral (\%)} = \frac{\text{Altura real} - \text{Altura planeada}}{\text{Altura planeada}} \times 100$$



FUENTE: (Villena, 2021)

**Figura 25** — Altura de explotación planeada y real

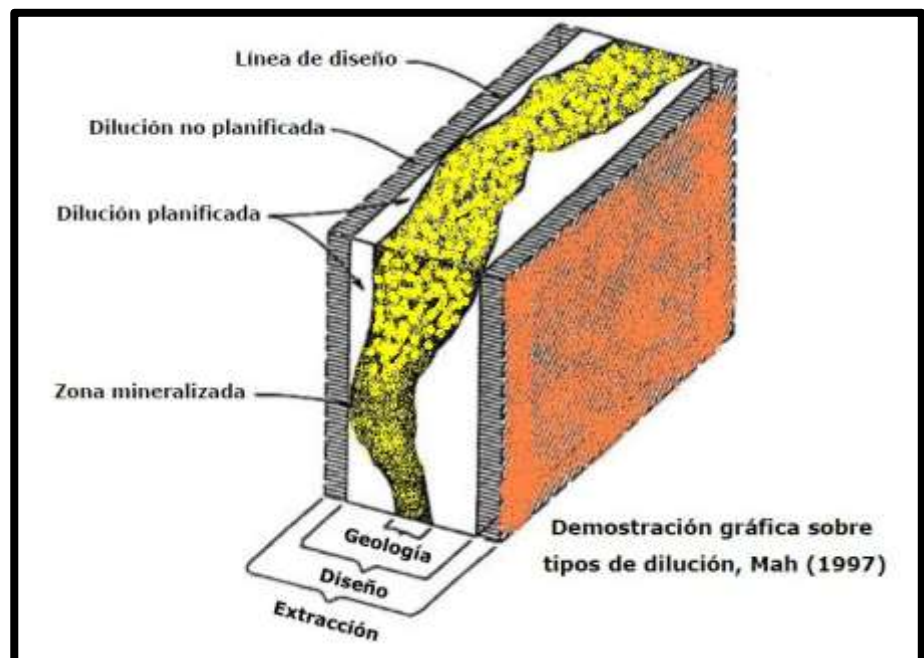
- **Cálculo de % dilución usando la Fórmula de O'hara**

$$(\%) \text{ dilución} = \frac{25}{\sqrt{\text{Ancho de la veta} \times \text{sen}(\text{buzamiento})}}$$

### 3.3.6.3 Tipos de dilución de mineral

En aspecto minero, se tiene varios tipos de dilución, se indica los siguientes (Mah, 1997):

- **Dilución planeada:** La dilución planeada se refiere al material no mineralizado que se incluye dentro de los límites de la zona de extracción y es resultado de factores como la selectividad del método de minería, la continuidad del cuerpo mineralizado en su dirección y pendiente, y la complejidad de la forma geométrica del depósito.
- **La dilución no planeada:** Es el material adicional, con una ley inferior a la mínima requerida, que proviene de la roca o relleno situado fuera de los límites establecidos para la extracción. Por otra parte, el desmonte excedente que posee una ley que está por debajo de la ley de corte, obtenido de la roca o del relleno que se encuentran fuera de los límites del tajeo.



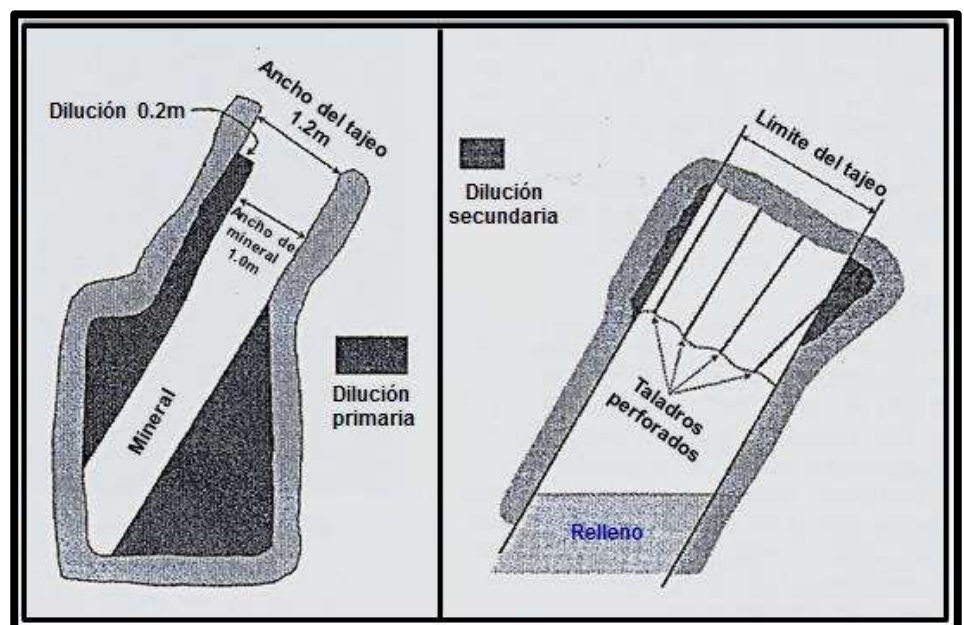
FUENTE: Mah, 1997

**Figura 26 — Conceptos dilución planeada vs. no planeada**

- **Dilución primaria:** Se refiere al material estéril o de baja ley que inevitablemente se extrae junto con el mineral durante el proceso de

minería, debido a la naturaleza del método de extracción utilizado. En vetas angostas, la dilución primaria es comúnmente el resultado de la dificultad para separar el mineral del material estéril en zonas donde la veta es muy delgada o presenta variaciones irregulares. Esta dilución es considerada parte del diseño del tajo y se planifica como parte del proceso de extracción.

- **Dilución secundaria:** Ocurre como resultado de acciones no planificadas o incidentes durante la operación minera, como fallas en el control del tajo, sobre excavación, o derrumbes que introducen material estéril adicional en la mezcla con el mineral. A diferencia de la dilución primaria, la secundaria se considera no deseada y suele estar asociada con errores operacionales o problemas geotécnicos que afectan la calidad del material extraído.



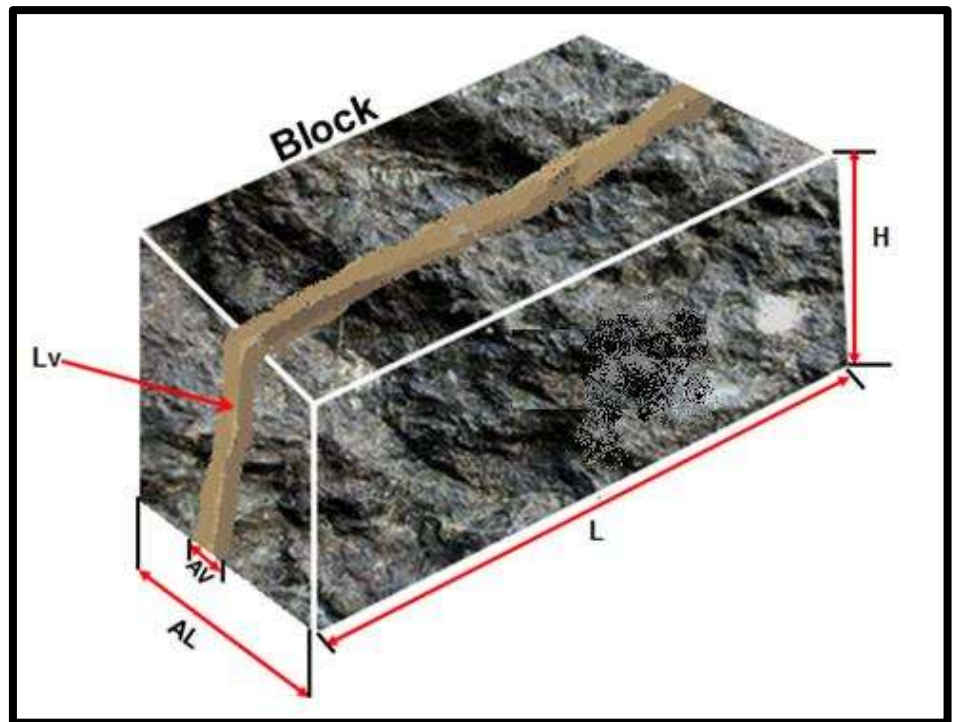
FUENTE: Mah, 1997

Figura 27 — Conceptos dilución planeada vs. no planeada

- **Cálculo de la dilución en función de las dimensiones del block a explotarse.**

La dilución de la referencia, se puede determinar usando las variables que se muestran en la figura siguiente:





FUENTE: Mah, 1997

**Figura 28 — Dilución en función del block**

Donde:

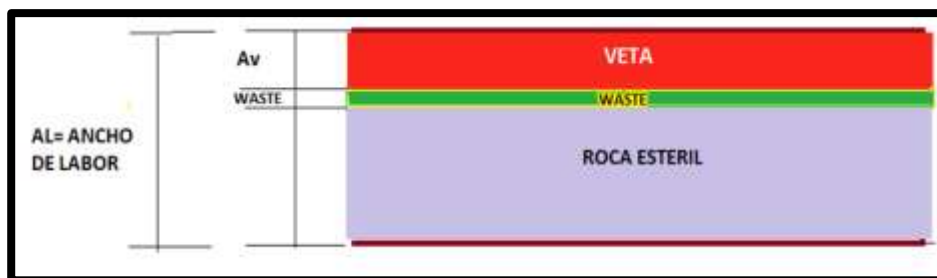
- AV: Ancho de veta (m)
- AL= (W): Ancho de labor (m)
- L: Longitud de bloque (m)
- H: Altura de bloque (m)
- $\rho R$ : Densidad de roca (TM/m<sup>3</sup>)
- $\rho V$ : Densidad de mineral (TM/m<sup>3</sup>)
- Lv: Ley de veta
- LD: Ley diluida del bloque (Gr Au/Tm)

Luego:

- $$\text{Ley diluida} = \frac{\text{Contenido metálico del block}}{\text{Tonelaje total extraído del block mineral} + \text{ton WASTE}}$$

- $$\text{Ley diluida} = \frac{Lv \times Av \times L \times H \times \rho v}{(Av \times L \times H \times \rho V) + (WASTE \times L \times H \times \rho R)}$$

- $$\text{Ley diluida} = \frac{Lv \times Av \times \rho v}{Av \times \rho V + WASTE \times \rho R}$$



FUENTE: Mah, 1997

**Figura 29 — Ancho de veta y waste (contaminación del mineral con desmonte)**

**Datos de la veta María**

- W (m) Ancho de labor: 0.90 m
- $\rho V$  Densidad de veta: 2.8 TM/m<sup>3</sup>
- $\rho R$  Densidad de roca: 2.4 TM/m<sup>3</sup>

- $$\frac{\text{Ley diluida}}{L_v} = \frac{A_v \times \rho_v}{(A_v \rho_v + \rho_R \text{WASTE})}$$
- $$\% \text{ Dilución} = \left( 1 - \frac{A_v \times \rho_v}{(A_v \rho_v + \rho_R \text{WASTE})} \right)$$
- $$\% \text{ Dilución} = \left( 1 - \frac{2.7 A_v}{((2.7 A_v + 2.5 \text{ WASTE}))} \right)$$

En la tabla 3 y en la figura 30 se muestra el comportamiento de la dilución respecto al “WASTE”, para distintos valores de ancho de veta Av. Para la veta María de Empresa Minera Sol de los Andes.

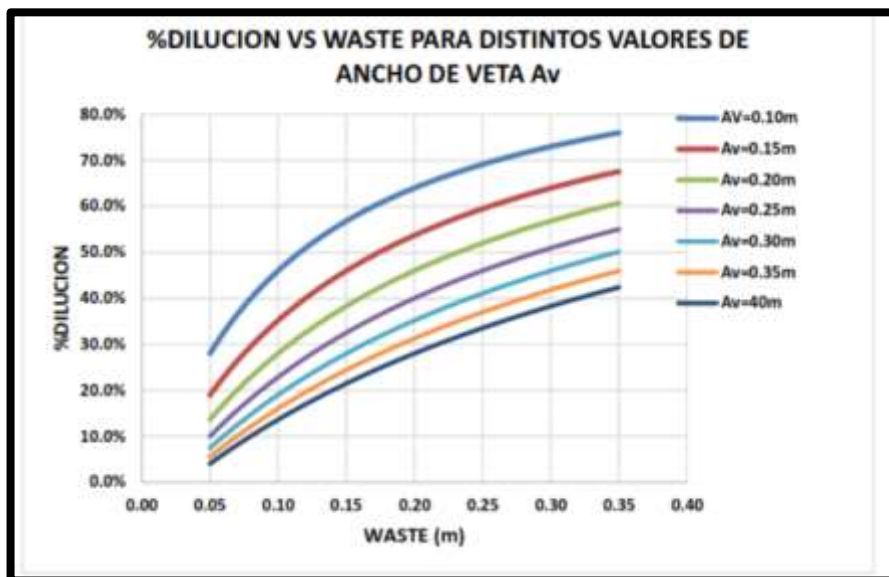
El término “WASTE” (fig. 29) se refiere a la porción de estéril que se extrae conjuntamente con la veta durante el minado selectivo.

**Tabla 4 — Cálculos de dilución vs “WASTE” para distintos valores de ancho de veta**

Dilución	Ancho Diluido (m)	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50
	Waste (m)	0.00	0.05	0.15	0.25	0.35
	% Dilución	0%	6%	17%	28%	39%
<b>Mineral procesado</b>	<b>T/Block</b>	336	336	336	336	336
<b>Mineral</b>	<b>T/Block</b>	336	317	287	263	242
<b>Desmonte</b>	<b>T/Block</b>	0	19	49	74	94

FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024





FUENTE: Mah, 1997

**Figura 30** — Comportamiento de la dilución respecto al “WASTE”, para distintos valores de ancho de veta (Av)

Este enfoque considera que todo el mineral de la veta es mezclado con el volumen del waste para su extracción, y la dilución es una función creciente continua. La situación se vuelve crítica (mayor dilución) cuando el ancho de veta o la potencia disminuye, ver figura 30.



FUENTE: Mah, 1997

**Figura 31** — % dilución vs ancho de veta para distintos valores de WASTES

En la figura 31, se puede observar que la dilución es inversamente proporcional al ancho de veta; Operativamente significa que la meta es tener WASTE cero. Para una mayor recuperación del mineral por circado con mínima dilución.

#### **3.3.6.4 Factores y mecanismos condicionantes de la dilución**

Muchos autores han realizado un seguimiento de antecedentes y a través de modelos aplicados a diferentes casos de la dilución, como lo señalaron Alipov y Adoko (2020), llegaron a la conclusión de que la cantidad de dilución observada en las excavaciones depende de factores clave, como la geometría de la excavación, la orientación de los esfuerzos principales y la calidad del macizo rocoso.

En cuanto a la altura de la cámara, se ha identificado que un aumento en la distancia de perforación está relacionado con una mayor desviación de los tiros de producción y con la estabilidad del macizo rocoso, lo que incrementa la altura y, por ende, la exposición máxima.

Respecto al ángulo de inclinación de la pared colgante, se ha observado que una mayor inclinación resulta en un incremento de la dilución durante la excavación, debido a la presencia de esfuerzos verticales que actúan sobre el macizo circundante y aumentan la altura real de la pared.

Finalmente, la secuencia de extracción también es relevante; cuando se realiza una extracción en pendiente positiva o ascendente, las cámaras iniciales suelen estar rodeadas de roca y presentan poca dilución. Sin embargo, a medida que se construyen nuevas cámaras, rodeadas de mineral, la dilución tiende a aumentar (Alipov y Adoko, 2020).

#### **3.3.7 Vetas angostas**

Las vetas angostas se refieren a formaciones geológicas en las que el mineral de preferencia en oro está presente en capas delgadas de mineral, normalmente en la roca matriz. Estas vetas suelen estar formadas por cuarzo u otros minerales en los que el oro se ha depositado a lo largo del tiempo debido a procesos geológicos como la actividad hidrotermal (Arteaga, 2021).

A diferencia de los depósitos de oro de gran volumen, las vetas angostas suelen ser más difíciles de explotar debido a su reducido tamaño y dispersión, lo que requiere métodos de minería más precisos. Aunque pueden contener concentraciones altas de oro, su extracción puede ser menos rentable dependiendo de su profundidad y acceso.



FUENTE: Paisminero, 2023

**Figura 32 — Labores de vetas angostas**

### **3.3.8 Elección del método de explotación para vetas angostas**

Según el trabajo de investigación presentado por (Villena, 2021), en la explotación de vetas angostas, especialmente en minería de oro, se realiza principalmente a través de minería subterránea. Es crucial seleccionar un método de explotación que se adapte adecuadamente a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. Es importante destacar que el macizo rocoso es el factor dominante, y los profesionales deben ajustarse a trabajar con él tal como se presenta en su forma y origen natural.

Además, las características y la ley del mineral en la explotación de vetas angostas son altamente variables y pueden cambiar rápidamente de un tramo a otro. Por esta razón, es esencial que el profesional se adapte a estas variaciones y esté dispuesto a cambiar, combinar o modificar las técnicas operacionales que esté utilizando, ya que, de lo contrario, estas técnicas pueden volverse no adecuadas en el proceso de explotación.

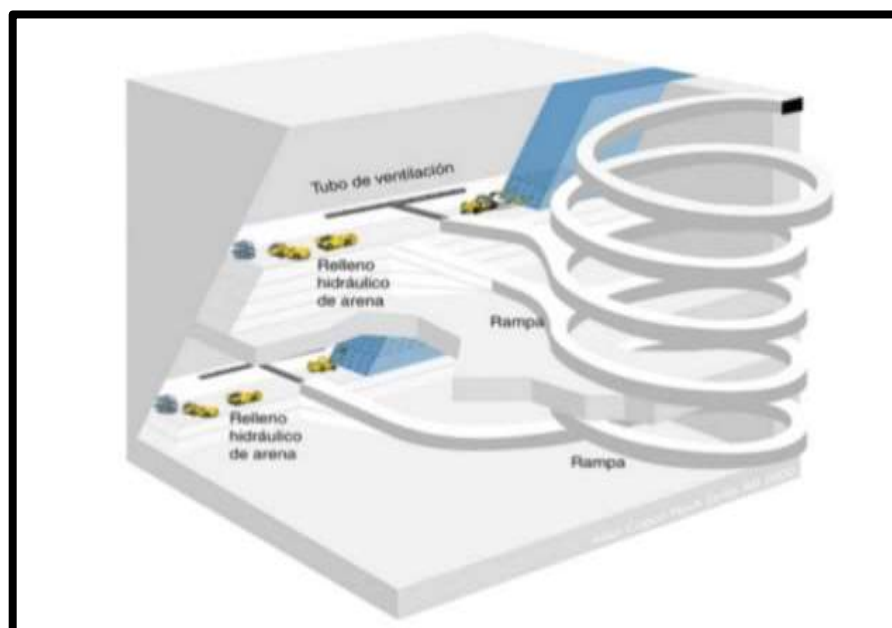


Es importante recordar que el término "mineral" tiene una connotación económica. Se refiere a la asociación de minerales de valor económico que pueden ser extraídos para convertirlos en productos rentables en el mercado, generando utilidades económicas aceptables.

### 3.3.8.1 Clasificación de métodos de explotación para vetas angostas

Los métodos de explotación más usados a nivel mundial, son los siguientes (Villena, 2021):

- Corte y relleno ascendente con taladros cortos.
- Corte y relleno con taladros largos.
- Cámaras y pilares: Para depósitos mineralizados con buzamientos moderados y condiciones del macizo rocoso competente.
- Block caving LHD: Para cuerpos mineralizados masivos.
- Block caving SLUSHER: La selección del mineral es limitada, requiere de extenso desarrollo.
- Sublevel stoping: Para cuerpos mineralizados con buzamientos moderados, condiciones de roca competente y generalmente para regulares con límites de mineral – desmonte.
- Metodo de corte y relleno ascendente convencional (circado), para vetas angostas.



FUENTE: Villena, 2021

**Figura 33 — Método de explotación de corte y relleno ascendente**

### 3.3.8.2 Condiciones a tener en cuenta para el método de explotación adecuado

Las condiciones más importantes que se debe tener en cuenta para la explotación (Mah, 1997) son:

- Forma del depósito mineralizado
- Dimensiones del cuerpo mineralizado
- Ubicación del cuerpo mineralizado
- Características físico mecánicas del mineral y el desmonte.
- Valores metálicos y su distribución en el cuerpo mineralizado, entre otras.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

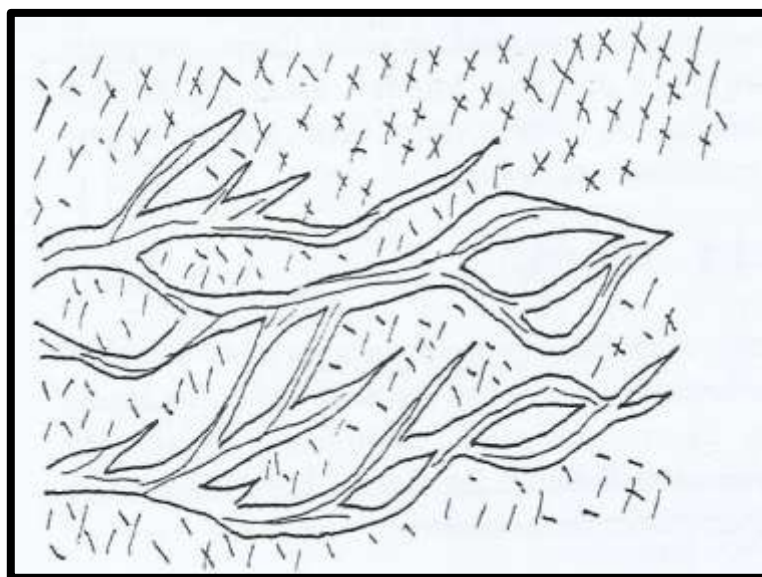
**Figura 34 — Explotación de vetas angostas**

### 3.3.8.3 Criterios para la selección del método de explotación en vetas angostas

La información presentada para la selección de la explotación de vetas angostas se debe tener en cuenta los siguientes criterios (Mah, 1997).

- Geometría del cuerpo mineralizado: Incluye aspectos como la profundidad, forma, espesor y buzamiento del yacimiento.
- Calidad de la roca: Se refiere tanto a la calidad de la zona mineralizada como del material estéril, considerando su estructura, resistencia y estabilidad.
- Variabilidad del mineral: Se enfoca en la uniformidad de los cuerpos mineralizados, la continuidad de estos y la distribución de las leyes del mineral.
- Economía: Abarca factores como la recuperación del mineral, su valor, pérdidas durante la extracción, productividad, selección de

equipos, capital disponible, costos operacionales y consideraciones de seguridad.



FUENTE: Mah, 1997

**Figura 35 — Vetillas mineralizadas con geometrías irregulares**

### 3.3.9 Métodos de explotación por circado

#### 3.3.9.1 Explotación por circado

El método de explotación por circado es una técnica selectiva de minería subterránea, diseñada para extraer minerales valiosos en vetas angostas. Este método implica la perforación y voladura controlada de la roca, lo que permite una extracción precisa y segura del mineral. En este proceso, se extrae tanto la roca situada debajo de la caja piso como la que se encuentra en los lados adyacentes, según la ubicación de la veta. Es una técnica especialmente útil en yacimientos que requieren una alta selectividad para reducir la dilución del mineral y optimizar su recuperación (MINEN, 2012).

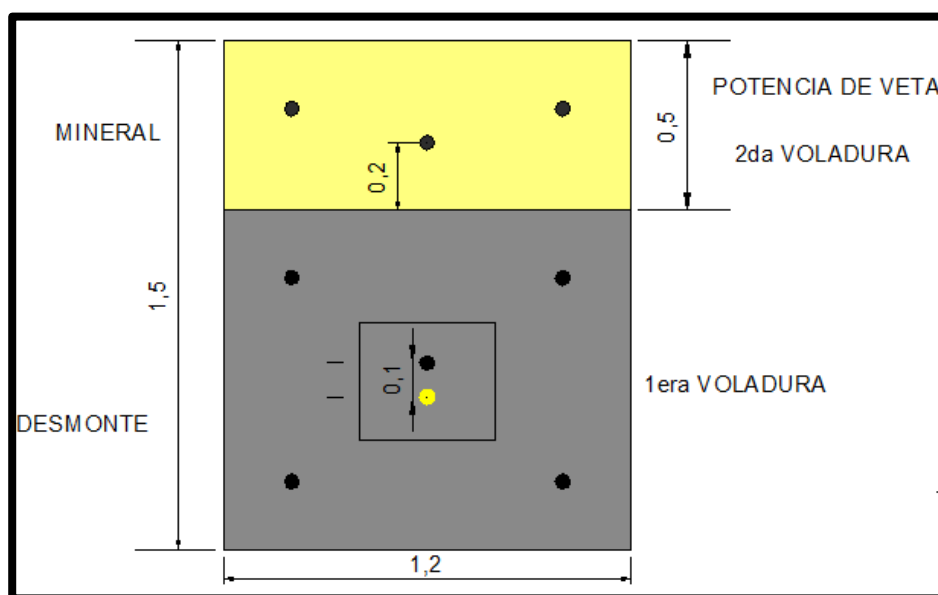
El método del circado es una técnica utilizada en minería subterránea que implica la creación de espacios controlados alrededor de los tajos para evitar el derrumbe del material estéril en la zona de extracción de mineral, este método "consiste en el empleo de explosivos y equipos de perforación para delinear de manera precisa el contorno de la veta mineral, este criterio se basa que el circado se usa principalmente para

preservar la calidad del mineral y evitar la mezcla con material no deseado (Ribera et al., 2017).

### 3.3.9.2 Explotación de vetas por circado

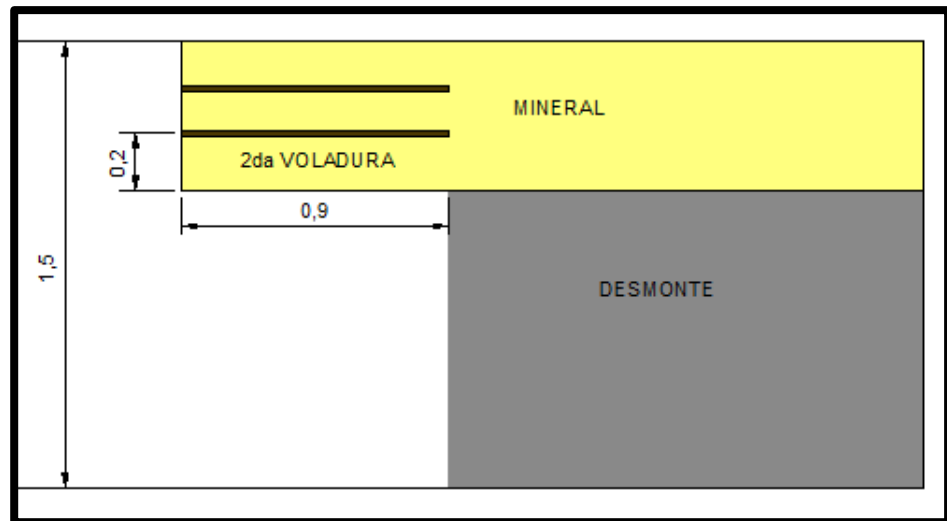
Este método se aplica cuando la veta es muy estrecha y se explota de manera selectiva, realizando una primera voladura para remover el material estéril o desmonte, seguida de una segunda voladura para extraer la veta o mineral. Es comúnmente utilizado en vetas muy delgadas y de alta ley. Este enfoque permite obtener un mineral más limpio o menos contaminado (menos diluido) en comparación con realizar una sola voladura que incluya tanto el mineral como el desmonte.

Por lo general, la veta se lleva hacia el techo de la labor, lo que facilita su recuperación; sin embargo, en algunos casos, también puede dirigirse hacia el piso, dependiendo de la configuración de las cajas piso y techo donde se encuentra la veta (Falen, 2016).



FUENTE: Falen, 2016

**Figura 36 — Método de circado vista frontal**



FUENTE: Falen, 2016

**Figura 37 — Método de circado, vista lateral**

### 3.3.9.3 Explotación “Open Cut and Fill”/ corte y relleno – circado

La técnica de explotación de corte y relleno ascendente selectivo (circado) está especialmente diseñada para vetas angostas y de alta ley, comúnmente utilizada en vetas de oro, como ocurre en la Unidad Minera Sol de los Andes S.A.C. Este método se basa en realizar labores preparatorias, que incluyen la delimitación de las cámaras (tajos) y la estructura del minado antes de iniciar la extracción.

### 3.3.9.4 Impacto del método del circado en la dilución del mineral

La dilución del mineral es un problema común en la minería subterránea. Por otro lado, "la dilución de mineral ocurre cuando material estéril o de baja ley se mezcla con el mineral durante el proceso de extracción" (Perez, 2018). En este sentido, el método del circado reduce la dilución al minimizar la mezcla de materiales no deseados producto de la voladura, al circar las paredes del tajo, se crea una barrera que ayuda a evitar que el material estéril se desplace hacia la zona de extracción, como lo menciona Díaz (2019), quien argumenta que "una reducción en la dilución del mineral puede aumentar la eficiencia de la planta de procesamiento al incrementar el contenido de mineral valioso" (Díaz, 2019).



### **3.3.9.5 Aplicación del método selectivo de circado en vetas angostas**

La aplicación del método del circado en los tajeos es especialmente útil en minas donde las vetas son angostas y la precisión en la extracción es fundamental. Gómez y Contreras (2020) señalan que "en tajeos subterráneos, la técnica del circado permite la extracción controlada del mineral, disminuyendo las pérdidas y reduciendo la dilución" Esta técnica no solo mejora la recuperación del mineral, sino que también puede reducir costos operativos al minimizar el manejo y procesamiento de material estéril (Gomez y Contreras, 2020).

### **3.3.9.6 Beneficios económicos en la reducción de la dilución**

La reducción de la dilución mediante la aplicación del circado tiene importantes implicaciones económicas. Según Torres et al. (2020), "la reducción de la dilución del mineral puede generar un incremento significativo en la rentabilidad del proyecto minero, ya que disminuye los costos de procesamiento y aumenta la ley del mineral que llega a la planta", Además, la menor cantidad de material estéril que se debe gestionar reduce los costos de transporte y almacenamiento, lo que también impacta positivamente en la rentabilidad general de la operación (Torres et al., 2020).

## **3.4 Marco conceptual**

### **3.4.1 Dilución de mineral en tajeos**

La dilución de mineral en tajeos se refiere a la mezcla no deseada de mineral valioso con material estéril (roca sin valor económico) durante las operaciones de extracción en tajos. Este fenómeno ocurre cuando, al realizar la voladura, carguío o transporte, se incorpora material no mineralizado junto con el mineral, lo que afecta la pureza y calidad del material enviado a la planta de procesamiento, esta dilución puede ser causada por varios factores, como la geometría del yacimiento, las características de la roca, la precisión en la definición de los límites de extracción, el manejo de los equipos y la experiencia de los operadores. El impacto de la dilución es significativo, ya que reduce la ley del mineral extraído, disminuye los ingresos potenciales y aumenta los costos operativos debido a la necesidad de



procesar mayor cantidad de material estéril, afectando negativamente la rentabilidad de la operación minera (Soldado, 2009).

### **3.4.2 Dilución planificada**

La dilución planificada se refiere al porcentaje de material estéril que se espera incluir en la extracción del mineral durante el diseño y planificación de la mina. Esta dilución es intencional y se calcula con el objetivo de optimizar el rendimiento y la recuperación del mineral, considerando factores como la geometría del cuerpo mineralizado y las características del depósito. La dilución planificada es un componente clave en la evaluación económica de un proyecto minero, ya que afecta directamente la cantidad de mineral recuperable y su ley media (Smith, 2015).

### **3.4.3 Dilución operacional**

Por otro lado, la dilución operacional es la dilución que se produce durante las operaciones mineras reales y que generalmente no fue prevista o controlada en la planificación inicial. Esta dilución puede ocurrir debido a imprecisiones en la voladura, errores en la identificación del contacto entre el mineral y el estéril, o problemas en la selectividad del equipo de carguío. A diferencia de la dilución planificada, la dilución operacional representa una pérdida no anticipada que afecta negativamente la eficiencia de la operación y los costos de producción (James y Peter, 2017).

### **3.4.4 Malla de perforación y voladura controlada**

La malla perforación y voladura controlada son variables que afectan significativamente la dilución en vetas angostas. La malla perforación se refiere a los errores en la ubicación de los barrenos, lo que resulta en una perforación fuera de los límites previstos del cuerpo mineralizado. Este desvío provoca la inclusión de material estéril durante la voladura, incrementando la dilución no deseada. Por su parte, la voladura controlada se refiere a las técnicas utilizadas para minimizar la rotura no deseada de roca fuera del área de interés. Una voladura controlada efectiva puede reducir la dilución operacional al limitar la fracturación de material estéril adyacente al mineral (Stace y Long, 2018).

### **3.4.5 Clasificación geomecánica**

La Clasificación geomecánica es una variable crítica en la planificación y operación de minas en vetas angostas. Se refiere a la evaluación y categorización de la calidad de la roca y su comportamiento bajo condiciones mineras, utilizando sistemas como el RMR (Rock Mass Rating) o el Q-system. Esta clasificación permite predecir la estabilidad de la roca y su respuesta a las operaciones mineras, influenciando decisiones sobre soporte, diseño de la mina y métodos de extracción. Una correcta clasificación geomecánica es fundamental para minimizar la dilución, ya que facilita el diseño de técnicas de extracción y soporte que mantienen la integridad del cuerpo mineralizado y reducen la inclusión de material estéril (Barton, 1994).

### **3.4.6 Circado**

El circado en minería se refiere a la práctica de delinear y definir con precisión el contorno del tajo o área de extracción mediante perforación y voladura controlada. Este proceso se utiliza para prevenir el colapso de material estéril en la zona de trabajo. Según Rivera et al. (2017), "el circado permite limitar el área de extracción a las dimensiones exactas del tajo, asegurando que solo el mineral valioso sea recuperado, esta técnica es crucial para evitar la contaminación del mineral con roca estéril o de baja ley.

### **3.4.7 Tajeos**

Los tajeos son áreas delimitadas en una mina subterránea donde se realiza la extracción del mineral. Según Pérez (2018), "el tajeo es una unidad básica de explotación en minería subterránea, la cual puede variar en tamaño y forma según las características geológicas de la mina". Los tajeos pueden ser diseñados para maximizar la recuperación del mineral y minimizar la dilución, y la correcta aplicación de métodos como el circado es esencial para alcanzar estos objetivos (Perez, 2018).

### **3.4.8 Dilución del mineral**

La dilución se refiere al proceso mediante el cual el material estéril o de baja ley se mezcla con el mineral valioso durante la extracción, disminuyendo la ley del mineral que llega a la planta de procesamiento. Díaz (2019) define la dilución como "la contaminación del mineral valioso con roca estéril o material de baja



ley, lo que reduce la calidad del mineral extraído y aumenta los costos operativos". La dilución es uno de los problemas más significativos en la minería subterránea, y su control es esencial para optimizar las operaciones.

#### **3.4.9 Método de circado**

El método del circado es una técnica de explotación minera utilizada para reducir la dilución de mineral, especialmente en tajeos subterráneos. Consiste en el uso de perforaciones precisas y explosivos para delinear el contorno del tajo, separando el mineral del material estéril. Gómez y Contreras (2020) afirman que "el método del circado es una estrategia clave para reducir la entrada de roca estéril en el tajo y maximizar la recuperación del mineral valioso". Este método es particularmente útil en minas con vetas angostas o complejas (Gomez y Contreras, 2020).

#### **3.4.10 Perforación controlada**

La perforación controlada es una técnica empleada en la minería para crear perforaciones precisas en el contorno del tajo antes de la voladura. Estas perforaciones tienen como objetivo minimizar el daño a la roca adyacente y evitar la mezcla de materiales estériles con el mineral. Por otra parte, señalan que "la perforación controlada es esencial para la correcta aplicación del circado, ya que permite delimitar con precisión las áreas de extracción", esta técnica es fundamental para garantizar la eficiencia y la seguridad en las operaciones mineras (Rodriguez et al., 2022).

#### **3.4.11 Recuperación del mineral**

La recuperación del mineral se refiere al porcentaje de mineral valioso que se extrae y se procesa efectivamente en comparación con el total presente en el yacimiento. Torres et al. (2020) mencionan que "una mayor recuperación del mineral es el resultado directo de una mejor planificación y ejecución de las técnicas de extracción, como el circado", la aplicación de esta técnica reduce la dilución, como el circado, puede incrementar la eficiencia de la recuperación (Torres et al., 2020).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

La presente investigación es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, ya que se enfoca en resolver un problema práctico específico en la operación minera de la Compañía Minera Sol de los Andes, a través de la implementación del método del circado. La finalidad es generar conocimientos que se traduzcan en mejoras operativas y económicas en el contexto real de la minería, contribuyendo al desarrollo de técnicas efectivas que reduzcan la dilución de mineral. (Fernández et al., 2014).

El nivel de investigación es explicativo, pues busca identificar y comprender las causas que generan la dilución de mineral en los tajeos y cómo la aplicación del método del circado influye en la reducción de este problema. La investigación pretende establecer relaciones de causa y efecto entre la implementación del circado y la disminución de la dilución de mineral, aportando conocimientos específicos que expliquen el fenómeno en estudio (Arias, 2006).

#### **4.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es cuasi-experimental, dado que se implementará el método del circado en un entorno controlado dentro de la operación minera para observar sus efectos sobre la dilución de mineral. Se realizará una comparación entre los niveles de dilución antes y después de la aplicación del método, evaluando el impacto directo del circado en las variables dependientes. Aunque no se manipularán todas las variables externas, se controlarán aquellas que puedan influir significativamente en los resultados.

#### **4.3 Población y muestra**

La población “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (Arias, 2006).



#### 4.3.1 Población

En el presente proyecto se ha considerado la población a la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C., esta población incluye todos los tajeos donde se aplicará el método del circado como aquellos que seguirán operando bajo los métodos tradicionales, permitiendo así una evaluación comparativa del impacto del circado.

#### 4.3.2 Muestra

La muestra para el presente trabajo es la aplicación del método del circado en los tajeos para reducir la dilución. Estos tajeos serán elegidos en función de su importancia en la operación minera, su acceso, y las características geotécnicas que los hacen adecuados para la implementación del circado. La muestra incluye los Tajeos 600E y 600W de la veta María que comprende los niveles SN 600W y 600E.

### 4.4 Procedimiento para el desarrollo del trabajo

#### a) Toma de datos de campo de la veta María antes de la mejora

- **Recopilación de datos históricos:** Se revisaron todos los registros de dilución de mineral en los tajeos de la mina antes de la implementación del método del circado. Esta etapa incluye la recolección de datos geotécnicos, registros de producción y reportes operativos entre otros.
- **Identificación de tajeos críticos:** Se seleccionará los tajeos que presentan los mayores desafíos en términos de dilución, basándose en los datos históricos y características geológicas. Estos tajeos serán los principales candidatos para la implementación del método del circado.
- 

#### b) Diseño del plan de implementación

- **Planificación del circado:** Se diseñará un plan detallado para la aplicación del método del circado en los tajeos seleccionados. Este plan incluye la delimitación precisa de las zonas de extracción, las técnicas de circado a emplear, y las medidas de control de calidad.
- **Capacitación del personal:** Se llevará a cabo un programa de formación para el personal operativo, enfocándose en la correcta aplicación del método del circado, el uso de herramientas necesarias y la interpretación de los resultados esperados.



### c) Aplicación del método del circado

- **Implementación piloto:** Se realizó una prueba piloto del método del circado en un tajeo seleccionado, para evaluar la viabilidad técnica y operativa del procedimiento. Durante esta fase, se monitoreará cuidadosamente la operación para identificar posibles ajustes o mejoras.
- **Monitoreo y control:** A lo largo de la implementación, se establecerán puntos de control para supervisar la precisión del circado, la estabilidad de las paredes del tajeo y la cantidad de mineral extraído. Se utilizó las herramientas de medición geotécnica y tecnología de modelado 3D para garantizar la exactitud del proceso.

### d) Recolección y análisis de datos

- **Medición de la dilución de mineral:** Se registra el nivel de dilución de mineral después de la aplicación del circado, comparándolo con los datos históricos. Este análisis permitirá evaluar el impacto directo del método sobre la calidad del mineral extraído.
- **Evaluación de la eficiencia operativa:** Se analizó otros indicadores clave, como la tasa de recuperación de mineral, los costos de procesamiento y la estabilidad de los tajeos. Estos datos ayudarán a determinar la efectividad global del circado en la operación minera.

### e) Evaluación de resultados

- **Comparación de resultados:** Se comparó los resultados obtenidos en los tajeos donde se aplicó el método del circado con aquellos donde se siguieron utilizando los métodos tradicionales. Esta comparación permitirá cuantificar el impacto del circado en la reducción de la dilución y en la mejora de la eficiencia operativa.
- **Análisis estadístico:** Se realizaron los análisis estadísticos para validar los resultados obtenidos, asegurando que las diferencias observadas sean significativas y atribuibles a la implementación del circado.

## 4.5 Técnica e instrumentos

### 4.5.1 Técnicas

Las técnicas que se han utilizado en el presente trabajo de investigación se mencionan a continuación:



#### **4.5.1.1 Revisión a investigaciones bibliográficas**

La revisión bibliográfica se realizará por diferentes medios ya sea libros o páginas en red, todos los trabajos relacionados al tema y libros que estén relacionados a la aplicación del método de Circado para reducir la dilución, asimismo se analizó la base de datos de revistas indexadas y artículos científicos publicados respecto al tema.

#### **4.5.1.2 Observación directa**

La observación directa se utilizó para monitorear la implementación del método del circado en los tajeos seleccionados. Esta técnica permitirá evaluar en tiempo real la precisión del circado, la estabilidad de las paredes del tajeo y la cantidad de material estéril extraído. La observación se complementará con registros fotográficos y notas de campo.

#### **4.5.2 Instrumentos**

- Se utilizó cámara digital de alta resolución para capturar imágenes de los tajos donde requiere aplicar el método del circado.
- Se utilizó un ordenador portátil ASUS Core (TM) i7 para procesar los datos recogidos de campo, así como también las informaciones lograda de las referencias bibliográficas y trabajos de tesis.
- Se utilizó equipos para el área geotécnica de los tajos.

#### **4.5.3 Software**

- AutoCAD Civil 3D
- Microsoft Office
- Excel
- Software de geomecánica ROCDATA
- ArcGIS
- MINE PLAN

#### **4.6 Análisis estadístico**

Para procesar los cálculos estadísticos se ha utilizado la estadística descriptiva a partir de datos tomados de la Compañía Minera.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### 5.1.1 Situación actual de la Compañía Minera Sol de los Andes

La compañía Minera Sol de los Andes, viene laborando desde el año 1984, se inicia la producción de oro en óxidos y sulfuros, que incluyen métodos de minado de alta selectividad y procesos metalúrgicos a partir del año 2013. La explotación durante ese periodo se realizó en al menos 15 vetas principales con un laboreo de al menos 30 km. de longitud entre galerías y cruceros, distribuidos en 18 niveles de 40 metros de separación vertical, en este trabajo se centra exclusivamente la veta María TJ 600E y TJ600W correspondiente a los niveles SN 600W y 600E, que posee una mineralización que se presenta en forma de vetas angostas de 0.15 a 1.20 m. de potencia, localmente las estructuras mineralizadas se pueden agrupar en dos sistemas importantes, el principal de rumbo E – W con buzamiento mayor de 80° S y el segundo con rumbo N 45° E con un buzamiento 80 ° SE; siendo el primer sistema de tipo tensional y el segundo de tipo cizalla.

Las vetas tienen afloramientos continuos de 300 m. a 2 km. de largo y alcanzan profundidades de hasta 900 m., y están emplazadas en rocas dioríticas, andesíticas y dacíticas del Complejo Bella Unión.

La mineralización consiste principalmente de cuarzo, pirita, oro; con presencia de calcopirita, cobres grises y algo de galena-esfalerita. El oro se encuentra asociado a pirita y calcopirita y se presenta en partículas finas redondeadas y alargadas de 3 a 800 micras de tamaño.

La mineralización presenta una zona de óxidos desde superficie hasta los 40.0 m. de profundidad, a continuación, una zona mixta de óxidos y sulfuros y una zona de sulfuros primarios en profundidad. Asimismo, existen por lo menos 6 cuerpos de Brechas mineralizas rellenas con cuarzo y óxidos de fierro con valores de Au de alrededor de 1.0 a 2.23 gr/TM.



Antes de aplicar el proceso de mejora de la dilución utilizando en circado, el proceso de extracción es mediante pequeños tramos del corte sin realizar una perforación regular, en muchas ocasiones se avanzaba con perforación casi horizontal, y la dilución muy elevado.

Los cortes se realizaban en tres guardias con 2 personas. El procedimiento de la investigación se desarrolló en dos etapas antes de la aplicación del método de circado y después de la aplicación del método de circado, lo que permitirán evaluar de manera sistemática la aplicación del método del circado en los tajeos de la Compañía Minera Sol de los Andes.

#### 5.1.1.1 Evaluación de la dilución de la veta María

Antes de aplicar el proceso de mejora de la dilución utilizando en circado, el proceso de extracción es mediante pequeños tramos del corte sin realizar una perforación adecuada, en muchas ocasiones se avanzaba con perforación casi horizontal, y la dilución es muy elevado.



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 38 — Dilución de la extracción de la veta María**

En la veta María se tiene dos tajeos el TJ 600E y el TJ 600W, donde la dilución se refleja a partir de la potencia de la veta, el contenido del mineral y la ley diluida, tal como se aprecia en la Tabla 4.

**Tabla 5 — Potencia de la veta María sector TJ 600W**

Pot.	Au_Gr	Ag_Oz	Cu %	Au_equi
0.15	12.76	1.16	0.73	14.18
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024				

El tajo 600 W, tiene una potencia promedio de 0.15 m, con leyes que van desde 12.76 gr. de Au, 1.16 Oz de Ag. y 0.73 % de Cu.

**Tabla 6 — Potencia de la veta María y ley diluida sector TJ 600W antes de la aplicación del método**

TAJO 600 W	
POT (m)	LEY DILUIDA (gr/Tm)
0.90	6.96
0.80	7.41
0.70	7.92
0.60	8.51
0.50	9.19
0.35	
0.30	10.94
0.20	12.09
0.15	12.76
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024	

En la tabla 5 se muestra el ancho diluido de la veta María (0.30m) y Ley Diluida Sector TJ 600W antes de la aplicación del método de circado, la dilución tiene un valor de 17% (Tabla 3), con una ley diluida de 10.94 gr/Tm significa que, en promedio, cada tonelada de material extraído contiene 10.94 gramos de oro.

- **Potencia (veta) de 0.30 metros:**

La potencia es el espesor promedio de la veta o el cuerpo mineralizado que se está extrayendo. En este caso, un espesor de 0.30 metros indica el grosor de la veta de oro en el tajeo. Un espesor mayor generalmente



implica que la veta es lo suficientemente gruesa para justificar la extracción sin tener que recurrir a prácticas de dilución muy extensas. También puede afectar la elección de métodos de extracción y la estabilidad del tajo.

- **Ley diluida de 10.94 g/TM (gramos por tonelada):**

La ley de mineral indica la concentración de oro en el material extraído. La "ley diluida" considera la cantidad de material estéril o de menor ley que se mezcla inevitablemente con el mineral durante la extracción. Una ley diluida de 10.94 gr/TM significa que, en promedio, cada tonelada de material extraído contiene 10.94 gramos de oro una vez que se ha incluido la dilución, que reduce la pureza del mineral extraído, pero refleja la realidad de la extracción.

En consecuencia, estos parámetros ayudan a evaluar el potencial económico del tajeo. Un espesor de 0.90 metros suele ser adecuado, pero una ley diluida baja como 6.97 gr/TM podría implicar que, dependiendo de los costos y de la tecnología de procesamiento, la rentabilidad podría estar comprometida, o que se requeriría optimizar el proceso para reducir la dilución y mejorar la ley final.

Por otro lado, la potencia de veta de 0.15 metros se refiere al espesor del cuerpo mineralizado en el tajeo de la mina. En este caso, 0.15 metros es un espesor delgado, lo cual indica que el cuerpo mineralizado no es muy grande.

En general, una potencia baja puede implicar mayores costos operativos, ya que es más difícil trabajar con cuerpos delgados sin extraer roca estéril (dilución).

La ley diluida de 10.94 gramos de oro por tonelada indica el contenido promedio de oro en el mineral después de considerar la dilución. La dilución ocurre cuando se extrae material estéril junto con el mineral durante el proceso de tajeo.

Una ley diluida de 12.09 gr/TM es una medida relativamente alta para minería de oro, lo que significa que, a pesar de la dilución, el mineral aún tiene un contenido considerable de oro, lo cual es positivo para la viabilidad económica de la operación. La dilución reduce la ley original del cuerpo mineralizado, y por eso es clave mantenerla bajo control.

- **Interpretación conjunta**

Una potencia baja de 0.20 metros combinada con una ley diluida de 12.09 gr/Tm implica que, aunque el espesor de veta es delgado, el mineral tiene una concentración de oro suficientemente alta para justificar su explotación. Sin embargo, la mina debe enfocarse en técnicas de extracción que minimicen la dilución, ya que el volumen de material estéril podría fácilmente superar al mineral, reduciendo la ley y encareciendo el procesamiento.

Este análisis indica que el oro en la mina tiene potencial económico, pero se requerirán métodos de extracción específicos y precisos para optimizar la recuperación del mineral y minimizar la dilución.

**Tabla 7 — Potencia de la veta María sector TJ 600 E**

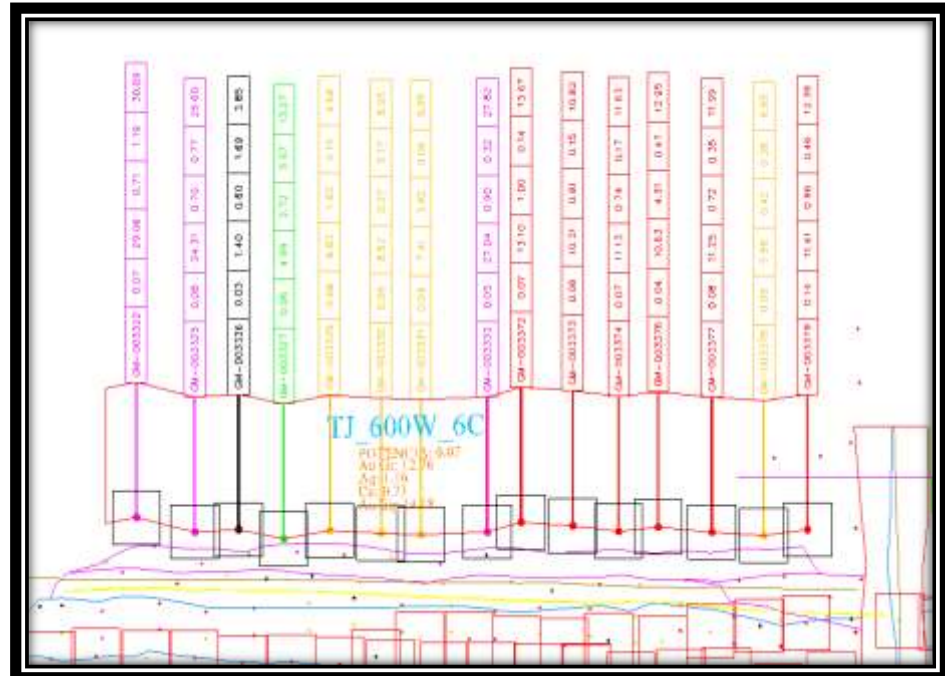
<b>TJ 600 E</b>				
Pot.(m)	Au_Gr	Ag_Oz	Cu %	Au_equivalente
0.15	10.96	0.39	0.25	8.06
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024				

**Tabla 8 — Potencia de la veta María Sector TJ 600E**

<b>TAJO 600 E</b>	
POT (m)	LEY DILUIDA (gr/Tm)
0.90	5.98
0.80	6.36
0.70	6.80
0.60	7.31
0.50	7.89
0.40	8.58

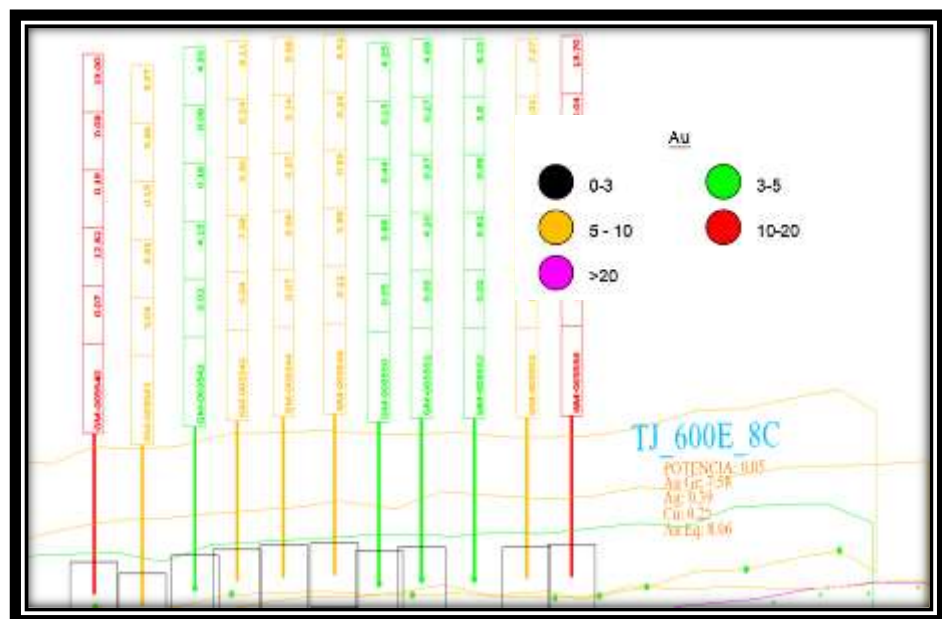


0.30	9.39
0.20	10.38
0.15	10.96
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024	



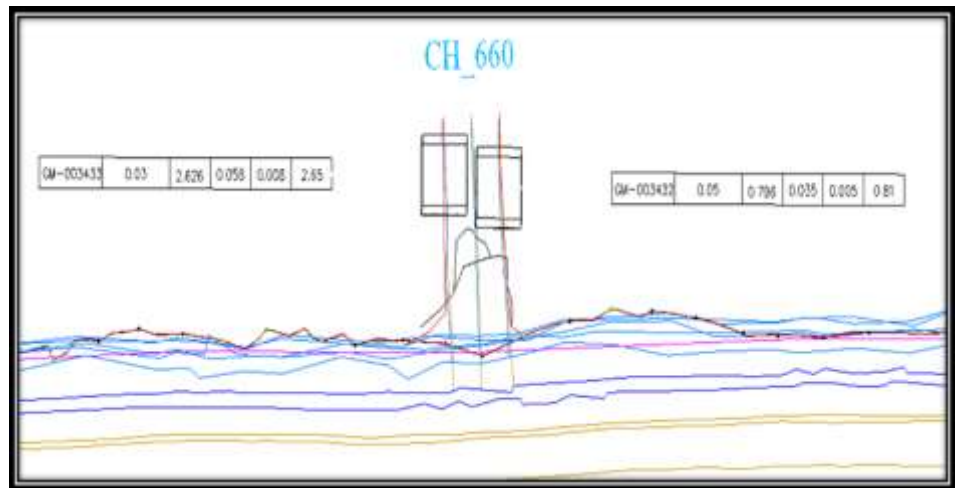
FUENTE: Departamento de geología Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 39** — Modelamiento geológico del TJ 600 W de la veta María



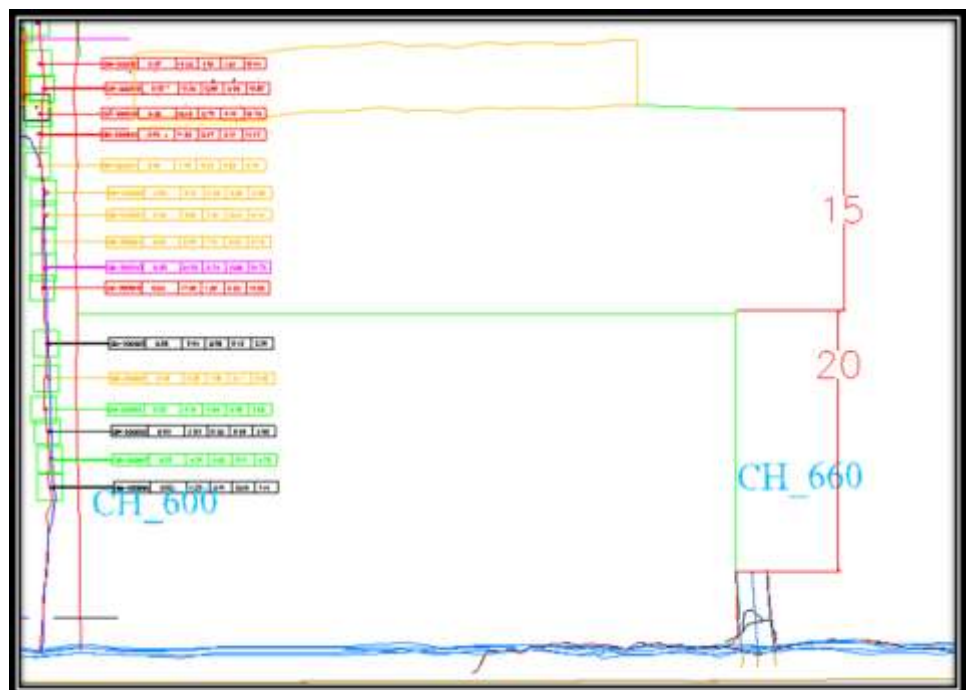
FUENTE: Departamento de geología Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 40** — Modelamiento geológico del TJ 600 E de la veta María



FUENTE: Departamento de geología Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 41 — Modelamiento geológico del CH 660 de la veta María**



FUENTE: Departamento de geología Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 42 — Modelamiento geológico del CH 660 de la veta María**

### Datos de campo de la veta María antes de aplicación del método de circado TJ 600W

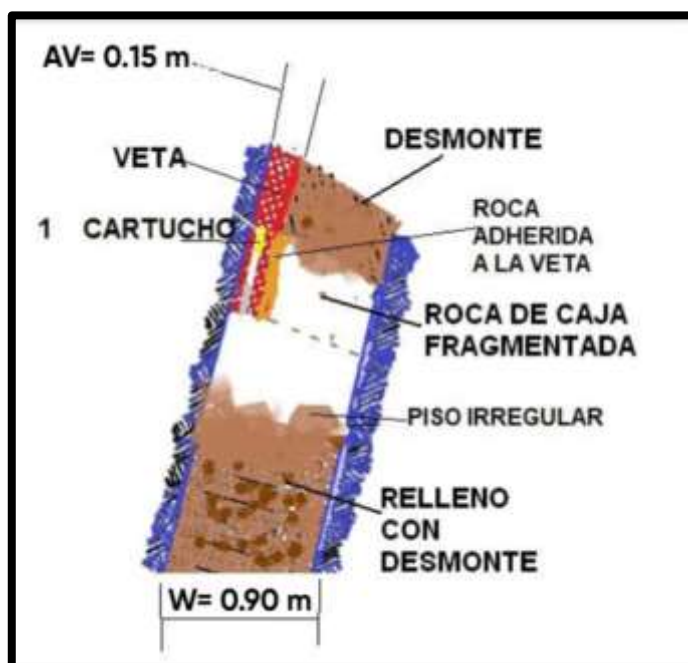
A continuación, se tiene los datos a tener en cuenta antes de la aplicación del método de mejora (circado).



- Labor minera: Tajeo María
- Dimensiones (W= ancho de labor, L= longitud): W x L: 0.90 m x 30.0m
- Ancho de tajeo (At) = 0.60 m
- Longitud del barreno 4 pies
- Altura para perforación: 1.20 m
- Diámetro de los taladros  $\varnothing = 38\text{mm}$
- Densidad de la roca ( $\rho_R$ ):  $2.40 \text{ Tm/m}^3$
- Densidad del mineral ( $\rho_M$ ):  $2.80 \text{ Tm/m}^3$
- Potencia de veta diluida (w) : 0.30 m
- Malla de perforación y voladura para desmonte B x S: 0.20 m x 0.30 m
- Mezcla explosiva comercial: Emulnor 1"x8" (Emulnor 3000 y Emulnor 1000)

**Accesorios de voladura: sistema de iniciación no eléctrico.**

- Detonador no Eléctrico (Fanel LP)
- Cordón detonante (Pentacord)
- Detonador Ensamblado (Carmex)
- Cordón de Ignición (Mecha Rápida)

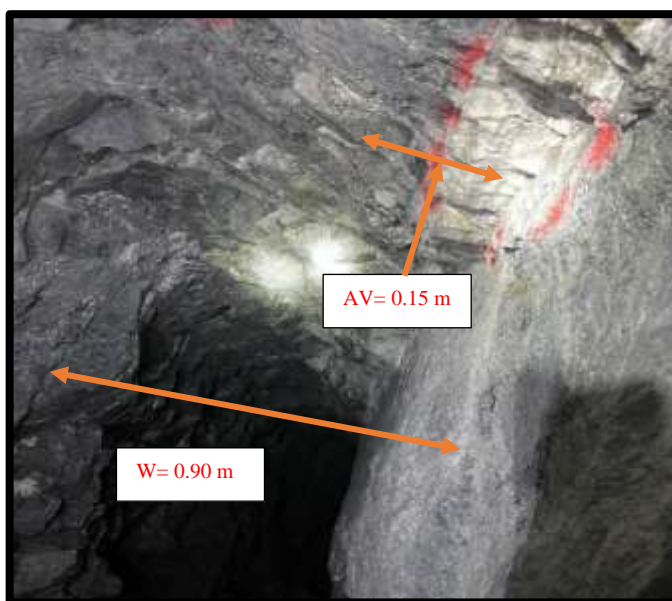


FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

**Figura 43** — Datos de campo antes de mejora (circado) de la veta María

Tabla 9 — Datos de campo de la veta María

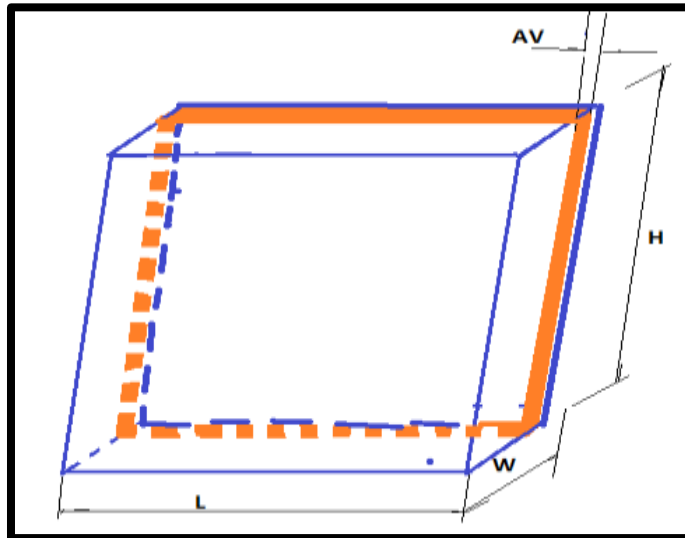
Sector	Ancho de labor (m)	Potencia de veta (m)	Buzamiento (°)
Veta María	0.90	0.15	75
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024			



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 44 — Ancho y buzamiento de la veta María**

- **Cálculos operativos de la veta María**
  - **Procedimiento del diseño de malla de perforación y voladura sin la aplicación del método de circado**  
 Primeramente, para dar solución al problema planteado de la veta María, primero se realizó determinando los cálculos con los datos actuales.

- **Diseño de la veta María**



FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 45 — Diseño del tajo en la veta María: L= 30m, H=20m, W= 0.90m, Av= 0.15m, At= 0.60m, w= 0.30m**

- **Número de taladros**

$$N^{\circ} Tal = \frac{\text{Ancho de tajeo} \times \text{Largo de tajeo}}{B \times S}$$

- **Número de taladros en desmonte por corte:**

$$N^{\circ} Tal = 0.60m \times 30.0m / 0.20m \times 0.30m = 300$$

Por consiguiente, se obtienen 300 taladros/corte en desmonte

- **Número de taladros en veta por corte:**

$$N^{\circ} Tal = (0.30 m \times 30.0m / 0.20m \times 0.30m) - 1 = 149$$

Entonces, se obtienen 149 taladros/ corte en veta

- **Tonelaje fragmentado de desmonte por corte**

$$V = At \times L \times h$$

$$V = 0.60 m \times 30 m \times 1.12 m = 20.16m^3$$

$$TM = V \times \rho R$$

$$TM = 20.16 \frac{m^3}{\text{corte}} \times 2.40 \frac{TM}{m^3} = 48.384 TM_{\text{desmonte/corte}}$$

$$TC \text{ por corte} = 48.384 Tm \times 1.1023 \frac{TC}{TM} = 53.33 TC$$

- **Tonelaje fragmentado de mineral diluido por corte**

$$V = w \times L \times h$$

$$V = 0.30 m \times 30 m \times 1.12 m = 10.08 m^3$$

$$M = V \times \rho M$$



$$TM = 10.08 \frac{m^3}{corte} \times 2.80 \frac{TM}{m^3} = 28.22 TM \text{ ore/corte}$$

$$TC \text{ por corte} = 28.22 TM \times 1.1023 \frac{TC}{TM} = 31.11 TC$$

- **Análisis de costos sin la aplicación del método de circado en tajeos**

En la tabla 9 se establecen los costos de los explosivos y accesorios de voladura que se usan para explotar el tajeo de la veta María por el procedimiento tradicional que se aplica antes de la aplicación del método de circado.

**Tabla 10 — Procedimiento tradicional, costo de explosivos y accesorios de voladura explosivos y accesorios de voladura método tradicional**

<b>A. DESMONTE</b>	<b>Unid</b>	<b>Cant.</b>	<b>P.U. \$</b>	<b>Total \$</b>
Emulnor 1000: 300 taladros x 2 und.	Und	600	0.381	228.6
Emulnor 3000: 300 taladros x 2 und.	Und	600	0.395	237.0
Fanel: 1 unid x 300 tal	Und	300	1.57	471.0
Cordón detonante 3P	Mts	81	0.30	24.30
Mecha rápida	Mts	1.5	0.55	0.83
<b>Sub total</b>				<b>961.73</b>
<b>B. VETA</b>				
Emulnor 1000: 149 taladros x 1 und.	Tal	149	0.381	56.77
Emulnor 3000: 149 taladros x 1 und.	Und	149	0.395	58.86
Fanel: 1 unid x 149 tal	Und	149	1.57	233.93
Cordón detonante 3P	M	51	0.30	15.3
Mecha rápida	M	1.5	0.55	0.83
<b>Sub total</b>				<b>365.69</b>
<b>Mano de obra: cuadrilla de voladura</b>				
Operador (incluye beneficios)	h-h	36	3.00	108.00
Ayudante (incluye beneficios)	h-h	36	2.3	82.80
<b>Sub total</b>				<b>190.80</b>
<b>Costo total de voladura del tajeo</b>				<b>1518.22</b>
Toneladas cortas de mineral				31.11
Toneladas cortas de desmonte				53.33



Hombres guardias por corte				72
TC/HH-gdia total				1.17
TC/HH-gdia mineral				0.43
COSTO US\$ /TC mineral + desmonte				17.98
COSTO US\$ /TC mineral				13.80
FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024				

- **El costo de voladura mineral más desmonte:**  $\frac{1518.22 \$}{84.44 TC} = 17.98$  \$/TC
- **El costo de voladura cargado al mineral:**  $\frac{365.69 \$}{31.11 TC} = 11.75$  \$/TC

- **Productividad en Tm/h-Gdia**

Por tajeo se obtiene 84.44 TC fragmentadas y considerando las 12 horas/guardia, en 3 guardia por corte.

$$= 12 \frac{\text{Horas hombres}}{\text{guardia}} \times 2 \frac{\text{guardias}}{\text{día}} \times 1.5 \frac{\text{días}}{\text{corte}} = 36\text{HH-Corte}$$

Se obtendrá productividad total =  $\frac{84.44}{72} = 1.17$  Tm/HH-Gdia. (mineral + desmonte)

Productividad de mineral =  $\frac{31.11}{72} = 0.43$  Tm/HH-Gdia. (mineral)

- **Cálculo del % dilución**

En el caso convencional encontramos que junto con el mineral para un ancho de veta 0.15 m quedan mezclados con un promedio 0.15 m (datos obtenidos de observación de campo) de desmorte que hacen una dilución promedio de 17.0 % (Tabla 3).





FUENTE: Compañía Minera Sol de los Andes, 2024  
**Figura 46 — Mineral fragmentado sobre el piso del tajeo**

## 5.2 Análisis de los resultados después de la aplicación del método de circado

### 5.2.1 Proceso de datos de campo de la veta María después de la aplicación del método de circado

#### 5.2.1.1 Datos de campo de la veta María

- Labor minera: Tajeo María
- Dimensiones (W= ancho de veta, L= longitud): W x L: 0.90 m x 30.0m
- Longitud del barreno 4 pies
- Altura para perforación: 1.20 m
- Diámetro de los taladros  $\varnothing = 38\text{mm}$
- Densidad de la roca  $\rho_r$ : 2.40 TM/m<sup>3</sup>
- Densidad del mineral  $\rho_m$ : 2.80 TM/m<sup>3</sup>
- Potencia de veta diluida: 0.20 m
- Malla de perforación y voladura para desmonte B x S: 0.30 m x 0.40 m
- Mezcla explosiva comercial: Emulnor 1"x8" (Emulnor 3000 y Emulnor 1000)

Accesorios de voladura: sistema de iniciación no eléctrico.

- Detonador no Eléctrico (Fanel LP)
- Cordón detonante (Pentacord)

- Detonador Ensamblado (Carmex)
- Cordón de Ignición (Mecha Rápida)

### 5.2.1.2 Descripción de las actividades después de la aplicación del método de circado

Con todos los parámetros e insumos previamente establecidos, se llevó a cabo el proceso de mejora de la siguiente manera:

- Paso 1: Se niveló el piso en todas las áreas de trabajo para hacerlo horizontal, obteniendo una superficie plana y marcando las rasantes a 1 metro del piso en los hastiales.
- Paso 2: Se realizó la perforación en realce, siguiendo la inclinación de los buzamientos multiusos.
- Paso 3: En el hastial cercano al mineral, se efectuó una perforación con una malla de 0.30 m x 0.40 m, mientras que en la veta las perforaciones se realizaron con una malla de 0.30 m x 0.40 m.
- Paso 4: Se realizó el disparo del hastial utilizando 2 cartuchos de Emulnor de 1000 y por cada taladro.
- Paso 5: Se niveló el desmonte en todo el piso del corte.
- Paso 6: Se colocaron geomembranas sobre el piso nivelado para evitar que el mineral se contamine con el desmonte tras el disparo en la veta.
- Paso 7: Antes del disparo de la veta, se instalaron redondos de eucalipto en la base inferior de la misma.
- Paso 8: Se llevó a cabo el disparo en la veta, utilizando 2 cartucho Emulnor de 1000 y por cada taladro.
- Paso 9: Finalmente, se recolectó el mineral en sacos.

### 5.2.1.3 Cálculos operativos de la veta María aplicando el método de circado

- **Diseño de la veta María**

**Tabla 11 — Potencia de la veta María y Ley Diluida Sector TJ 600W después de la aplicación del método de circado**

TAJO 600 W	
POT (m)	LEY DILUIDA (Gr/Tm)
0.90	6.96



0.80	7.41
0.70	7.92
0.60	8.51
0.50	9.19
0.35	9.99
0.30	10.94
0.20	12.09
0.15	12.76

FUENTE: Departamento de geología Compañía Minera Sol de los Andes, 2024

En la tabla 10 se muestra el ancho diluido de la veta María (0.20m) y ley diluida sector TJ 600W después de la aplicación del método de circado, la dilución reduce hasta tener un valor de 6% (Tabla 3), con una ley diluida de 12.09 gr/TM significa que, en promedio, cada tonelada de material extraído contiene 12.09 gramos de oro.



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 47 — Diseño del proceso después de la aplicación del método de circado**

- Número de taladros para desmonte

$$N^{\circ} Tal = \frac{\text{Ancho de tajeo} \times \text{Largo de tajeo}}{B \times S}$$



$$N^{\circ} Tal = \left( \frac{(0.90 \times 0.20) m \times 30.0 m}{0.30 m \times 0.40 m} \right) = 175$$

Por consiguiente, se obtienen 175 taladros /tajeo en desmonte

- **Tonelaje fragmentado de desmonte por corte**

$$V = w \times L \times h$$

$$V = 0.70 m \times 30 m \times 1.18 m \times 0.95 = 23.52 m^3$$

$$W = V \times \rho_r$$

$$Tm = 23.52 \frac{m^3}{corte} \times 2.40 \frac{TM}{m^3} = 56.45 TM_{desmonte/corte}$$

$$TC \text{ por corte} = 56.45 TM \times 1.1023 \frac{TC}{TM} = 62.22 TC$$

- **Número de taladros en veta**

$$N^{\circ} Tal = \frac{S \times \text{Largo de tajeo}}{B \times S} - 1$$

$$N^{\circ} Tal = \frac{30.0 m \times 0.20 m}{0.30 m \times 0.4 m} - 1 = 49 \text{ Taladros}$$

Por consiguiente, se obtiene 49 taladros /tajeo en veta María

- **Tonelaje fragmentado de mineral diluido por corte**

- $V = w \times L \times h$

- $V = 0.20 m \times 30 m \times 1.18 m \times 0.95 = 6.72 m^3$

- $W = V \times \rho_m$

- $Tm = 6.72 \frac{m^3}{corte} \times 2.80 \frac{TM}{m^3} = 18.81 TM \text{ ore/corte}$

- $TC \text{ por corte} = 18.81 TM \times 1.1023 \frac{TC}{TM} = 20.74 TC$

**Nota:**

De los resultados obtenidos se organiza la secuencia y el ciclo de minado con el método circado, se realiza un corte con 12 horas por guardia en 3 guardias.

**Tabla 12 — Procedimiento de cálculo de costo de explosivos y accesorios de voladura explosivos y accesorios de voladura aplicando el método de circado**

Descripcion	Unid	Cant.	P.U. \$	Total \$
Emulnor 1000: 175 taladros x 2 und.	Und	350	0.381	133.35



Emulnor 3000: 175 taladros x 2 und.	Und	350	0.395	138.25
Fanel: 1 unid x 175 tal	Und	175	1.57	274.75
Cordón detonante 3P	Mts	60	0.30	18.00
Mecha rápida	Mts	0.90	0.55	0.49
<b>Sub total</b>				<b>561.84</b>
<b>B. VETA</b>				
Emulnor 1000: 49 taladros x 2 und.	Tal	98	0.381	37.34
Fanel: 1 unid x 49 tal	Und	49	1.57	76.93
Cordón detonante 3P	M	40	0.30	12.00
Mecha rápida	M	0.9	0.55	0.49
<b>Sub total</b>				<b>126.76</b>
<b>Mano de obra: cuadrilla de voladura</b>				
Operador (incluye beneficios)	h-h	36	3.00	108.00
Ayudante (incluye beneficios)	h-h	36	2.3	82.80
<b>Sub total</b>				<b>190.80</b>
<b>Costo total de voladura del tajeo</b>				<b>879.40</b>
Toneladas cortas de mineral				20.74
Toneladas cortas de desmonte				62.22
Hombres guardias por corte				72
TC/HH-gdia total				1.15
TC/HH-gdia mineral				0.29
COSTO US\$ /TC mineral + desmonte				10.60
COSTO US\$ /TC mineral				6.11
FUENTE: Elaboración propia				

- El costo de voladura mineral más desmonte:  $\frac{879.40 \$}{20.74+62.22 TC} = 10.60$  \$/TC
- El costo de voladura cargado al mineral:  $\frac{126.76 \$}{20.74 TC} = 6.11$  \$/TC
- Productividad en Tm/HH-Gdia

Por tajeo se obtiene 82.96 TC fragmentadas y considerando las 12 horas/guardia, en 3 guardia por corte.



$$= 12 \frac{\text{Horas hombres}}{\text{guardia}} \times 2 \frac{\text{guardias}}{\text{día}} \times 1.5 \frac{\text{días}}{\text{corte}} = 36\text{HH-Corte}$$

Se obtendrá productividad total =  $\frac{82.96}{72} = 1.16 \text{ Tm/HH-Gdia.}$   
(**mineral + desmorte**)

Productividad de mineral =  $\frac{20.74}{72} = 0.29 \text{ Tm/HH-Gdia. (mineral)}$

- **Cálculo del % de dilución**

Con la aplicación del método selectivo de circado, el proceso evita la contaminación del mineral con desmorte por ello el desmorte con el mineral quedan mezclados en promedio 0.05 m de desmorte como máximo (datos obtenidos de observación de campo) y para un ancho de veta 0.15 m, como presenta la veta María, según la Tabla 10 presenta una dilución promedio de 6 % (Tabla 10, tabla 3; fig 30; fig 31).

#### 5.2.1.4 Cálculos para determinar la dilución para las vetas

Para los cálculos de % de dilución y teniendo en cuenta los datos de campo que presenta la veta María, es aplicable para la fórmula de O 'hará, es el siguiente:

$$(\%) \text{ dilución} = \frac{25}{\sqrt{\text{Ancho de la veta}} \times \text{sen}(\text{buzamiento})}$$

**Dónde:**

- Dilución (%): Dilución en porcentaje
- $\sqrt{A}$ . V: Raíz cuadrada del ancho de la veta
- Seno Buz: Seno del ángulo de buzamiento de la veta.
  
- Reemplazando los datos en la fórmula de O hará, para la veta María para el SN 600W, se obtiene lo siguiente valores:

- $(\%) \text{ dilución} = \frac{25}{\sqrt{0.20} \times \text{sen } 75} = 57.87$



## Conclusión

- Como puede observarse según O 'Hará la dilución en la veta María es de 57 %, este resultado se descarta porque no se relaciona con los valores reales. Sin embargo, teniendo en cuenta la tabla 3 de cálculo de dilución vs WASTE para diferentes anchos de veta, se concluye que, con el procedimiento tradicional se tenía 17.0 % dilución y con la mejora de procesos por control de dilución se obtuvo 6 % promedio en el periodo de estudio. (Tablas 3, fig. 30 y fig. 31) lo que significa que aplicando las técnicas operativas en el campo se puede controlar y disminuir la dilución mejor que los esperados por la fórmula de O 'hará.
- Antes de la aplicación del método de circado, la ley diluida fue de 10.94 gr/Tm para una potencia de veta de 0.15 m, y potencia de veta diluida de 0.30 m. Asimismo después de la aplicación del método de circado el área de Geología muestra la potencia de la veta María (0.15 m) y potencia de veta diluida de 0.20 m del TJ 600W, después de la aplicación del método de circado, se obtuvo una ley de 12.09 gr/Tm, significa que, en promedio, cada tonelada de material extraído contiene 12.09 gramos de oro.
- El costo asociado al uso de explosivos se optimizó significativamente mediante la implementación del método de circado. Antes de aplicar este método, el costo por explosivo ascendía a \$1,327.42 por cada corte o rebanada del tajo. Sin embargo, con la implementación del método de circado, dicho costo se redujo a \$688.60 por corte o rebanada, lo que representa una disminución del 51.8% en los costos relacionados con el uso de explosivos.
- Por otra parte, se logró una reducción en los costos basados en la cantidad de mineral extraído por cada corte o rebanada del tajo. Antes de implementar el método de circado, el costo fue de \$11.75 por tonelada corta (TC) de mineral. Tras la aplicación del método de circado, este valor se redujo a \$6.11 por tonelada corta de mineral, lo que representa una disminución del 52.0% en el costo por tonelada corta de mineral.



### 5.3 Discusión

El Método selectivo de circado, como se describe a continuación; Se aplica este método para zonas mineralizadas con potencia de veta angosta (0.50 m) y altos valores de mineral que presentan en los tajeos, el procedimiento, una primera etapa se arranca el mineral y luego el desmante pudiendo invertir esta secuencia de acuerdo a las condiciones de dureza del mineral y el desmante así mismo la geometría que presenta el yacimiento y la veta propiamente (Arteaga, 2021).

En el presente estudio sobre la dilución en vetas angostas con un espesor promedio de 0.15 metros, se analizaron los efectos de la implementación del método selectivo de circado en la reducción de dilución. Los resultados evidencian una disminución significativa de la dilución al aplicar este método, lo que representa un avance importante en la optimización del aprovechamiento del mineral.

- **Dilución sin circado**

El análisis inicial sin la aplicación del método de circado reportó un valor de dilución del 17.0%, lo cual refleja una alta incorporación de material estéril o de baja ley en el mineral extraído. Este nivel de dilución puede atribuirse a las dificultades inherentes a la explotación de vetas angostas, como la precisión en las labores de minado y la limitación en el uso de equipos adecuados para trabajar en espacios reducidos.

- **Dilución con circado**

La implementación del método selectivo de circado permitió reducir la dilución a un 6%, logrando un valor más favorable y acorde con estándares óptimos en minería subterránea. Este resultado pone en evidencia la efectividad del circado como una estrategia que permite delimitar con mayor precisión los límites de la veta, mejorando la selectividad durante la operación de minado. Además, este método probablemente contribuyó a una mejor planificación de la extracción, reduciendo la inclusión de material no deseado.

Por otra, parte en el diseño de la malla de perforación, los análisis comparan los resultados obtenidos en operaciones de perforación y fragmentación de mineral, evaluando el impacto del método de circado en la eficiencia operativa y el tonelaje extraído por corte.



- **Escenario sin circado**

- Número de taladros: 149 por corte.
- Tonelaje fragmentado: 31.11 toneladas cortas (TC) por corte de mineral diluido.
- Costo de voladura: 13.80 \$/TC.
- Porcentaje de dilución: 17.0 %.
- Ley diluida: 10.94 gr/tm.

Este escenario refleja un enfoque sin circado que prioriza el volumen de mineral extraído, utilizando un mayor número de taladros para garantizar una fragmentación extensa. Sin embargo, este método no considera una delimitación precisa del mineral, lo que resulta en una mayor dilución al incorporar material estéril en el proceso.

- **Escenario con circado**

- Número de taladros: 49 por corte.
- Tonelaje fragmentado de mineral: 20.74 TC por corte.
- Costo de voladura: 6.11 \$/TC.
- Porcentaje de dilución: 6.0 %.
- Ley diluida: 12.09 gr/tm

Con la implementación del método de circado, se observa una notable reducción en el tonelaje fragmentado, lo cual indica una extracción más selectiva y controlada. Además, se utiliza un menor número de taladros, optimizando los recursos de perforación y reduciendo los costos asociados.

El análisis comparativo entre los dos escenarios evaluados, con y sin la aplicación del método de circado, resalta las ventajas operativas y económicas de implementar este enfoque en la extracción de vetas angostas.

Por otra, parte sin aplicar el método de circado, se logró fragmentar un mayor tonelaje por tajeo (31.11 TC), pero a costos de mayores tiempos operativos, requiriendo tres guardias por corte y resultando en un costo de 13.80 \$/TC. Este enfoque, aunque más voluminoso, incurre en una alta dilución debido a la falta de precisión en la delimitación del mineral, lo que incrementa la proporción de material estéril o de baja ley procesado.

Por otro lado, el método de circado permitió fragmentar 20.74 TC por tajeo, un volumen menor, pero con una notable reducción en el tiempo operativo, logrando completar el



corte en tres guardias. Además, el costo por tonelada disminuyó a 6.11 \$/TC. Este resultado refleja una operación más eficiente y selectiva, centrada en la extracción del mineral con menores costos indirectos y mayor calidad del material extraído.

En términos generales, el método de circado demuestra ser una estrategia eficaz para reducir la dilución, optimizar los recursos y minimizar el tiempo requerido por corte. Si bien el tonelaje fragmentado es menor, la mejora en la precisión y selectividad tiene un impacto positivo en la rentabilidad, al reducir costos asociados al procesamiento de material estéril y al tiempo de operación. Por lo tanto, el método de circado se posiciona como una alternativa técnica y económicamente favorable en operaciones de minería en vetas angostas.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El análisis de la aplicación del método de explotación de circado en el tajo 600 de la compañía minera de los Andes ha permitido evidenciar su efectividad en la reducción de la dilución de mineral. La implementación de este método en la zona de estudio optimiza la recuperación de recursos, contribuyendo de manera significativa a la eficiencia operativa y económica de la mina

Los resultados de evaluación de la dilución de mineral indican que, con el procedimiento tradicional, antes de la aplicación del método de circado se tenía 17 % de dilución, aplicando este método selectivo se ha tenido procesos de mejora en el control de dilución a 6 %, lo que significa una disminución significativa de la dilución, esto indica mejor control en el manejo del mineral.

En el diseño de la malla de perforación, los resultados de análisis obtenidos indican que, sin la aplicación del método de circado se tiene 149 taladros por corte con un volumen fragmentado de 31.11 TC por corte, en el escenario con circado se tiene 49 taladros por corte con un volumen fragmentado de 20.74 TC por corte, lo que indica una extracción más selectiva y controlada.

Por otra, parte sin aplicar el método de circado, se logró fragmentar un mayor tonelaje por tajeo (31.11 TC), pero a costos de mayores tiempos operativos, requiriendo tres días por corte y resultando en un costo de 13.80 \$/TC. Este enfoque, aunque más voluminoso, incurre en una alta dilución debido a la falta de precisión en la delimitación del mineral, por otro lado, el método de circado permitió fragmentar 20.974 TC por tajeo, un volumen menor, pero con una notable reducción en el tiempo operativo, logrando completar el corte en un solo día, el costo por tonelada disminuyó ligeramente a 6.11 \$/TC. Este resultado refleja una operación más eficiente y selectiva, centrada en la extracción del mineral con menores costos indirectos y mayor calidad del material extraído



## 6.2 Recomendaciones

Implementar el método de circado en todas las operaciones de perforación y voladura, asegurando su integración como práctica habitual para mejorar la precisión en la delimitación y reducir significativamente la dilución del mineral.

Capacitar al personal en la correcta aplicación del método de circado y establecer un programa de monitoreo para evaluar su desempeño, realizar ajustes según las características geológicas y asegurar la optimización del proceso.

Utilizar herramientas tecnológicas como modelamiento 3D y análisis económico para maximizar la precisión en la delimitación del mineral y demostrar la rentabilidad del método en términos de reducción de costos y mejora de la calidad del mineral.

Documentar las buenas prácticas, para replicarlas en otros sectores de la operación y compartir los resultados obtenidos para posicionar a la empresa como líder en la implementación de técnicas innovadoras y sostenibles.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELLAW et al. 2020.** Factors influencing stope hanging wall stability and ore dilution in narrow – vein Deposits: Pat 1. DOI - 10.1007/s10706-019-01102-w. s.l. : Geotechnical and Geological Engineering, 2020.
- AGUERO ZARATE, Henry and ALVAREZ TICLLASUCA, Freddy. 2012.** Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa – Arequipa. 2012.
- AHRENS, C. Donald. 2018.** *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment.* s.l. : Editorial: Cengage Learning. Edición: 12ª edición, 2018.
- ALIPOV and ADOKO, J. 2020.** Influence of Stope Geometry on Sloughing and. June 2020.
- ANDIA, GRANDA F.F. 2019.** Diseño de chimeneas gemelas para mejorar la ventilación en los niveles 1790 - 2050 veta Paula Minera Yanaquihua. s.l. : [Universidad Nacional San Agustín de Arequipa - Escuela Profesional de Ingeniería de Minas], 2019.
- ARIAS, F. 2006.** *El proyecto de investigación: Introducción a la investigación científica.* Caracas, Venezuela : Editorial Episteme, C.A., 2006.
- ARTEAGA E, JOSSMELL. 2021.** Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en. *Tesis.* s.l. : UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, 2021.
- ARTEAGA, Jhosmeñ George. 2021.** Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en la Minera Marsa S.A. Pataz – Región la Libertad . Cerro de Pasco, Perú : Tesis Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2021.
- BALDEON MONTORO, Oscar Rafael. 2021.** Diagnóstico comunicacional para la Asociación Pepas de Oro de Pampamarca (AMAPOP). 2021.
- BARTON, N. 1994.** The Q-system for Rock Mass Classification in Mining. *Trondheim: Norwegian Geotechnical Institute.* s.l. : Disponible en: <https://www.ngi.no/eng/Publications/The-Q-system> [Accedido: 11 de septiembre de 2024]., 1994.
- BORING, Tumi Raise. 2013.** 2013.
- CAMARGO y SEGURA, DIAZ G.C. GAINDO D.A. 2023.** Desarrollo de una chinenea de ventilacion en una mina ubicada al Centro del Perú aplicando el Sistema Raise Boring. s.l. : [Tesis Universidad Catolica de Peru}, 2023.
- CAMPILLOS PRIETO, Alberto . 2015.** Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea. 2015.
- CAMPOS Y DOMINGUEZ, Brindis y Rober. 2023.** Metodo de explotacion de circado para incrementar la productividad en vetas angosta en la mina Soledad Retamas, Parcoy. 2023. s.l. : Tesis Universidad Privada del Norte, 2023.
- CAPCHI CASTILLA, Edgard and MELGAR MENDOZA, Giovani . 2019.** Influencia de la Ventilación Mecánica en el Rendimiento de los Trabajadores y en la Disminución del Índice de Accidentabilidad en la Unidad Minera Peyols Contratistas – La Rinconada, Puno (2019). 2019.
- CARABAJO NAULA, Carla. 2015.** Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurifero - polimetálico portovelo – Zaruma. 2015.
- CASTILLO ARANGUREN, Daniel. 2017.** Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble. 2017.
- CASTILLO TURPO, Nelson and SOTO SAMOS, Josue. 2022.** Análisis del Sistema de Ventilación y propuesta de mejora para optimizar el Caudal de aire de la minera Aurífera Retamas S.A. Marsa – 2020. 2022.
- CLAVERIAS QUICANA, Jorge Smith. 2014.** Evaluación y optimizacion del sistema de ventilacion de la Compañía Minera Caraveli S.A.C aplicando el Software Ventsim Visual 3. 2014.



- DIAZ, R. 2019.** Técnicas de minería subterránea y su impacto en la dilución del mineral. Lima, Peru : Editorial Minería Andina, 2019.
- FALEN, Jorge E. 2016.** Rentabilidad en la recuperación de puentes y pilares por el método de explotación de circado en la minería artesanal de la comunidad campesina de Llacubamba – Parcoy – Patáz – la Libertad. s.l., Trujillo, Peru : Tesis: Universidad Nacional de Trujillo, 2016.
- FERNANDEZ COLLADO, Carlos, BAPTISTA LUCIO, Pilar and HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. 2014.** *Metodología de la investigación*. México D.F. : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- GOLEMAN, Daniel. 1996** . Inteligencia Emocional. <https://www.munisanpedrodelloc.gob.pe/website/images/bibliotecavirtual/Daniel%20Goleman/Daniel.Goleman%20-%20Inteligencia.Emocional.pdf>. [En línea] 1996 .
- GOMEZ Y CONTRERAS, P. 2020.** Optimización de tajeos en minería subterránea. s.l., Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2020.
- GUTIERREZ ARAVENA, Claudio. 2010.** Recirculación controlada en minería subterránea. 2010.
- HARTMAN, HOWARD L. 2002.** Introductory Mining Engineering. s.l. : Editorial: Wiley, 2002.
- HINOSTROZA Y YABAR, FRANCO, GIAN. 2023.** Reduccion de dilucion mediante la aplicacion de voladura diferenciada en labores de Briasting dentro de la mina Pallancata. Lima - Perú, Peru : Pontificia Universidad Catolica del Perú, Facultad Ciencia de Ingenieria., 2023.
- HOWDEN. 2018.** VentSim DESIGN™ User Guide. Queensland, Australia: Autor. [ventsim@howden.com](mailto:ventsim@howden.com) . [Online] 2018. <https://ventsim.com/files/VentsimManual.pdf>.
- JAMES Y PETER, R. 2017.** Operational Challenges in Narrow Vein Mining. New York: Geological Press. 2017.
- KARAGIANNI, MARIA AND BENARDOS, ANDREAS . 2021.** Ventilation Design Modeling and Optimization for an Underground Bauxite Mine †. 2021.
- LLACHO ALHUIRCA, Ubaldo Cesar and VARGAS CASTRO CUBA, Armando David. 2018.** Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018. 2018.
- MAH, S. 1997.** “Quantification and predication of Wall slough in open stope mining methods”. s.l., Colombia : University of British Colombia, 1997.
- MATIAS FALCON, Martha. 2021.** Modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos influenciado por la actividad minera a través del software de AERMOD en el distrito de Tinyahuarco. 2021.
- MENDIVIL, Salvador. 1965.** Geología de cuadrángulos de Caravelí, hoja 32-P y Chuquibamba, hoja 32-Q. *Boletín Ingemmet. Serie A: Carta Geológica Nacional*. s.l. : URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/180>, 1965.
- MINEN. 2012.** Actividad minera y se beneficio. *Ministerio de Energia y Minas*. s.l. : <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/costa%20sur/>, 2012.
- MOROCCO, R. 1975.** Geología de los Cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. *Serv. Geol. Min. Geol. Bol. N° 27. Serie A, 52 Págs.* 1975.
- NOVITZKY, Alejandro. 1962.** Ventilaciones de minas. s.l., Buenos Aires: : Universidad de Buenos Aires, 1962.
- PEREZ, L. 2018.** Dilución en minería: causas y soluciones. . Bogota, Colombia : s.n., 2018.
- RAICO TASILLA, Alexander . 2019.** Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 - minera Yanacocha, 2018. 2019.
- RAMIREZ Y RICO, TARRILLO D.M., MACALUPO F.A. 2021.** Proyecto de diseño de chimeneas para mejorar la ventilación en la Unidad Minera Pallasca. s.l. : [Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas], 2021.



- RIBERA et al. 2017.** Métodos avanzados de perforación y voladura en minería subterránea. s.l., Buenos Aires : Buenos Aires: Ediciones Mineras, 2017.
- RODRIGUEZ Et al., M. 2022.** Estudio de casos en la minería subterránea: aplicación de técnicas de circado. s.l., Mexico : Minerales y Geología, 2022.
- Sánchez, C. 2017.** Construcción de chimeneas mediante el uso del método Drop Raising, Sector. s.l. : [Tesis de grado, Universidad de Santiago de Chile];, 2017.
- SERNAGEOMIN. 2015.** Ventilación de minas. . *Recuperado el 12 de marzo del 2024.* s.l., Chile : <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones->, 2015.
- SMITH, J. 2015.** Mining Planning and Dilution Control. 2nd ed. London: Mining Publishers. 2015.
- SOLDADO, EMPRESA MINERA EL SOLDADO DE CHILE. 2009.** Reporte de simulación de dilución y determinación de la velocidad y desplazamiento del material tronado. Agosto 2009.
- STACE Y LONG, Y. 2018.** Blasting and Dilution Control in Narrow Vein Mining. *3ra ed. Johannesburg: Mining Engineering Society.* s.l. : <https://www.miningengsoc.org/publications/blasting-dilution-control> [Accedido: 11 de septiembre de 2024]., 2018.
- SUTTY VILCA, Jesús. 2016.** Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina urano sac – puno. 2016.
- TEJEDA ROMERO, Ronald and MUCHA GOMEZ, Fredy. 2022.** Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha. 2022.
- THOMPSON, R. 2010.** Mine haul road design and management best practices for safe and costefficient truck haulage. s.l. : SME Annual Meeting and Exhibit 2010, 140–146, 2010.
- TORRES et al., H.,. 2020.** Eficiencia operativa en minería subterránea: reducción de la dilución. La Paz, Bolivia : Editorial Andina, 2020.
- TORRES, Viviana Ivonne. 2018.** Beneficios de un sistema de control. s.l., Chile : UNIVERSIDAD DE CHILE, 2018.
- VERA WARTHON, Enslin René. 2019.** Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019. 2019.
- VILLENA, Cristian Daniel. 2021.** Aplicacion de tecnicas operativas para controlar la dilución en el minado de vetas angostas en una Empresa Minera. Lima, Perú : Tesis de Maestria - Universidad Nacional de Ingenieria, 2021.
- HUCANI CALSIN, Walquer. 2002.** *Planeamiento de inado.* Apurimac : S/N, 2002. S/N.
- WANG, Jimmiao , et al. 2022.** Regulation and Optimization of Air Quantity in a Mine Ventilation Network with Multiple Fans. 2022.
- YUCAS, Mejia V. H. 2015.** Analisis geomecanico del macizo rocoso para la construccion de la himenea Glory hole mediante el sistema Alimak. Quito, Ecuador. s.l. : Universidad Central del Ecuador, 2015.
- ZAVALA ALMERCOS, Luis. 2022.** Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de Empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022. 2022.
- ZIKMUND, W. G. 2010.** Business Research Methods. s.l. : Edición: 8ª edición. Editorial: South-Western Cengage Learning, 2010.
- ZITRON. 2010.** Conferencia de Ventilacion de Minas. 2010.



## ANEXOS



Anexos A

Tabla 13 — Matriz de consistencia

Planteamiento del problema	Objetivo	Hipótesis	Variables indicadoras	Indicador	Resultados
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿De qué manera se realizará la aplicación del método de explotación de circado en el Tajo 600, para reducir la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes-Arequipa 2024?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Analizar la aplicación del método de explotación de Circado en el Tajo 600 para reducir la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes-Arequipa 2024.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La aplicación del método de explotación del circado en el Tajo 600, reducirá significativamente la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes-Arequipa 2024.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Aplicación del método del circado en tajeos</p>	<p>Porcentaje de uso del método del circado en los tajeos.</p> <p>Tiempo de ejecución de tajeos utilizando el método del circado.</p>	<p>Índice de implementación (%)</p> <p>Índice de eficiencia (%)</p>
<p><b>Problema específico</b></p> <p>¿Cómo evaluar la dilución de mineral con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?</p> <p>¿De qué manera se realizará el diseño de</p>	<p><b>Objetivo específico</b></p> <p>Disminuir la dilución de mineral con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes.</p> <p>Diseñar la malla de perforación y voladura adecuada con circado en tajo</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>La aplicación del método de circado en tajo 600 reduce significativamente la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes.</p> <p>El diseño optimizado de la malla de perforación y</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Reducción de la dilución de mineral</p>	<p>Diferencia porcentual de la dilución antes y después de aplicar el método del circado.</p>	<p>Índice de dilución (%)</p>

<p>mallas de perforación y voladura con circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?</p> <p>¿Cómo influye los costos con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes?</p>	<p>600 en la compañía minera de los Andes.</p> <p>Reducir los costos con la aplicación del método de circado en tajo 600 en la compañía minera de los Andes.</p>	<p>voladura con circado en tajo 600 reduce la dilución y mejorará la recuperación de mineral en la compañía minera de los Andes.</p> <p>La aplicación del método de circado en tajo 600 reduce los costos operativos relacionados con la dilución de mineral en la compañía minera de los Andes.</p>		<p>Ley del mineral antes y después de aplicar el método.</p> <p>Comparación de los costos operativos antes y después de aplicar el método.</p>	<p>Índice de calidad mineral (%)</p> <p>Índice de reducción de costos (%)</p>
---	--	--	--	--	---

**Anexo B**  
Tablas

**Tabla 14 — Tabla para determinar el WASTE y el % de Dilución**

<b>Datos de ingreso</b>		TJ600W								
Producción		336	T/block							
Ley de cabeza		0.41024322	Oz/t							
Precio		2600	US\$/Oz							
<b>Dilución</b>	Ancho Diluido	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.40</b>	<b>0.50</b>	<b>0.60</b>	<b>0.70</b>	<b>0.80</b>	<b>0.90</b>
	Waste	<b>0.00</b>	<b>0.05</b>	<b>0.15</b>	<b>0.25</b>	<b>0.35</b>	<b>0.45</b>	<b>0.55</b>	<b>0.65</b>	<b>0.75</b>
	<b>% Dilución</b>	0%	6%	17%	28%	39%	50%	61%	72%	83%
<b>Mineral procesado</b>	<b>T/Block</b>	336	336	336	336	336	336	336	336	336
<b>Mineral</b>	<b>T/Block</b>	336	317	287	263	242	224	209	195	184
<b>Desmonte</b>	<b>T/Block</b>	0	19	49	74	94	112	127	141	152
<b>Ley de cabeza</b>	<b>Oz/t</b>	0.41	0.39	0.35	0.32	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22
<b>Recuperación Planta</b>	<b>%</b>	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%	92.0%
<b>Oz Au</b>	<b>Oz</b>	127	120	108	99	91	85	79	74	69
<b>Ingresos</b>	<b>US\$</b>	329,717	311,054	281,810	257,592	237,207	219,812	204,793	191,696	180,173
<b>Costo operativo</b>	<b>US\$/t</b>	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07
<b>Costo Total</b>	<b>US\$</b>	22,536	22,536	22,536	22,536	22,536	22,536	22,536	22,536	22,536
<b>Flujo de caja</b>	<b>US\$</b>	307,182	288,519	259,274	235,056	214,671	197,276	182,258	169,161	157,638

**Anexo C**  
Panel fotográfico



**Figura 48 — Cargado de taladros en el tajeo**



**Figura 49 — Verificación de la veta María**



Figura 50 — Señalando el ancho de la veta



Figura 51 — Vista de la galería NV 600 E



Figura 52 — Material extraído de la unidad con mineralización



Figura 53 — Vista del nivel de ingreso NV 3250 Unidad Minera Sol de los Andes

Anexo D



		Página: 1 de 3	
<b>RESUMEN DEL DERECHO MINERO</b>			
<b>Datos Generales</b>			
Código	01004095X01	Nombre	BARRENO
Fecha de Formulación	07/12/1978	Situación	VIGENTE
Procedimiento	TITULADO(CONCESION)	Tipo	DENUNCIO (D.LEG.109 Y ANTERIORES)
Has. Formuladas	999.00	Sustancia	METALICA
Has. Rectificadas		Has. Formadas	
Has. Reducidas		Has. Disponibles	
Ubicación	UADA-ARCHIVO CENTRAL desde el 11/07/2023		
<b>Titular Referencial</b>			
<u>Tipo</u>	<u>Nombre de Razón Social</u>	<u>Dirección</u>	<u>% Participación</u>
JURIDICO	S.M.R.L. BARRENO DE AREQUIPA AV. EL PARQUE NORTE N° 643		100
<b>Demarcaciones</b>			
	<u>Departamento</u>	<u>Provincia</u>	<u>Distrito</u>
	AREQUIPA	CONDESUYOS	YANAQUIHUA
<b>Cartas</b>			
<u>Código</u>	<u>Descripción</u>	<u>Zona UTM</u>	
32-Q	CHUQUIBAMBA	18	
<b>Coordenadas UTM PSAD56</b>		<b>Coordenadas WGS84</b>	
<u>Vertice</u>	<u>Norte</u>	<u>Este</u>	<u>Norte</u>
			<u>Este</u>
1	8,269,138.39	722,853.43	8,268,768.06
2	8,266,442.51	722,724.17	8,266,072.17
3	8,266,619.65	719,029.83	8,266,249.30
4	8,269,315.52	719,159.09	8,268,945.18
			
<b>Pagos</b>			
<u>Nro. Recibo</u>	<u>Monto</u>	<u>Fecha Pago</u>	<u>Nro. Cuenta</u>
			<u>Banco</u>
			<u>Concepto</u>
<b>Resoluciones</b>			
<u>Nro. Resolución</u>	<u>Fec. Resolución</u>	<u>Decisión</u>	<u>Plazo</u>
- -OCM	12/08/1998	OTROS	0 días
- -OCM	26/03/1998	OTROS	0 días
- -OCM	10/02/1998	OTROS	0 días
Fecha de emisión: Lunes, 5 de agosto del 2024			

Figura 54 — Datos del derecho minero

### Anexo E Planos

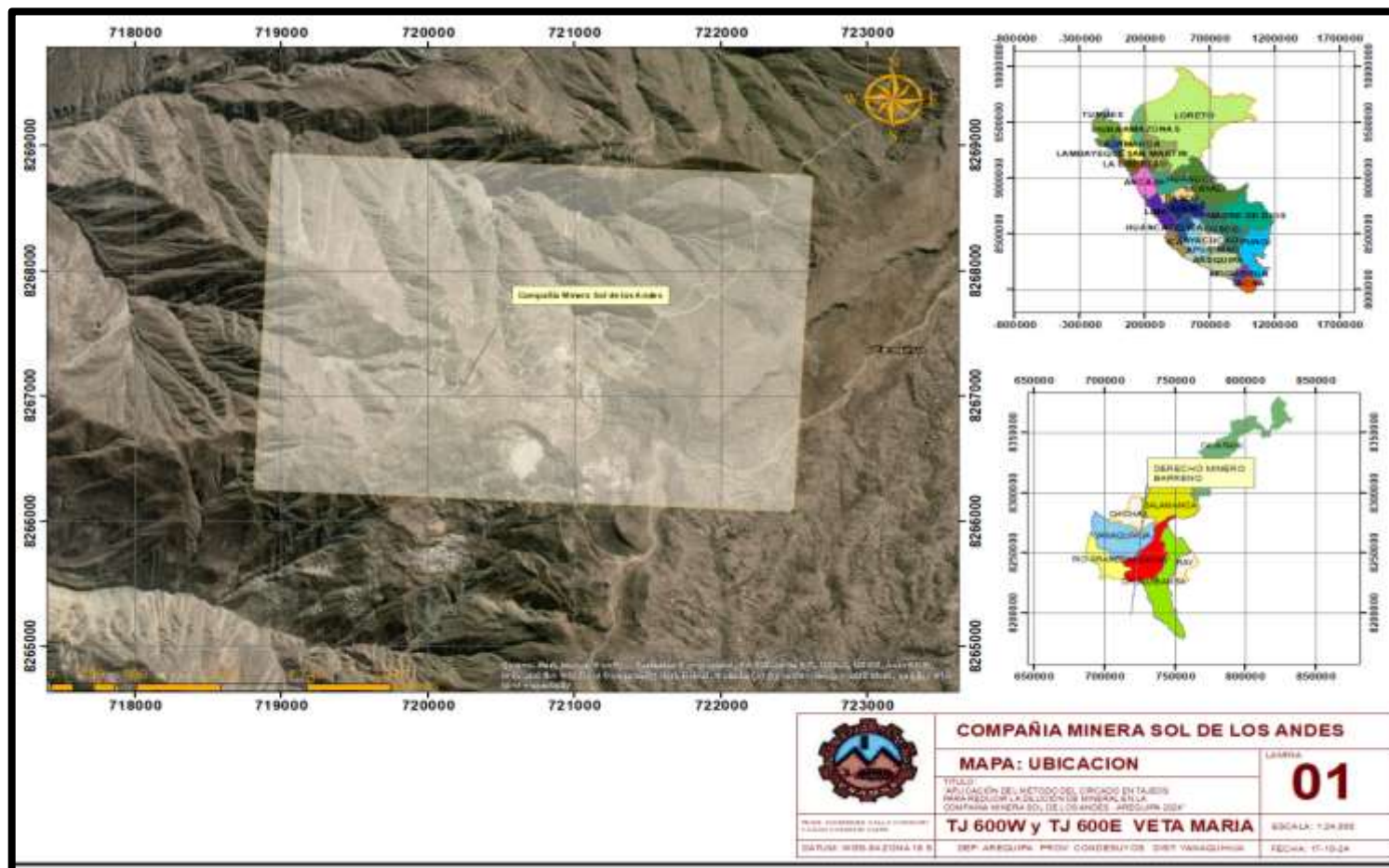


Figura 55 — El mapa presenta la localización geográfica de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C., donde se desarrolla la investigación en el tajo 600W y Tajo 600E de la veta María.

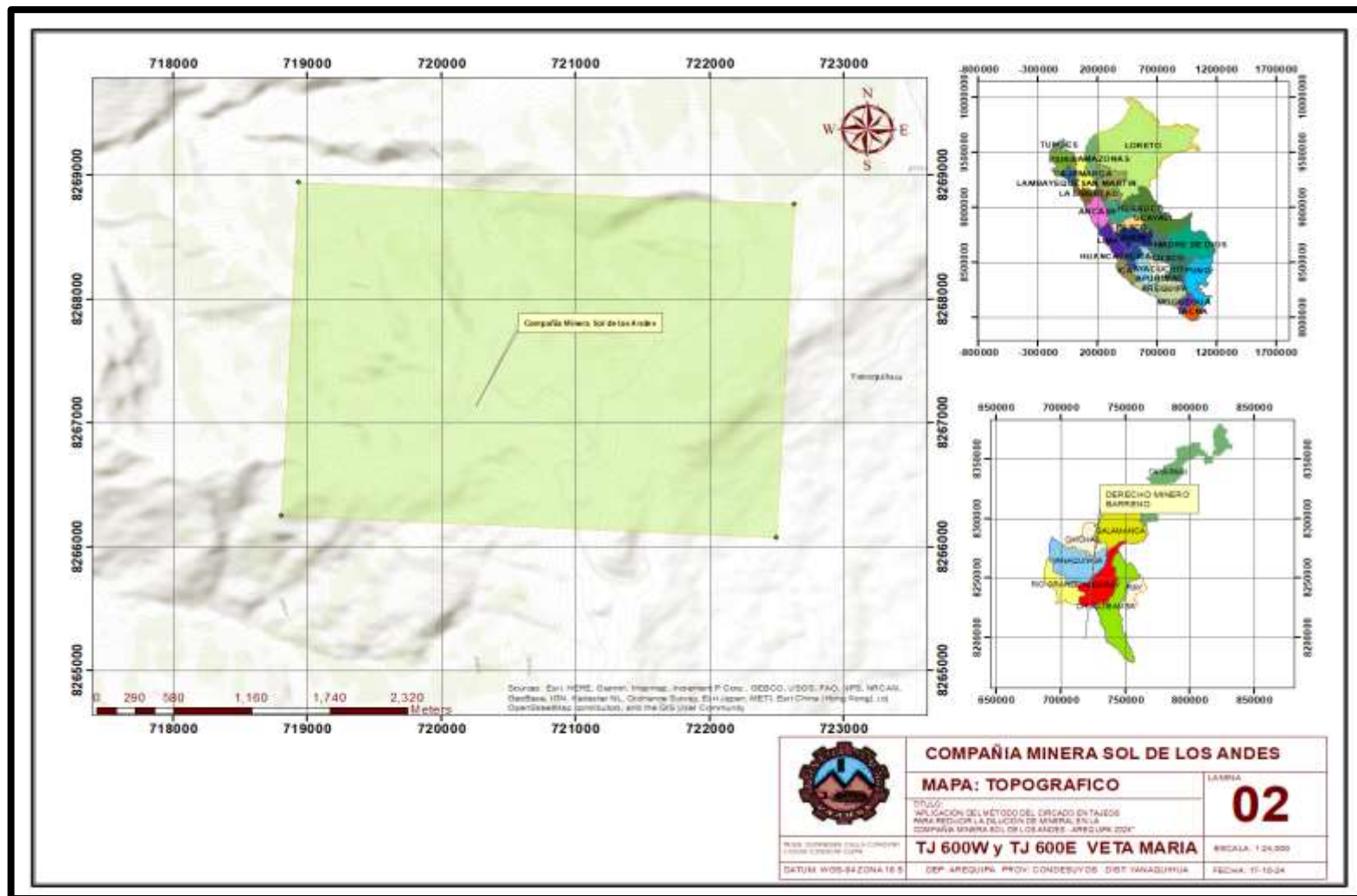


Figura 56 — Mapa topográfico del área de estudio – Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.

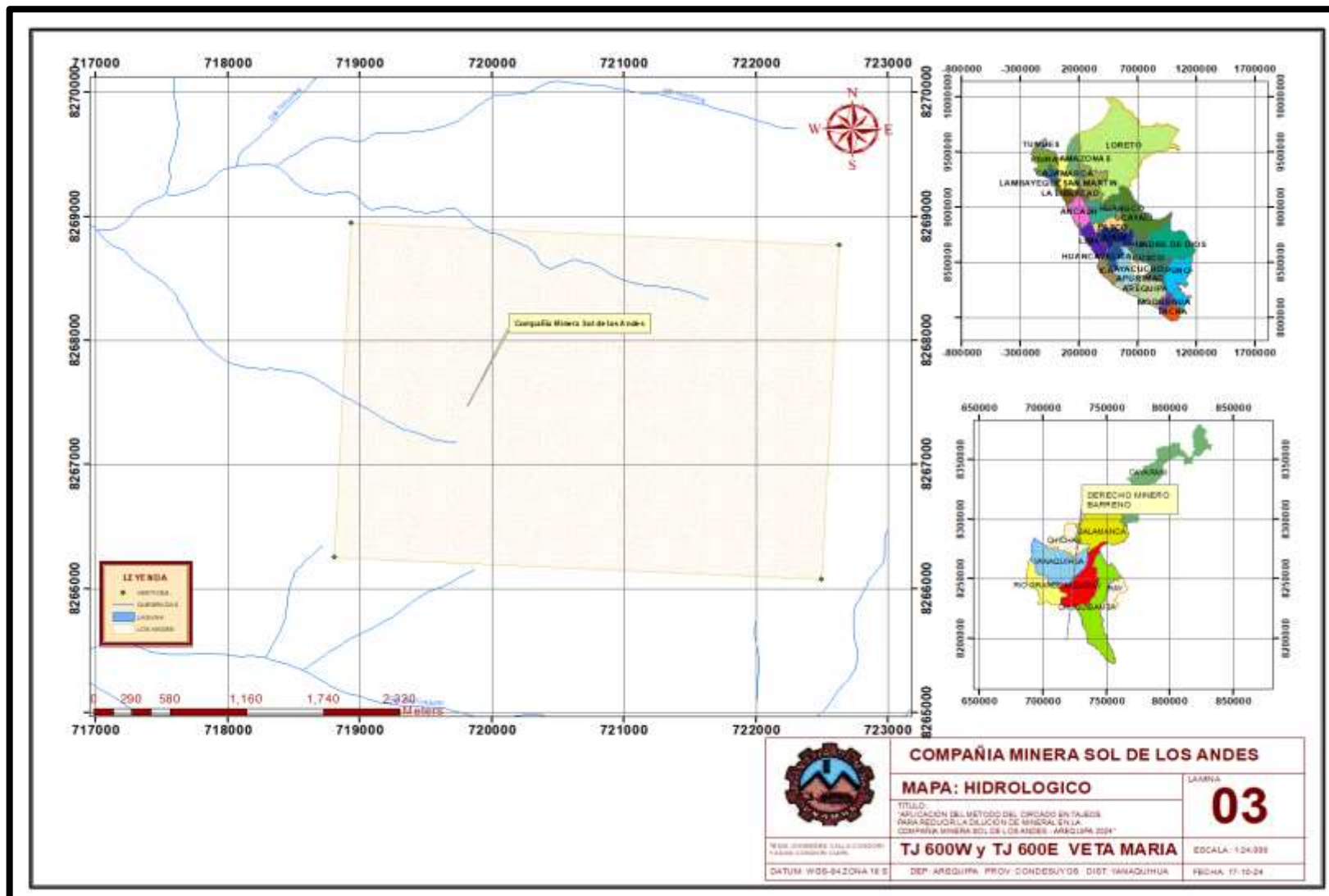


Figura 57 — Mapa hidrológico del área de estudio de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.

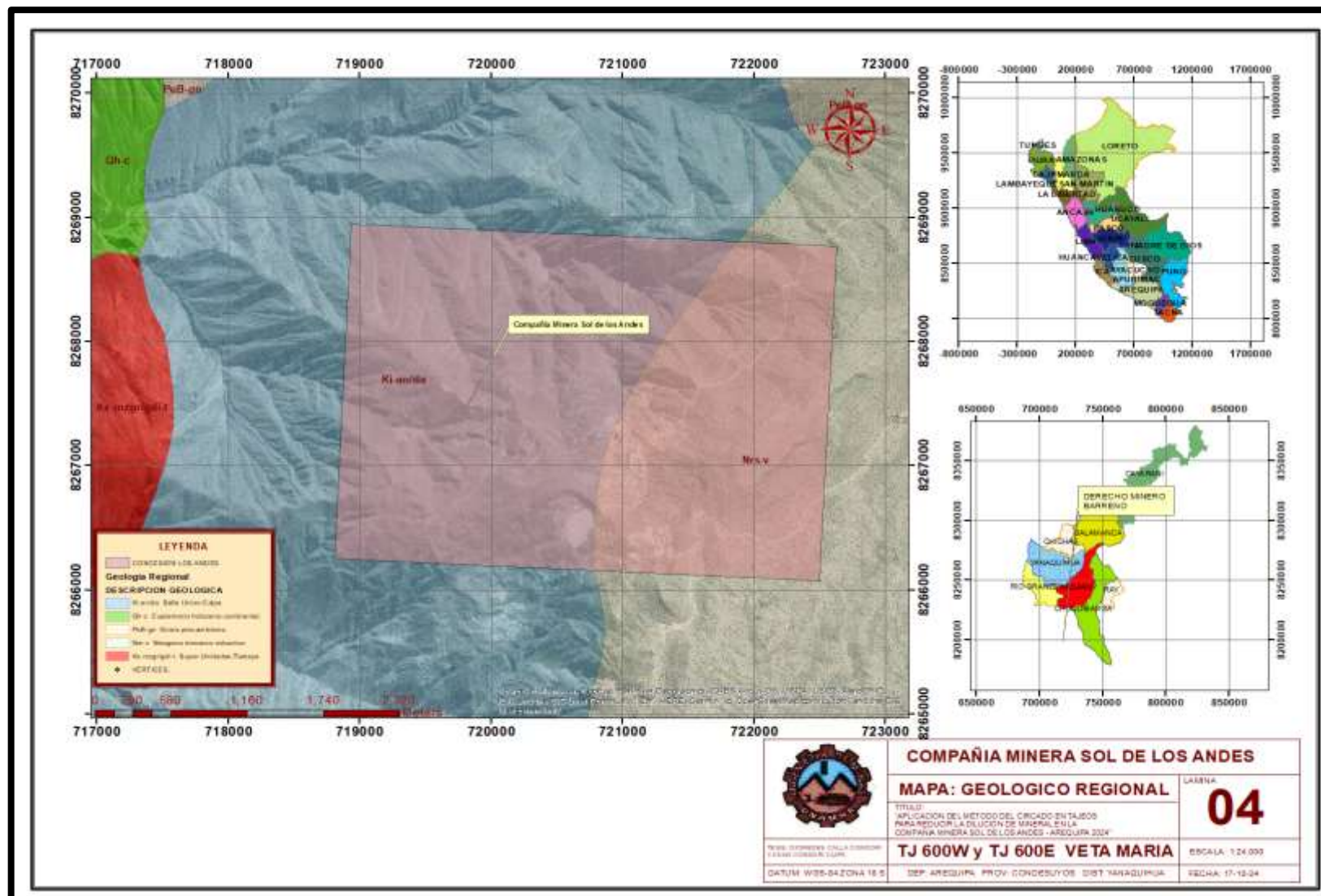


Figura 58 — Mapa geológico regional del área de estudio de la Compañía Minera Sol de los Andes S.A.C.



